

Lillian Sandvik og Jørgen Myhr

Optimal konstruksjon av varmesystem i idrettsflater

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-teknikk

Veileder: Bjørn Austbø

Medveileder: Bjørn Aas

Mai 2021



SalMar kunstgressbane

Lillian Sandvik og Jørgen Myhr

Optimal konstruksjon av varmesystem i idrettsflater

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-teknikk

Veileder: Bjørn Austbø

Medveileder: Bjørn Aas

Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for energi- og prosessteknikk



NTNU

Kunnskap for en bedre verden



RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel / title:

Optimal konstruksjon av varmesystem i idrettsflater

Optimal Construction of Heating System in Athletic Fields

Prosjektnr

EPT-V-2021-04

Forfattere:

Lillian Sandvik

Jørgen Myhr

Oppdragsgiver eksternt:

Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT)

Veileder internt:

Bjørn Austbø

Rapporten er ÅPEN

Dato levert: 20 mai 2021

Kort sammendrag

I elitefotball kreves det et undervarmesystem for å kunne benytte kunstgressbaner i vinterhalvåret. Det kreves mye energi for å kunne holde spilleflaten myk til spillerne slik de unngår skader. I denne oppgaven fokuseres det på undervarmesystemet på SalMar Kunstgressbane med hovedfokus på temperaturforløp i konstruksjonen, ulike arbeidsmedier, pumperegulering og reguleringsystem.

In elite football a heating system is required to be able to use artificial turf pitches during the winter. It takes a lot of energy to be able to keep the playing surface soft for the players so they avoid injuries. This thesis focuses on the underheating system at SalMar artificial turf

with the main focus on temperature development in the construction, various heat transfer fluids, pump control and system regulation.

Stikkord:

Kunstgressbane

Undervarmesystem

Arbeidsmedium

Pumpearbeid

Pumperegulering

MATLAB simulering

Regulering

Keywords:

Artificial turf

Heating system

Heat transfer fluids

Pump control

Pump regulation

MATLAB simulation

System regulation

Oppgavebeskrivelse

Hovedmålet med denne oppgaven var å se på konstruksjonen av undervarmesystemet på SalMar kunstgressbane og hvordan ulike arbeidsmedium, pumperegulering og reguleringssystemer kan bidra til å optimalisere banen.

Spørsmål vi vil besvare er:

- Hvordan er banekonstruksjonen?
- Hvordan er varmfordelingen? Er den jevn?
- Hvordan redusere pumpearbeid?
- Hva er tregheten i undervarmesystemet?
- Hvilket arbeidsmedium passer seg, kan en finne et bedre alternativ enn glykolblanding?
- Hvordan er reguleringen av undervarme? Finnes det bedre reguleringssystemer?

Forord

Denne oppgaven avslutter vårt treårige studieløp i maskiningeniør, med spesialisering innen VVS-teknikk, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Bacheloroppgaven er gjennomført i vårsemesteret 2021 ved institutt for energi- og prosesseteknikk og er på 20 studiepoeng.

Hensikten med denne oppgaven er å se på optimal konstruksjon av varmesystemer i idrettsflater.

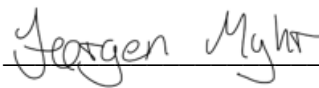
1. Det skal sees på forskjellige arbeidsmedier og hvordan de påvirker pumpearbeidet.
2. Bruke programvare, MATLAB, til å se om isolasjon under varmerørene minsker varmetapet.
3. Kartlegge den termiske tregheten ved bruk av temperaturmålinger.
4. Hvordan er reguleringen av undervarmen og kan dette forbedres.

Lillian har svennebrev som rørlegger og har jobbet noen år i rørleggerbransjen. Hun har tidligere erfaringer med snøsmelteanlegg som kan sammenlignes med undervarme i idrettsflaten. Jørgen har utdanning som automatikkmekaniker og har jobbet i industrien.


Vi vil takke Lerkendal idrettspark for at vi fikk tilgang til SalMar kunstgressbane, og retter en stor takk til driftsleder og banemester ved Lerkendal Idrettspark for tilrettelegging av temperaturmålinger på banen og fremskaffing av tegninger og dokumentasjon. Vi vil rette en stor takk til Guard Automation AS som tok seg tid til å lage en simulering av SalMar kunstgressbane som vi kunne benytte i bacheloroppgaven vår. Vi vil takke labansvarlig ved NTNU VVS-lab for lån av måleutstyr. Vi vil også takke våre veiledere førsteamanuensis Bjørn Austbø ved NTNU og overingeniør Bjørn Aas ved Senter for Idrettsanlegg og teknologi for gode diskusjoner rundt oppgaven vår. Vil til slutt takke samboeren til Jørgen for moralsk støtte og korrekturlesing.

NTNU Trondheim,

20.05.21



Jørgen Myhr



Lillian Sandvik

Sammendrag

I elitefotball kreves det et undervarmesystem for å kunne benytte kunstgressbaner i vinterhalvåret. Det kreves mye energi for å kunne holde spilleflaten myk til spillerne slik de unngår skader. I denne oppgaven fokuseres det på undervarmesystemet på SalMar Kunstgressbane med hovedfokus på temperaturforløp i konstruksjonen, ulike arbeidsmedier, pumperegulering og reguleringssystem.

Temperaturforløpet ble kartlagt i kunstgressbanen i forskjellige dybder med temperatursensorer av typen iButton. For å systematisere og visualisere temperaturmålingene ble Excel benyttet. MATLAB ble benyttet for å se om et isolerende sjikt under varmerørene bidrar til redusert varmetap. Simuleringen viste at isolasjon under varmerørene bidro til redusert varmetap, men isolasjonen reduserte samtidig den akkumulerte varmen under varmerørene.

Ved bruk av ulikt måleutstyr ble strømtrekket av pumpen og innreguleringsventilen målt for å kunne si noe om volumstrømmen i undervarmesystemet. Dette ble benyttet videre for å se på pumpearbeidet og om andre muligheter for pumperegulering. Gjennom denne oppgaven ble det observert at pumpen som er installert på SalMar kunstgressbane yter maksimalt, og det anbefales å installere en større pumpe for å øke hastigheten i varmerørene i banedekket. For å regulere en ny pumpe, samt redusere pumpearbeid kan det være aktuelt med en turtallsregulering, slik de kan senke hastigheten når behovet for undervarme er minimalt.

Reguleringssystemet som blir benyttet på SalMar kunstgressbane er av og på regulering som gir et høyt energiforbruk. For å kunne optimalisere reguleringen anbefales det å utforske mer prediktive løsninger, som Guard tilbyr.

Abstract

In elite football a heating system is required to be able to use artificial turf pitches during the winter. It takes a lot of energy to be able to keep the playing surface soft for the players so they avoid injuries. This thesis focuses on the underheating system at SalMar artificial turf with the main focus on temperature development in the construction, various heat transfer fluids, pump control and system regulation.

The temperatures in the artificial turf were mapped at different depths using iButton temperature sensors. Excel was used to organize all the temperature readings and used to visual the readings using graphs. MATLAB was used to see if an insulating layer under the heating pipes contributes to reduced heat loss. The simulation showed that insulation under the heat pipes contributed to reduced heat loss, but the insulation also reduced the accumulated heat under the heat pipes.

By using different measuring equipment, the current draw of the pump and the balancing valve was measured in order to be able to say something about the volume flow in the underheating system. This was used to look on the workload of the pump and other possibilities for pump regulation. Through this task, it was observed that the pump installed on the SalMar artificial turf is working on max capacity, and it is recommended to install a larger pump to increase the speed of heat transfer fluid in the heating pipes in the pitch deck. To regulate a new pump, as well as reduce pump work, it may be relevant with a speed control, so they can reduce the speed when the need for underheating is minimal.

The regulation system used on the SalMar artificial turf is a on and off regulation that provides a high energy consumption. In order to optimize regulation, it is recommended to explore more predictive solutions, which Guard offers.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Nomenklatur	VII
Forkortelser	IX
Kapittel 1: Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 SalMar kunstgressbane.....	2
1.3 Begrensninger.....	2
1.4 Struktur.....	3
Kapittel 2: Teori.....	4
2.1 Konstruksjon av kunstgressbaner.....	4
2.2 Termisk treghet i idrettsflater.....	8
2.3 Varmefluks	8
2.4 Arbeidsmedium	9
2.4.1 Glykolblandinger	9
2.4.2 Etanol	9
2.4.3 Ammoniakk.....	10
2.5 Varmesentral	11
2.5.1 Fjernvarme	12
2.5.2 Pumpe	13
2.6 Regulering	17
2.6.1 SD-anlegg	17
2.6.2 Automatisert regulering	18
Kapittel 3: Metode	20
3.1 Måleutstyr og plassering	20

3.1.1	Måleperiode	23
3.1.2	Måleusikkerhet.....	23
3.1.3	Behandling av temperaturmålinger.....	24
3.2	MATLAB	25
3.3	Termografikamera.....	26
3.4	Arbeidsmedium	26
3.5	Pumpe.....	27
3.6	Regulering	27
Kapittel 4: Resultater		29
4.1	Konstruksjon av SalMar kunstgressbane	29
4.2	Temperaturmålinger	31
4.2.1	Termisk treghet	31
4.2.2	Temperaturdifferanser ved ulike målepunkt.....	33
4.2.3	Varmefluks.....	34
4.2.4	MATLAB simulering.....	35
4.2.5	Simulert temperaturprofil i MATLAB.....	36
4.2.6	Simulert varmekraft i MATLAB.....	37
4.2.7	Simulert oppvarming og avkjøling underkant pad.....	39
4.3	Termografi.....	41
4.4	Arbeidsmedium og pumpe	42
4.4.1	Volumstrøm	42
4.4.2	Trykktap og pumpearbeid	45
4.5	Varmesentral	49
4.6	Regulering	50
4.6.1	Responstid.....	53
Kapittel 5: Drøfting.....		55
5.1	Konstruksjon av SalMar kunstgressbane	55

5.2	Temperaturmålinger	56
5.2.1	Termiske tregheten i kunstgressbanen	57
5.2.2	Varmefluks.....	58
5.2.3	Simulert temperaturprofil i MATLAB.....	59
5.2.4	Simulert varmekraft i MATLAB.....	59
5.2.5	Oppvarming og avkjøling underkant av pad.....	60
5.3	Varmesentral	61
5.3.1	Fjernvarme	61
5.4	Arbeidsmedium og pumpe	62
5.4.1	Arbeidsmedium og pumpearbeid	62
5.4.2	Pumpe og pumperegulering	65
5.5	Regulering	70
5.5.1	Reguleringssystem	70
5.5.2	Responstid.....	73
Kapittel 6: Konklusjon.....		74
6.1	Videre arbeid	75
Kapittel 7: Vedlegg		76
7.1	Måleinstrumenter	76
7.2	Vedlegg 5 Arbeidsmedienes verdier	78
7.3	Vedlegg 6 Tabeller over de ulike lagene i SalMar kunstgressbane	79
7.4	Innreguleringsventil	81
7.5	Vedlegg 8 Scriptet til simuleringen.....	82
7.6	Komponentliste fra systemskisse	90
Kapittel 8: Referanseliste.....		91

Nomenklatur

Benevning	Symbol	Enhet
Hydraulisk diameter	D_h	m
Indre diameter	d_i	m
Areal	A	m^2
Lengde	L	m
Tykkelse	Δx	m
Hastighet	u	$\frac{m}{s}$
Volumstrøm	\dot{V}	$\frac{m^3}{h}$
Temperaturdifferanse	ΔT	$^{\circ}C$
Trykk	Pa	$\frac{N}{m^2}$
Varmestrøm	\dot{Q}	W
Termisk konduktivitet	k	$\frac{W}{m \cdot K}$
Spesifikk varmekapasitet	c_p	$\frac{J}{(kg \cdot K)}$
Varmefluks	\dot{q}	$\frac{W}{m^2}$
Densitet	ρ	$\frac{Kg}{m^3}$
Dynamisk viskositet	μ	Pa·s
Reynoldstall	Re	-
Ruhet	ε	mm
Spesifikk ruhet	ε/d	-

Friksjonsfaktor	f	-
Enkeltmotstand	ζ	-
Virkningsgrad	η	-
Effekt	P	W
Strøm	I	A
Spenning	U	V
Arbeid	P	W

Forkortelser

SIAT	Senter for idrettsanlegg og teknologi
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
NFF	Norges fotballforbund
NIH	Norges idrettshøyskole
NIBIO	Norsk institutt for bioøkonomi

Kapittel 1: Innledning

1.1 Bakgrunn

Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT) i Trondheim har i lang tid arbeidet med idrettsanlegg og sett på hvordan de kan bedre energiforbruket, deriblant undervarme på idrettsflater. I Norge benyttes undervarme på både kunstgressbaner og naturgressbaner, og om man har et fotballag i eliteserien er det et krav om undervarme på fotballbanen i henhold til NFF's retningslinjer (Waagaard, 2017). Kunstgress har undervarme for å kunne være spillbare året rundt, mens naturgress benytter undervarme for å sette i gang veksten av gresset. I denne oppgaven sees det på kunstgressbaner og tar utgangspunkt i SalMar kunstgressbane.

Det eksisterer en veileder for hvordan konstruksjonen av en kunstgressbane kan være. Men det er vanskelig å lage en generell mal på hvordan man skal konstruere en idrettsflate, fordi det er mange faktorer og variabler som spiller inn som; regnintensitet, vindforhold, solinnstråling, dimensjonerende vintertemperatur og grunnforhold (Sætersdal, 1976). Det benyttes flere typer energikilder som for eksempel jordvarme, fjernvarme, elektrisitet. I denne oppgaven sees det på fjernvarme som energikilde. Samtidig er det mange forskjellige typer kunstgress og støtdempende sjikt, som kalles «pad», som er med å påvirke hvordan varmen fordeler seg fra undervarme og opp til overflaten. Pad er en isolerende, støtdempende matte som tar opp støt fra spillerne og gjør banen myk.

For å kunne si noe om konstruksjon av varmesystemer i idrettsflater vil vi benytte temperatursensorer for å kartlegge temperaturen i «jordsmonnet», om banetemperaturen er jevnt over hele overflaten, og se hvor mye av varmen som går nedover i forhold til oppover mot overflaten ved varmerørene. Kan et lag med isolasjon under varmerørene minske varmetap nedover i grunn? Ved å benytte MATLAB skal det simuleres endimensjonalt, hvordan varmefluksen oppfører seg med og uten isolator under varmerørene. Etter det vi har forstått har glykol blitt en «bransjestandard», og kan et annet arbeidsmedium enn propylenglykol brukes? Ved å beregne trykktap for rørkrets og pumpearbeidet for de alternative arbeidsmediene, vil en kunne se hva som egner seg best.

1.2 SalMar kunstgressbane

Lerkendal idrettspark har i dag 4 forskjellige baner, 3 av de er forbeholdt trening og treningskamper og den siste er naturgressbanen Lerkendal fotballstadion tilhørende hjemmelaget Rosenborg Ballklubb. SalMar kunstgressbane stod ferdigstilt i 2007 med tilhørende undervarme basert på vannbåren varme. Den blir benyttet som helårsbane for trening og kamp. Banen er en 11er bane, dette gir den en spilleflate på 102x65 meter. Undervarme er prosjektert på en flate som er 110x76 meter som gir et areal på 8360 m² (Dyrhaug, 2016, oppdatert 2020).

Banen benytter seg av en varmesentral som står i en container sørvest for banen. Statkraft Varme AS leverer varmekilden i form av fjernvarme. For at kunstgressbanen skal kunne benytte seg av varmen fra fjernvarme benyttes det en varmeveksler, som sørger for å overføre varme fra fjernvarmeanlegget til en glykolblanding som benyttes som arbeidsmedium i undervarmesystemet. Det benyttes SD-anlegg for å overvåke anlegget.

1.3 Begrensninger

På grunn av COVID-19 ble det ikke mulig å lage en lab-modul på NTNU og dermed ble oppgaven annerledes. I starten av oppgaven skulle kunstgressbanen til Ranheim IL benyttes, men det var vanskelig å få tilgang. Dermed satte veileder Bjørn Aas oss i kontakt med Lerkendal Idrettspark som gav oss lov til å benytte SalMar kunstgressbane til praktiske målinger. Det positive med SalMar banen er at de skal skifte kunstgresset sommeren 2021, så der det allerede er rift i kunstgresset kan benyttes til å legge ned måleutstyr.

Begrensningene på SalMar er at den er i daglig bruk, og timeplanen endres fra dag til dag. Det vil være korte frister i henhold til tilgang. Det må benyttes måleutstyr som ikke er til hinder for spillerne. Det ble benyttet temperatursensorer med en størrelse lik et kronestykke. Sensorene har begrenset batterikapasitet, og det er usikkert hvor lenge de kan ligge nedgravd før de går tom. Programmet som benyttes til sensorene viser heller ikke hvor mye batteri som gjenstår. Det finnes heller ikke så mye litteratur angående undervarme, så det kan bli en utfordring.

1.4 Struktur

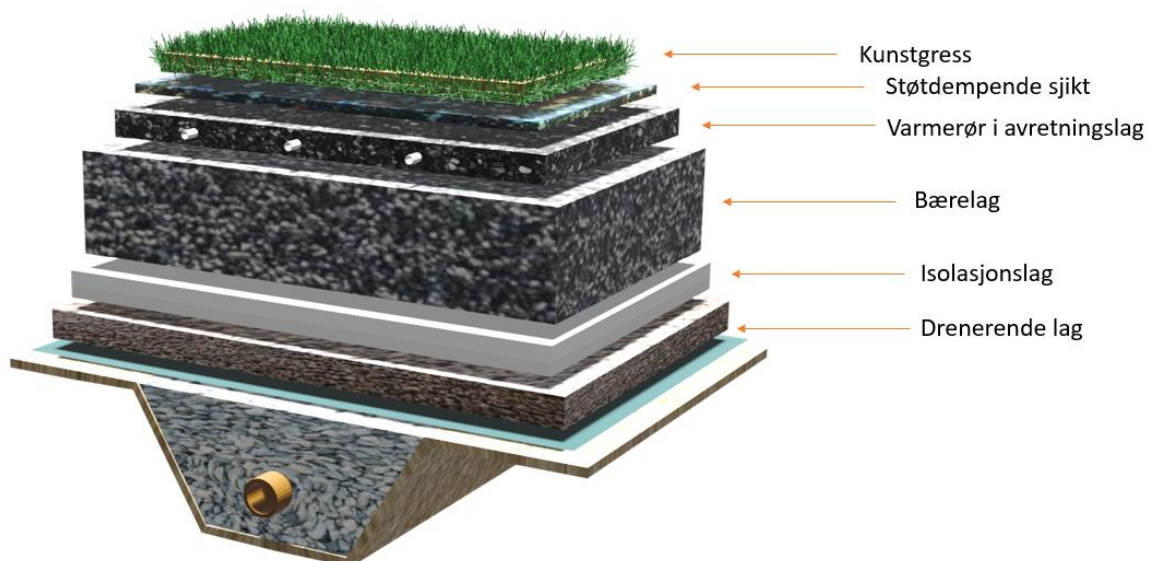
Oppgaven er inndelt i 6 hovedkapitler der første er introduksjon, der bakgrunnen for oppgaven og hva vi skal se på belyses. Deretter følger et teorikapittel som går gjennom relevant teori som er benyttet. Metodekapittelet beskriver hvordan fremgangsmåten har vært og hva som er utført for å gjennomføre denne oppgaven. I kapittel 4 vil resultatene bli presentert, og i kapittel 5 vil de bli drøftet. Til slutt vil kapittel 6 ta for seg endelig konklusjon.

Kapittel 2: Teori

2.1 Konstruksjon av kunstgressbaner

Å bygge en kunstgressbane krever et stort areal, og ofte blir de plassert på områder som ikke er egnet for annen byggevirkosomhet. Grunnforholdene er viktig å få undersøkt av geotekniske eksperter som ser på stabilitetsforholdene, kvaliteten og egenskapene til jordarten, bestemmer jordartens egenskaper ved komprimering og ser på grunnvannstanden, da det settes strenge krav til overflatejevnhet på en kunstgressbane. Det må sikres mot telehiv for baner som skal brukes i toppserien i fotball. Det er vanlig å isolere i grunn for å hindre telehiv, men da er det viktig at isolasjonslaget har drenerende egenskaper. På kunstgressbaner som skal brukes for toppfotball er det viktig med fall fra midten av banen å ut mot langsidene, så regnvann ikke akkumulerer seg opp. Anbefalt fall er på 0,8-1,0%. (Andersen *et al.*, 2015)

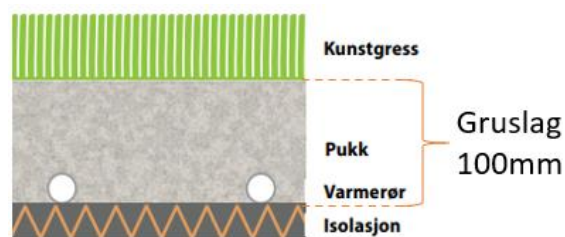
Kunstgressbaner bygges opp med forskjellige lag, drenerende lag, bærelag og et avrettingslag som vi ser på Figur 1. Denne figuren er tegnet av Skjevdal L.G., Blikra E., som skriver bacheloroppgaven *Kunstgressbane i Trondheim: Detaljprosjektering og utførelse*, ved Institutt for bygg- og miljøteknikk. Avrettingslaget skal gi en stabil og jevn flate til legging av støtdempende sjikt, pad, eller kunstgresset der pad ikke benyttes. Bærelaget skal ta opp belastningen fra overflaten så den ikke blir deformert. Dreneringslaget skal lede bort fuktigheten i jordsmonnet. (Andersen *et al.*, 2015)



Figur 1 illustrasjon på konstruksjon av kunstgressbane (Skjevdal og Blikra, 2021)

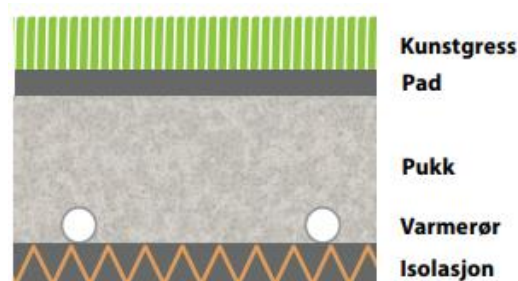
I veilederen kunstgressboka av kulturdepartementet har de beskrevet fire alternativer for varmfordeling i en kunstgressbane. (Andersen *et al.*, 2015)

Alternativ 1 er den tradisjonelle metoden for undervarmesystemet hvor varmerørene legges i gruslaget. Her benyttes et isolerende sjikt under et bærlag av steinmasser. Rørene har normalt en senteravstand på 200mm som legges i lengderetningen eller på tvers av banen. Rundt rørene fylles det med grus i en tykkelse på 100mm.



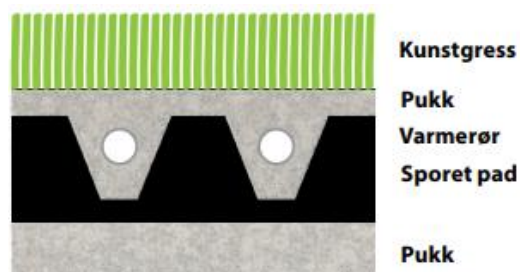
Figur 2 Tradisjonell oppbygging av undervarme

Alternativ 2 er likt alternativ 1, men i tillegg legges det en pad som gir en støtdempende effekt til spillerne. Her må varmen fra rørene trekke gjennom paden og da er det viktig å benytte seg av en pad med lav isolasjonsevne.



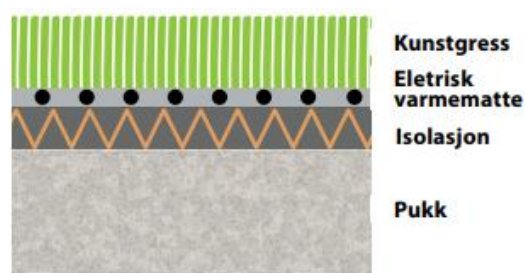
Figur 3 Legging av pad

Alternativ 3 legges rørene i en sporet prefabrikkert pad, heretter kalt varmepad. Dette gir en støtdempende effekt, samt isolerende slik varmen reflekteres opp. Paden legges under kunstgresset med et tynnere lag med pukk enn de andre alternativene. Dette systemet kalles et termisk raskt system som vil si at varmeendringene skjer raskere enn uten varmepad.



Figur 4 Varmepad

Alternativ 4 er den siste versjonen i veilederen med elektriske kabler. Prinsippet er å dele opp banen i forskjellige soner der automatikken leverer strøm til de ulike sonene etter tur. Denne metoden kommer ikke til å belyses i denne oppgaven.



Figur 5 Elektriske kabler

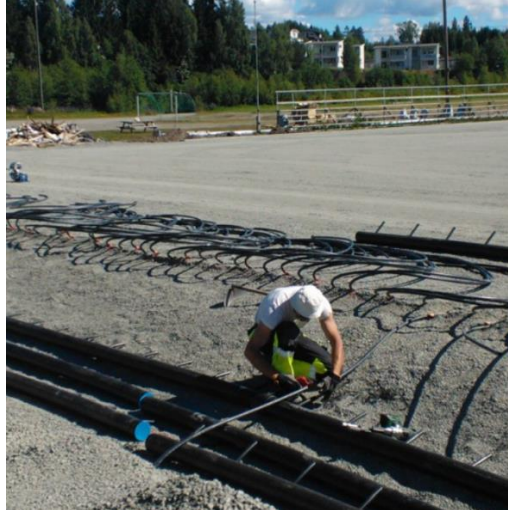
For å få gode spilleforhold og at undervarmen skal fungere som tiltenkt, er det viktig med god drenering. Det skal ikke akkumuleres vann på overflaten av kunstgresset, men dreneres bort eller infiltreres i grunnen. Isolasjon som legges i grunn må ha drenerende egenskaper som lettklinker eller skumglass har. For at de skal ha like gode isolerende egenskaper som tradisjonelle isolasjonsplater må det legges med en tykkelse på 3-4 ganger mer. Det benyttes isolasjon for å unngå stort varmetap nedover i grunnen. (Andersen *et al.*, 2015)

Undervarme

Som nevnt i innledningen brukes undervarme til å holde banen frostfri, spillbar og myk store deler av vinterhalvåret. Undervarme skal ikke dimensjoneres som et snøsmelleanlegg, der snøen tiner vekk. Det er lagt opp til at banene skal brøytes. Erfaring tilsier at vanlig varmebehovet for en kunstgressbane ligger mellom 100-120 W/m² (personlig samtale, Johnsen., T., 19.03.21).

Undervarme deles inn i et primær- og sekundærsystem. På primærsiden er varmekilden eksempelvis fjernvarme som i denne oppgaven. Sekundærsystemet er varmerørene som distribuerer varmen i kunstgresset. I varmerørene sirkulerer det et arbeidsmedium som vanligvis er en glykol/vann blanding. Plassering av varmesentralen bør være så nærme banen som mulig, slik at man minsker varmetapet på veien.

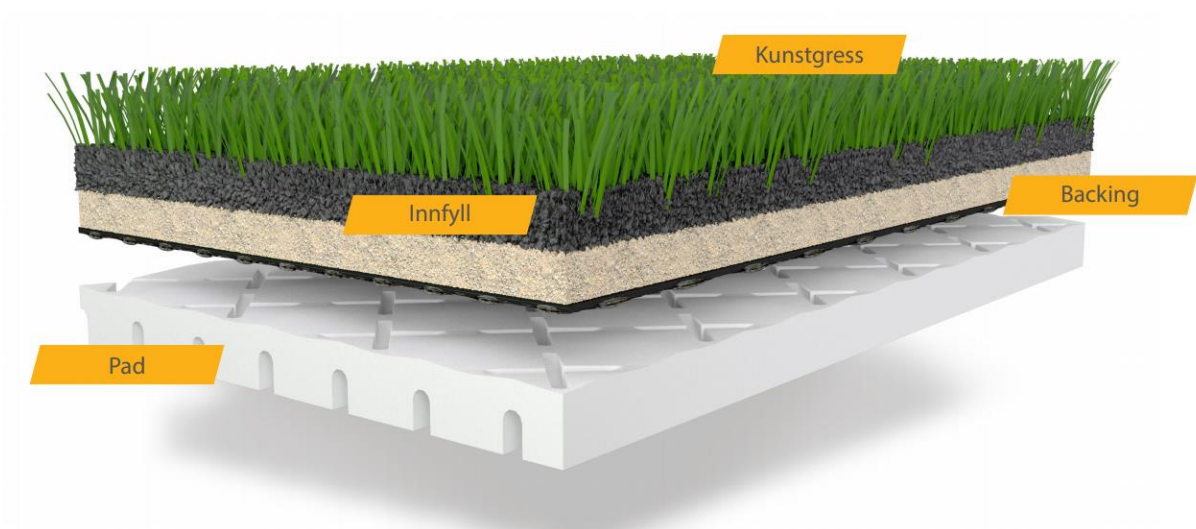
På en kunstgressbane blir PE-rørene, heretter varmerør, lagt omtrent 100mm under kunstgresset, men leggedybden kan variere. Årsaken til at varmerørene legges høyt er for å minske energiforbruket og derav gjøre kunstgressbanen termisk raskere. Varmerørene legges nærmere overflaten i kunstgressbaner enn i naturgressbaner fordi man ikke pigger banen. Pigging vil si at de lager hull i gressmatten for å lufte gresset. Varmerørene kan legges både på langs og på kortsiden, se Bilde 1. (Aune S., Myhrvold O., Engelsjord M., 2002).



Bilde 1 Legging av varmerør (Vardal IF på Gjøvik får kunstgressbane med undervarme, 2014)

Kunstgress og støtdempende sjikt

Det finnes mange typer kunstgress i forskjellige kvaliteter. Plastfibrene i kunstgresset blir utformet for å være mest mulig likt naturlig gress. (Unisport, 2021). Kunstgresset legges direkte på avrettet underlag av grus eller pad, som kalles flytende legging da det ikke forankres til underlaget. (Andersen *et al.*, 2015)



Figur 6 (Unisport, 2021)

Innfilllet i kunstgresset sørger for å holde spilleflaten myk og gi støtdemping for spillerne sammen med det støtdempende sjiktet. I de fleste kunstgressbaner ligg det et lag med sand i

bunn for å stabilisere kunstgresset, deretter følger det et topplag med syntetiske eller organiske materialer. Det kan benyttes kunstgress uten innfyllingsmaterialer, men da er den avhengig av å benytte seg av støtdempende sjikt under (Andersen *et al.*, 2015).

Varmerørene distribuere varme til jordsmonnet omkring og ledes mot det kalde området, fortrinnsvis oppover mot kunstgresset. Det må bemerkes at selve kunstgresset har lav varmeledningsevne, og det er innfyllingsmaterialet, som fordeler varmen. Kunstgress har en antatt levetid mellom 10-15 år alt ettersom bruksfrekvens, mens levetiden for paden er lengre. Det kan benyttes samme pad ved utskifting av kunstgresset ved rehabilitering (Andersen *et al.*, 2015).

2.2 Termisk treghet i idrettsflater

Kunstgressbaner som generelt benytter seg av undervarmesystem vil ha en iboende termisk treghet i seg ut ifra hvordan den er konstruert. Den termiske tregheten er i stor grad påvirket av materialenes varmekapasitet og konduktivitet. Ved at materialet har en høyvarmekapasitet og lav konduktivitet vil gi en høy termisk treghet. (PD: Thermal Lag, 2021)

2.3 Varmefluks

Varmefluks er overføringen av termisk energi fra et varmt område til et kaldt område. Ved at et materiale har en høyere temperatur enn omgivende materiale, så vil drivkreftene sørge for at varmen beveger seg mot det kaldere materialet. (Simscale, 2021) Konduktivitets faktoren beskriver materialets evne til å lede varme. Jo høyere konduktivitet jo raskere lar den seg varmes opp.

For å beregne varmekonduktivitet benyttes Fouriers lov: $\dot{q} = -k x \frac{\Delta T}{\Delta x}$

\dot{q}	Varmefluks	$[\frac{W}{m^2}]$
k	Termisk konduktivitet	$[\frac{W}{m \cdot K}]$
ΔT	Temperaturdifferanse	[K]
Δx	Tykkelse	[m]

2.4 Arbeidsmedium

Arbeidsmedium er fellesbetegnelsen for en væske eller en gass som benyttes til å kjøle eller varme et system. Det er viktig at arbeidsmediet har høy varmekapasitet og konduktivitet. Det er i tillegg gunstig om det har lav viskositet da dette vil gi et lavere pumpearbeid. I denne oppgaven er det skrevet om fire alternativer som kan være aktuelt å benytte i undervarmesystemet på SalMar kunstgressbanen på Lerkendal.

2.4.1 Glykolblandinger

Glykol er en mye brukt væske grunnet et lavt frysepunkt og høyt kokepunkt. Ved å tilsette inhibitorer så vil det øke levetiden på glykolen, samtidig som at glykolen ikke vil korrodere komponenter å skape groe i rørene.

Glykol har en lavere spesifikk varmekapasitet (c_p) enn vann, noe som tilsvarer at det behøves en større volumstrøm for å oppnå like god varmeoverføringsevne som for rent vann. For mye glykol begrenser varmoverføringsevnen samt at det kreves et økt pumpetrykk. Normalt ligger blandingsforholdet på 30% glykol. (Novema kulde, 2014).

Det eksisterer forskjellige blandinger av glykol, men i denne oppgaven er det to typer vi har sett på.

1. Etylenglykol er en type glykolblanding som er mye brukt til industrielle formål. Den har god varmeoverføringsevne og lav viskositet. Den er giftig og skadelig for miljøet, og det anbefales ekstra sikkerhetstiltak når en skal benytte seg av denne glykolblandingen. (Helsenorge, 2018)
2. Propylenglykol er også mye brukt til industrielle formål, men har noe lavere varmeoverføringsevne og høyere viskositet i forhold til etylenglykol. Fordelen med å benytte seg av propylenglykol er at den er klassifisert som ikke giftig og er heller ikke miljøskadelig ved utslipp. (DOW, 2021)

2.4.2 Etanol

Etanol, mer kjent som sprit, blir benyttet innen kjøle- og varmepumpeteknologi. Etanol er en væske som er benyttet mye på grunn av sine gode egenskaper, som lavt frysepunkt og høy varmeoverføringsevne, samt lav viskositet. Ved å kombinere etanol og vann i ulike konsentrasjoner vil væskeblandingen få gode frysegenskaper og god varmeoverføring.

Etanolløsninger bør i mange bruksområder ikke overstige 30 vekt%, hovedsakelig på grunn av lavt flammepunkt. (Melinder, 2007, s. 18). Vektprosent er en måte å angi konsentrasjonen av et kjemisk stoff i en blanding, der konsentrasjonen beregnes som andelen masse av det innblandete stoffet utgjør av massen til hele blandingen, angitt i prosent. (Snl, 2021)

Etanol er korrosivt, så for å sørge for at rør og andre komponenter som er i kontakt med væsken ikke korroderer må det blandes inn inhibitorer. (Köldbärare i värmepumps- och värmeåtervinningssystem, 1986). Etanolen er ikke helseskadelig hvis den blir håndtert riktig. Råvarene den er oppbygd av er med på å gjøre at den brytes fullstendig ned i naturen. (Båsum boring, u.d.)

2.4.3 Ammoniakk

Ammoniakk er et naturlig kjølemiddel som er benyttet i mange år i en rekke bruksområder på grunn av sin høye varmeoverføringsevne. Ammoniakk er en gass, så for å fremstille ammoniakkvann må vann og ammoniakk kombineres.

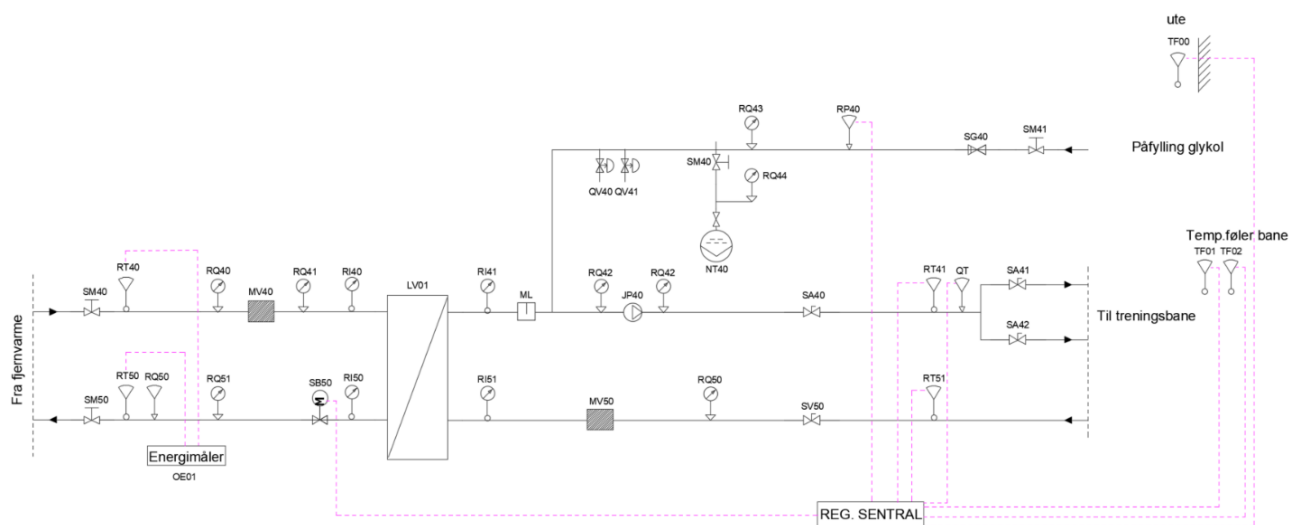
Ammoniakkvann innehar god spesifikk varmekapasitet og varmeoverføringsevne, samt lavt frysepunkt. Den har lav viskositet noe som bidrar til lavt pumpearbeid. Frysepunktet vil bli lavere ut ifra blandingsforholdet ammoniakken har med vann. (Melinder, 2007). Høye konsentrasjoner, 25-30% NH₃ i vann, er meget etsende og kan forårsake forbrenning på hud og er sterkt alkalisk. (Melinder, u.å.) Materialer som er ikke er kompatible er metaller som inneholder kobber, mens metaller som aluminium, syrefast/rustfritt stål og jern er kompatible.

2.5 Varmesentral

Varmesentralen til SalMar idrettsflate ligger på sør/vest siden av banen. Den er plassert inn i en uisolert container som Bilde 2 viser.



Bilde 2 Varmesentral



Figur 7 Systemskisse varmesentral

Figur 7 viser systemskissen av varmesentralen til SalMar kunstgressbane. Systemskissen har tverrfaglig merkesystem (Statsbygg, u.å.). Energimåleren, OE01, er installert på primærsiden. RT40 og RT50 på primærsiden er temperaturgivere som måler temperaturen på tur- og returrørene. Reguleringsventilen, SB50, åpner og lukker etter varmebehov på sekundærsiden. På påfyllingen er det montert en trykkvarsler, RP40, som gir signal hvis trykket går under 0,5 bar. RT41 og RT51 er temperaturgivere som viser temperatur i tur- og returrør. QT er en høytemperaturvakt som stenger SB50 hvis turtemperaturen kommer over 35°C, dette er for å beskytte varmerørene. I banen ligger det to følere, TF01 og TF02, som anlegget reguleres etter.

SD-anlegget får også signal fra uteføleren TF00, men anlegget er ikke utekompensert, så det er kun informativt.

2.5.1 Fjernvarme

Fjernvarme er et system som benytter seg av energigjenvinning for å varme opp vann. Turtemperaturen på vannet varierer ut ifra hvilken tid på året det er, men normalt er 95°C, men kan heves til 120°C ved behov. Driftstrykket ligger mellom 0,2 – 1,4 MPa, dette for å unngå at vannet fordamper, og varierer utfra lokasjon og årstid. (Statkraft, 2015)

Mye av grunnen til at vann benyttes er tilgjengeligheten og den gode varmeoverføringsevnen som vann innehar. Selv om vann har gode egenskaper, så må vannet renses for å unngå groe og rørkorrosjon i anlegget. (Norsk fjernvarme, u.d.) Uten rensing av vannet, vil groe og rørkorrosjon gi et høyere pumpearbeid og en dårligere varmeoverføring.

Det settes et krav til så lav returtemperatur som mulig, høyeste returtemperatur skal være lavere enn 45°C. Ved å ha høy ΔT nyttiggjør en seg av den sirkulerte varmemengden i anlegget. ΔT forteller hvor mye av varmen som er overført til anlegget fra vannet. (Statkraft, u.d.)

2.5.2 Pumpe

I varmesentralen på SalMar kunstgressbane er det installert en trykkøkingspumpe av typen Wilo IL80/210-3/4 som er uregulert. Pumpas funksjon er å øke trykket, og sirkulere arbeidsmediet gjennom varmerørene i et lukket system.



Bilde 3 Wilo IL80

Ved dimensjonering av pumpe benyttes kalkulert trykktap og prosjektert volumstrøm i anlegget. Trykktapet avhenger av volumstrøm, hastigheten på fluidet, friksjon og enkeltmotstander i anlegget. Ved beregning av trykktap vil vi benytte oss av ulike formler.

For beregning av hastighet:

$$u = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{V} \times 4}{\pi \times d_i^2} \quad [m/s]$$

u	Hastighet	[m/s]
\dot{V}	Volumstrøm	[m ³ /s]
A	Tverrsnittareal	[m ²]
d_i	Indre rørdiameter	[m]

Beregning av Reynoldstall

$$Re = \frac{\rho \times u \times D_h}{\mu} \quad [-]$$

Re	Reynoldstall	[-]
ρ	Densitet	[kg/m ³]
u	Hastighet	[m/s]
D_h	Hydraulisk diameter	[m]
μ	Dynamisk viskositet	[kg/(m*s)]

Beregning av friksjonsfaktor Haaland formel

$$\frac{1}{\sqrt{f_{turbulent}}} = -1,8 \times \log \left(\left(\frac{\varepsilon/d}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right)$$

$f_{turbulent}$	Friksjonsfaktor	[-]
ε	Overflateruhet	[m]
d	Rørdiameter	[m]
Re	Reynoldstall	[-]

Beregning av trykktap

$$\Delta p_{tap} = \Delta p_f + \Delta p_m = \frac{\rho \times u^2}{2} \times \left(f \times \frac{L}{D_h} + \sum \zeta \right) \quad [Pa]$$

Δp_{tap}	Totalt trykktap	[Pa]
Δp_f	Trykktap	[Pa]
Δp_m	Trykktap enkeltmotstander	[Pa]
ρ	Densitet	[kg/m ³]
u	Hastighet	[m/s]
f	Friksjonsfaktor	[-]
L	Karakteristisk lengde	[m]
D_h	Hydraulisk diameter	[m]
ζ	Enkeltmotstander	[-]

Beregning av pumpearbeid

$$P = \frac{\Delta p_{tot} \times \dot{V}}{\eta} \quad [W]$$

P	Pumpearbeid	[W]
Δp_{tot}	Totalt trykktap	[Pa]
\dot{V}	Volumstrøm	[m ³ /s]
η	Virkningsgrad	[-]

Beregning av varmestrøm

$$\dot{Q} = \dot{V} \times \rho \times c_p \times \Delta T \quad [W]$$

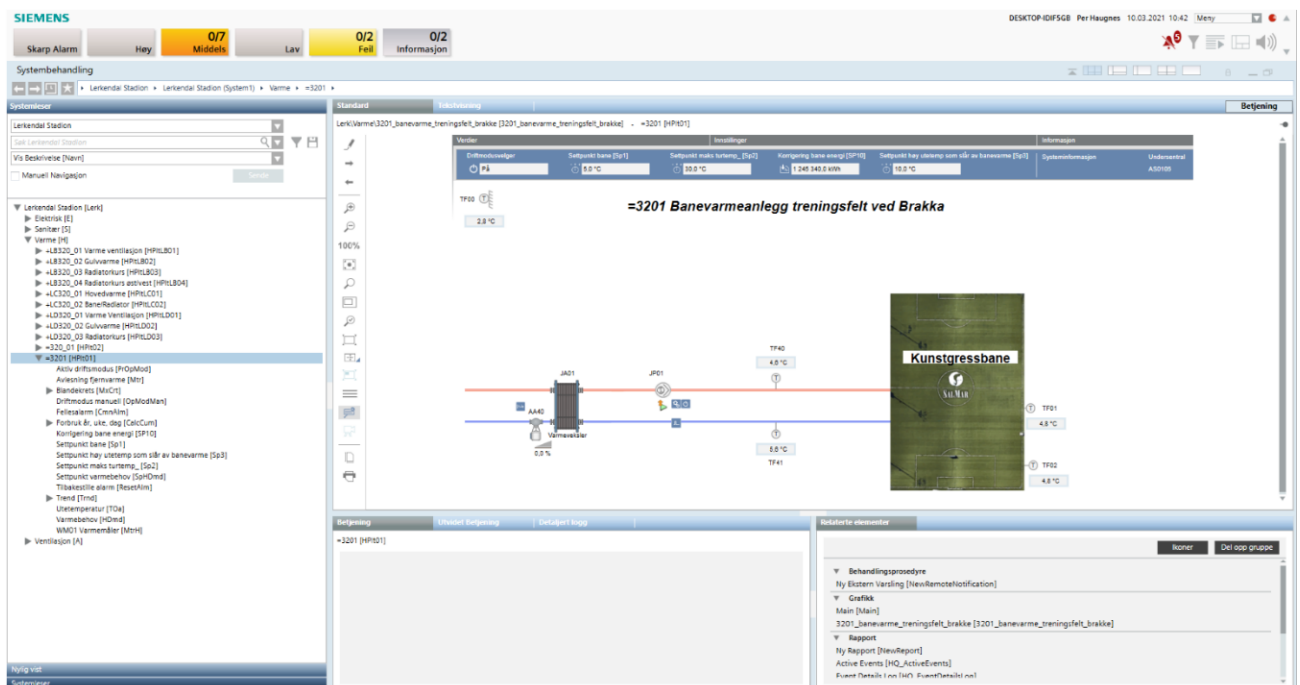
\dot{Q}	Varmestrøm	[W]
\dot{V}	Volumstrøm	[m ³ /s]
ρ	Densitet	[kg/m ³]
c_p	Spesifikk varmekapasitet	[J/kg·K]
ΔT	Temperaturdifferanse Tur-Retur	[K]

2.6 Regulering

2.6.1 SD-anlegg

Et sentralt driftskontrollanlegg er et hjelpemiddel til driftsavdelingen. Det gir brukeren oversikt over anlegget sitt til enhver tid da det er koblet opp mot internett. Ved å benytte et SD-anlegg kan man få effektiv energibruk og utnytte driftsdata. Et SD-anlegg skal styre, regulere og overvåke alle tekniske komponenter. (SD-anlegg, 2020)

Figur 8 viser SD-anlegget til SalMar idrettsflate.

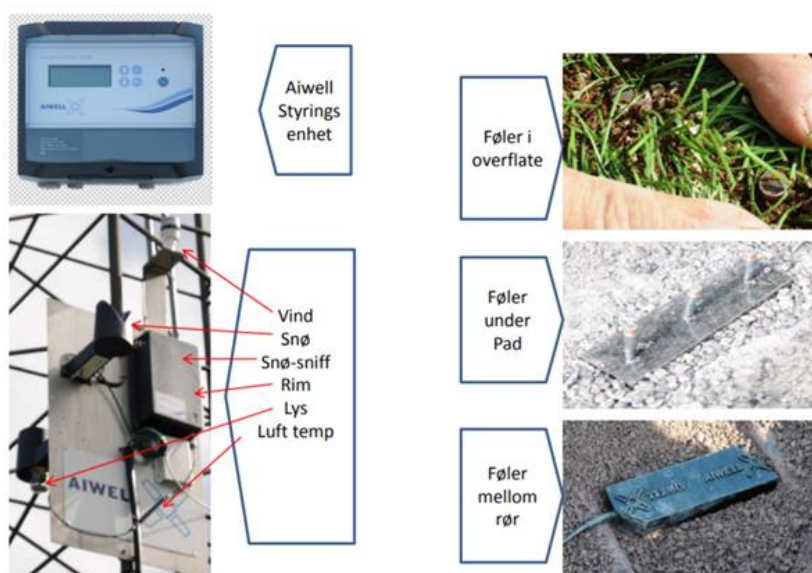


Figur 8 Oversiktsbilde SD-anlegg SalMar

2.6.2 Automatisert regulering

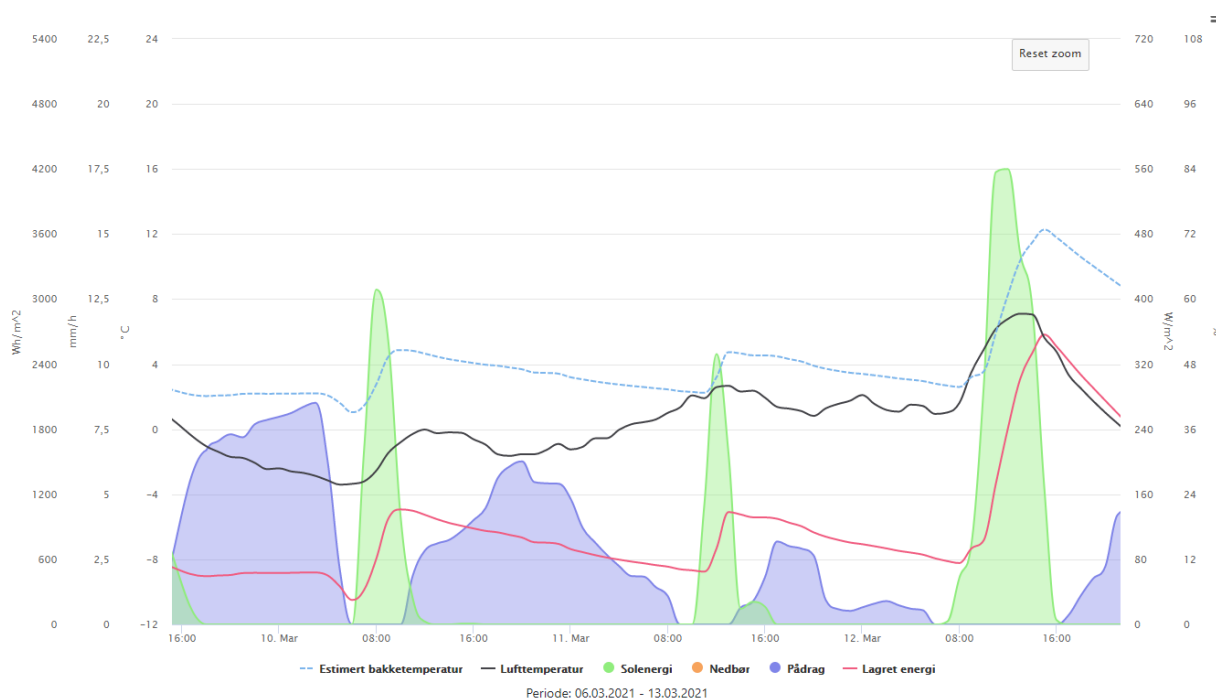
Automatisert regulering er en arbeidsoperasjon uten menneskekraft. Det foregår mekanisk ved analoge eller digitale elektriske signaler (Zijdemans, 2018, s.271). På markedet finnes det systemer for regulering fra to aktører; Aiwell og Guard.

Aiwell sitt system heter Control 3000. Det er et automatisert reguleringssystem som består av forskjellige komponenter. Produktet er sammensatt av 8 bakkefølere fordelt i banen, værstasjon med lysmåler og et PC-program spesifisert for fotball, se Bilde 4. Sensorene blir lagt i 3 dybder; ved varmerørene i banedekket, under pad og i overflaten til kunstgresset. I styringsprogrammet legges det inn trening eller kamp i en kalender. Ved kamp er det viktig at kunstgressbanen er spillbar, det vil si myk. Meningen med å benytte flere komponenter er å få et bedre reguleringssystem som kan få ned energibruken til anlegget. En er heller ikke avheng av en type energikilde ved dette produktet (Aiwell, 2013).



Bilde 4 Oversikt over komponentene i Aiwell Controll 3000

Guard Automation AS tilbyr regulering av snøsmelteanlegg som de kaller for Street Smart, og er basisen til undervarmesystemet deres; Field Smart. De baserer seg på en skybasert tjeneste for best mulig styring av varmpådraget til enhver tid. De lager en digital tvilling av systemets termodynamiske egenskaper og beregningene baserer seg på nøyaktig lokasjon og globale værforhold. Systemet deres er sensorløst, så det er ikke avhengig av temperatursensorer i kunstgressbanen. For å kunne kartlegge den aktuelle kunstgressbanen benytter de seg av en innreguleringsperiode, der det plasseres ut en batteridrevet ekstern værstasjon i et par dager. Måledata fra de dagene, legges inn i en matematisk modell som blant annet kan estimere banetemperatur og lagret energi i bakken. De ønsker å unngå effektopper og regulerer etter ønske om jevnere pådrag for å optimalisere undervarmesystemet. I softwaren deres finnes det en kalenderfunksjon, der det eventuelt kan legges inn kampdager for å optimalisere spilleforholdene bedre. Bilde 5 viser ulike temperatur- og pådragskurver som Guard benytter (Guard Automation AS, 2021).



Bilde 5 Et utdrag av Guard Field Smart (Guard Automation AS, 2021)

Kapittel 3: Metode

3.1 Måleutstyr og plassering

Til måling av temperatur ble det benyttet temperatursensorer av typen iButton DS1922L-F5 ThermoChron, som måler og registrerer temperaturene i jordsmonnet. Temperatursensorene kan måle temperaturer i området fra $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, og har en usikkerhet på $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ for målinger i området $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatursensorene er oppgitt å være kalibrert i samsvar med National Institute of Standards and Technology (NIST). (Ibuttonlink.com, 2021). Batteritiden på iButton er oppgitt til å være på hele 7 år. (embeddeddatasystems.com, 2021)

Ved oppstart ble banemester kontaktet, og det ble valgt ut tre plasseringer hvor det kunne gjøres temperaturmålinger som vist i Figur 9. På utvalgte målepunkt var det rift i kunstgresset, samt at paden var skadet slik det var mulighet å grave et hull på $10\times 10\times 10\text{ cm}$ hvor temperatursensorene kunne graves ned, se Bilde 6.

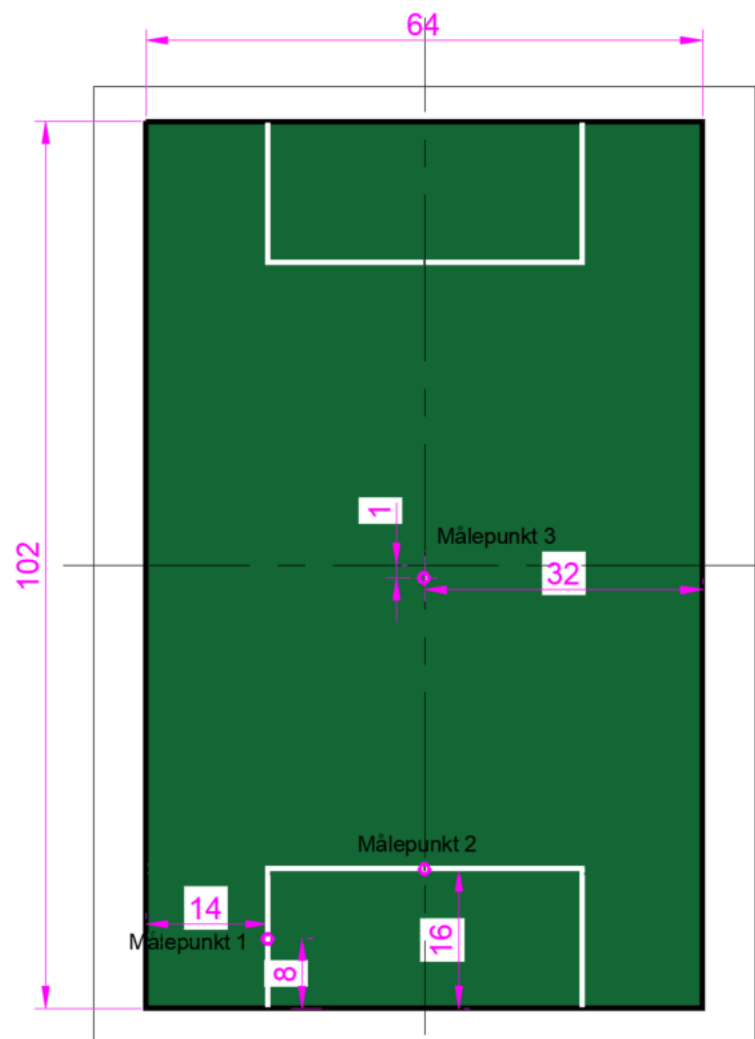


Bilde 6 Plassering av temperatursensorer

Det ble bestemt at fire sensorer skulle nedgraves ved ulike dybder som vist i tabellene 1-3. Det var ønskelig å få gravd de ned så nærme varmerørene som mulig, da dette ville gi mer presise målinger enn om de ble gravd ned vilkårlig. Bakgrunn for valg av dybde ble basert på samtaler med banemester, der 10 cm var dybden han antok varmerørene lå i. Underveis i nedgravingen ble det observert varme fra jordsmonnet som antas kom fra varmerørene. Om de tte var tur- eller returrør er usikkert. Ved målepunkt 2 og 3 kunne en ikke fysisk se noen varmerør så her antas det at temperatursensorene ligger mellom tur- og returrørene. Derimot ved målepunkt 1 ble det observert ett varmerør, og temperatursensorene ble plassert omtrent 3 cm fra varmerøret.

Heller ikke her er det noen indikasjon på om det er tur- eller returrør. Målepunkt 1 er antatt å gi det mest fornuftige bildet av hvordan temperaturen forløper seg i de ulike dybdene av de tre målepunktene, grunnet observasjon av et varmerør.

Det ble valgt ut et fjerde målepunkt der temperatursensoren målte utetemperaturen. Målepunkt 4 er plassert ved containeren som står ved kunstgressbanen, Tabell 4. Det ble plassert ut to stykker; den ene benyttet som kontrollsensor som skulle logge i et par dager som forsikret oss at loggingen var satt i gang, mens den andre skulle logge like lenge som de andre.



Figur 9 Oversikt over målepunkt og avstander på SalMar kunstgressbane

Målepunkt 1

Nummer på sensor	Dybde (cm)	Kommentar
1	10	Lik dybde med rør
2	5	5 cm over varmerør
3	2	Under pad
4	0	Mellom kunstgress og pad

Tabell 1 Målepunkt 1

Målepunkt 2

Nummer på sensor	Dybde (cm)	Kommentar
12	10	Lik dybde med rør
13	5	5 cm over varmerør
14	2	Under pad
17	0	Mellom kunstgress og pad

Tabell 2 Målepunkt 2

Målepunkt 3

Nummer på sensor	Dybde (cm)	Kommentar
20	10	Lik dybde med rør
21	5	5 cm over varmerør
22	2	Under pad
23	0	Mellom kunstgress og pad

Tabell 3 Målepunkt 3

Målepunkt 4

Nummer på sensor	<i>Kommentar</i>
7	Utesensor, legges på container
30	Utesensor, legges på container for testing at den logger

Tabell 4 Målepunkt 4

3.1.1 Måleperiode

Hver enkelt temperatursensor ble programmert til å registrere hvert 30.minutt, ved å benytte dette intervallet ble det antatt det ville gi gode nok målinger basert på at undervarme er et termisk tregt system. Måleperiode 1 var fra 15 februar til 2 mars og ble satt til to uker grunnet usikkerhet i hvor mye batteritid som gjensto på sensorene. Etter måleperiode 1 ble alle sensorene gravd opp og måledataene hentet ut. Av de 12 sensorene som var gravd ned var det 11 som hadde registrert temperaturer, det viste seg at sensor nr.13 ved målepunkt 2 ikke var aktivert. 1 burde startet før for å få mer måledata, som kunne gitt et bedre bilde av hvordan temperaturforløpet i kunstgressbanen i de ulike dybdene er ved ulike utetemperaturer og klimaforhold. Hadde de blitt gravd ned to-tre uker før første måleperiode, ville det ha blitt med temperaturmålinger fra den kaldeste perioden.

For å få et bredere datasett ble det gravd ned nye sensorer ved samme målepunkt som ved første periode, og med samme måleparameter. Etter diskusjon med veilederne ble det gravd ned ny temperatur sensor ved 15 cm dybde ved målepunkt 1 og 3, dette for å se hva temperaturen var under varmerørene. Målepunkt 2 ble valgt bort da differansen mellom målepunkt 1 og 2 fra måleperiode 1 var neglisjerbare. Måleperiode 2 var fra 2 mars til 11 april.

3.1.2 Måleusikkerhet

Alle temperatursensorene ble innpakket i plast og teipet, slik de var beskyttet mot inntrengning av vann. Det ble antatt at innpakkingen i plast ikke skulle påvirke temperatursensorene. (Roznik og Ross, 2012)

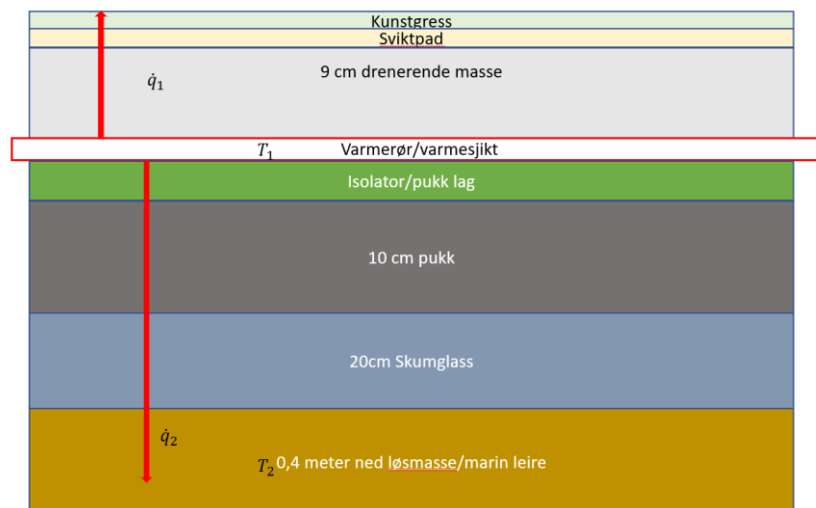
Det er usikkerhet i om temperatursensorene ligger direkte ovenfor hverandre ved de ulike måledybene. Dette kan bidra til at temperaturmålingene ikke gjenspeiler reelt temperaturforløp. Den øverste sensoren som ligger mellom pad og kunstgress kan bevege seg da kunstgressbanen benyttes til treninger, samt brøyting og kosting ved bruk av traktor. Faktorer som solinnstråling, vindforhold og regn vil kunne gi en måleusikkerhet på temperaturmålingene. Med nærmere ettertanke burde det blitt målt vindhastighet, regnintensitet og fuktigheten i jordsmonnet for å få et bedre forståelse av hva som kan påvirke temperaturene ved de ulike måledybene.

3.1.3 Behandling av temperaturmålinger

For å håndtere måledata benyttes Excel til å fremstille grafer. Det skal utforskes om det finnes en sammenheng mellom temperaturmålingene og effektforbruket, og hvordan temperaturene i jordsmonnet blir påvirket av utetemperaturen. Ved å benytte måledata fra SD-anlegget får en ut tur- og returtemperatur, banetemperatur, utetemperatur og ventilåpning på reguleringsventilen. Det kan være interessant å sette målingene fra SD-anlegget opp mot våre egne målinger i jordsmonnet for å se etter en sammenheng.

3.2 MATLAB

MATLAB er et avansert beregningsprogram som kan benyttes til å gjøre numeriske beregninger og simulering. For at disse dataene skal kunne vises på en god måte, er det mulig å benytte ulike plot for å bedre visualisere resultatene i en graf eller lignende. MATLAB benyttes i denne oppgaven for å få en indikasjon på om isolasjon under varmerørene bidrar til et mindre varmetap nedover i jordsmonnet. Figur 10 viser hvordan modellen for scriptet er satt opp.



Figur 10 Hvordan modellen er oppbygd i MATLAB

Koden er skrevet slik at det skal være mulig å hente ut verdier av temperaturen og varmefluksen (\dot{q}_2 og \dot{q}_1) gjennom de ulike lagene som jordsmonnet består av. Resultatet fra simuleringene blir fremstilt i grafer for å visualisere ulikhetene mellom med og uten isolasjon.

For å utføre simuleringen er det nødvendig med verdier for de enkelte lagene som SalMar kunstgressbane består av. Det ble ikke utført test for å finne densiteten, den spesifikke varmekapasiteten og konduktiviteten til de ulike lagene, men heller benyttet litteratur og studier som er gjort for å finne verdier. Verdiene som er benyttet finnes i tabell 14-20 se Vedlegg 6.

Ved å benytte gjennomsnittsmålinger fra måleperiode 1 ved 10 cm dybde, skal dette representere varmen avgitt fra varmerørene (T_1). Temperaturen fra NIBIO benyttes som et referansepunkt til det nederste laget (T_2). I tillegg er både strålingstap og varmetap via konveksjon fra kunstgresset til luft tatt hensyn til. Disse temperaturen vil MATLAB benytte seg for å beregne temperaturprofilen og varmefluksen gjennom modellen med og uten isolasjon.

Modellen som benyttes til simulering er en forenkling av forholdene på SalMar kunstgressbanen. Det er ikke tatt hensyn til at utetemperaturen kan variere, om det er overskyet eller ikke, nedbør, solinnstråling og vindhastighet. Det ble gjort en forenkling i modellen der varmerørene er plottet

som et varmesjikt som representerer varmerørene, og ikke rør. Dette utgjør at simuleringen ikke tar hensyn til at varmen brer seg ut i radiell retning, men kun i aksiell retning. Det antas likevel at dette vil gi et godt nok estimat om bruk av isolasjon under varmerørene vil bidra til en mindre varmefluks under dem.

3.3 Termografikamera

Ved å benytte et termografikamera, FLIR kamera se Vedlegg 1, vil det utforskes om varmefordelingen fra undervarmesystemet vil vise ujevn temperaturdifferanse på overflaten til kunstgressbanen. Ved å ta bilde fra Scandic eller Norconsult-bygget ved SalMar kunstgressbane vil en forhåpentligvis kunne få et oversiktlig bilde, men det er mulig avstanden er for stor. Om dette er tilfelle benyttes et av kommentatortårnene ved kunstgressbanen.

3.4 Arbeidsmedium

For å bekrefte konsentrasjonen samt frysepunktet på arbeidsmediet som benyttes i undervarmesystemet ble det benyttet et refraktometer, se Vedlegg 3. (Instrumentcompaniet, 2021) Det tas en prøve av glykolvæsken for å se om den verdien som refraktometeret viser stemmer overens med leverandøren av propylenglykolen oppgir. Det var først tenkt å ta en prøve av sikkerhetsventilene, men de var plumbert, så prøven ble tatt fra påfyllingen i varmesentralen i stedet. Denne prøven vil kun si noe om blandingen som blir påfylt og ikke hva som sirkulerer i undervarmesystemet. Ved utførelsen ble en dråpe av glykolblanding dryppet på den rengjorte glassoverflaten og holdt mot en lyskilde. Ved å se gjennom synsmekanismen kommer væskens frysepunkt og konsentrasjon i en skala i refraktometeret opp.

Det ble utført et grundig litteratursøk for å finne det mest pålitelige egenskapene av vannholdige løsninger. For å kunne beregne pumpearbeid og trykktap ved bruk av de ulike arbeidsmediene, ble ulike verdier for hvert enkelt arbeidsmedium hentet fra produsenter samt termodynamiske tabeller. Noe av problematikken med de ulike væskenes egenskaper er at de verdiene som er oppgitt ved de ulike temperaturen ikke er representativ for turtemperaturen som er i undervarmesystemet. For å få tilnærmet korrekte verdier, ble det benyttet interpolering for å finne de ulike verdiene ved 35 °C. Ammoniakk er det eneste arbeidsmediet hvor det ikke er verdier for temperaturer over 10 °C.

3.5 Pumpe

Ved å benytte et FLUKE instrument, se Vedlegg 2, ble strømtrekket til pumpen målt. Med å kombinere strømtrekket og avlesning av differansetrykket til pumpen, finner man volumstrømmen som er i anlegget ved å benytte pumpediagrammet for den spesifikke pumpetypen. Eksisterende pumpe er tatt ut av produksjon, så det ble mottatt et pumpediagram for en tilsvarende pumpe fra produsent.

Ved å beregne pumpearbeidet til de ulike arbeidsmediene, kan en få en indikasjon på om det er et annet arbeidsmedium som egner seg bedre enn det som blir brukt i dag. Trykktapet i anlegget beregnes ut fra formler som er beskrevet i teorikapittelet 2.5.2, og enkeltmotstander finnes i dokumentasjon til komponentene, hos leverandører og i fluid mekanikk boken (Çengel, Cimbala, 2020, s. 382-383). Ved beregning av trykktap i samlestokker halveres volumstrømmen ved halve lengden. Dette er grunnet at vi ikke har full volumstrøm på siste sløyfe med varmerør.

Det ble stor usikkerhet i verdiene pumpediagrammet viste og dermed ble det besluttet å måle volumstrømmen og trykktapet på innreguleringsventilen i varmesentralen med et TA CBI II, se Vedlegg 4.

3.6 Regulering

For å undersøke tregheten i systemet ble leverandøren av SD-anlegget (SIEMENS) kontaktet. Formålet var å utføre en sprangresponstest på undervarmesystemet. I forkant av testen hadde undervarmesystemet vært avslått i flere dager, så det kunne ikke påvirke noen av resultatene. Det ble valgt ut parameterer som skulle benyttes i testen, som var tur- og returtemperatur og banetemperatur og ventilåpning. Etter anbefalinger fra SIEMENS startet testen med å åpne reguleringsventilen fra 0%-5% åpning. Når turtemperaturen hadde stabilisert seg ble det åpnet fra 5-8%. Meningen var å øke med 2,5% for hvert trinn, men SD-anlegget tok bare imot hele tall. Denne fremgangsmåten tok vi helt til vi nådde 30% åpning. Når turtemperaturen stabiliserte seg, ble ventilen stengt for å se hvor raskt temperaturene falt.

Ulempene med denne testen var at tiden var knapp, og i forkant hadde ikke SIEMENS lagt inn nok målepunkt. Det ble bare benyttet 100 målepunkt, så det vil være avvik i forhold til tidspunktene. Underveis i testen ble det notert ned temperaturer og første registrerte endring av retur og banetemperatur, så noe er ”flettet inn” i resultatene. Testen kan heller ikke kalles

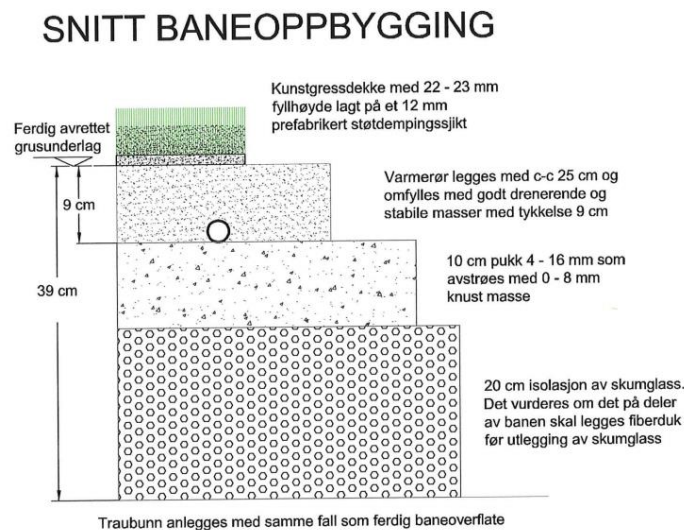
sprangrespons, da det skulle vært åpnet fra 0-30% og benyttet flere målepunkt, samt hatt bedre tid til å utføre testen.

Kapittel 4: Resultater

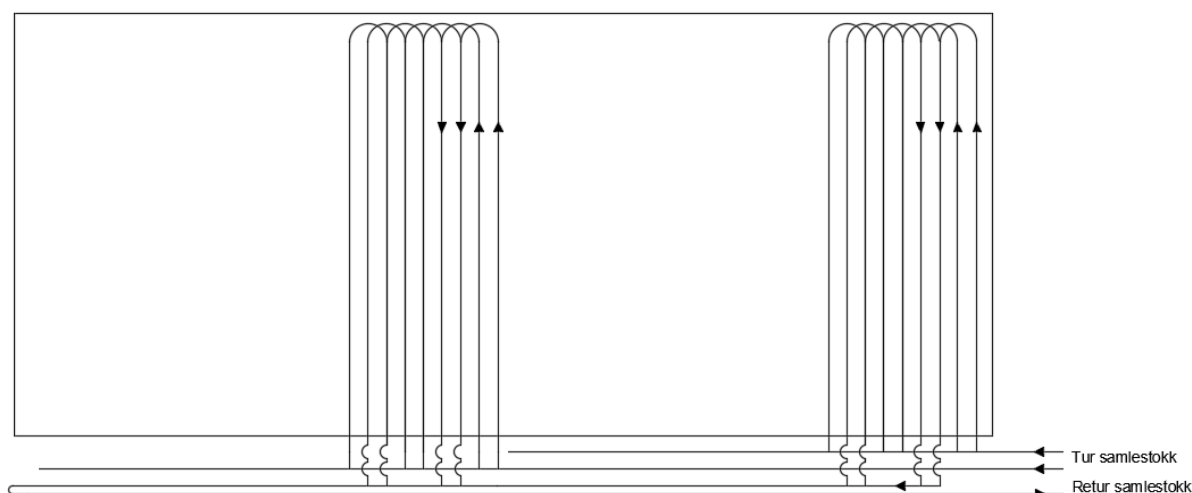
4.1 Konstruksjon av SalMar kunstgressbane

Kunstgressbanen er prosjektert som vist i Figur 11. Det er likt alternativ 2, Figur 3, fra veilederen (Andersen *et al.*, 2015). I samtale med banemester sies det at oppbyggingen er uten isolasjon, men ut fra dokumentasjonen er ikke det tilfellet.

Ifølge dokumentasjon består oppbyggingen av 5 lag. Det nederste laget består av 200 mm tykt lag med skumglass som benyttes som isolasjon. Det legges opp på traubunnen og komprimeres, i tillegg vil skumglasset fungere som et drenerende lag. Over skumglasset legges det et pukklag på 100mm som i all hovedsak sørger for drenering. Varmerørene legges på pukklaget og overfylles med en finere masse. Varmerørene i banedekket legges i en dybde på omtrent 120 mm fra kunstgresset med en dimensjonene på varmerørene er Ø25 mm som er ytre diameter. Paden er av en olivengrønn skumgummi type som fungerer som et støtdempende sjikt og er i tillegg drenerende. Øverste laget består av kunstgresset, som fylles inn med sand og gummigranulat som også fungerer som et støtdempende lag.



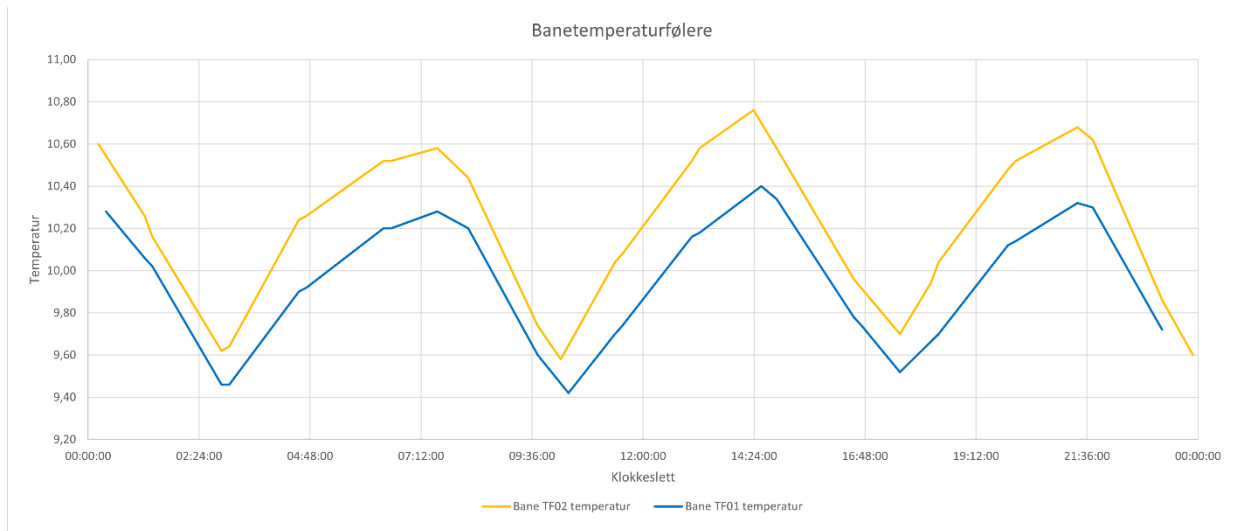
Figur 11 Snitt av baneoppbyggingen SalMar kunstgressbane



Figur 12 Leggemønster på SalMar kunstgressbane

På Figur 12 vises leggemønsteret på SalMar kunstgressbane der det benyttes to stk tur-samlestokker med dimensjon Ø160 og en stk retur-samlestokk med vendt retur med dimensjon Ø160. Begge samlestokkene og varmerørene er av materialet PE100 SDR 11 (personlig samtale, Evensen., R. 12.05.2021). Ut fra samlestokken benyttes det Ø25mm PE-rør som legges som en sløyfe, med en senteravstand på 500mm. For å få en tettere senteravstand er det først to tur-rør med en senteravstand på 250mm, som vist på Figur 12. Undervarmen i kunstgressbanen er delt inn i to, hver sin halvdel.

På banen befinner det seg to temperaturfølere som er antatt nedgravd i området rundt midtbanen omtrent 15 meter inn på banen fra langsiden. De gir signal til SD-anlegget og er med på å regulere anlegget. Som Graf 1 viser kan det antas at temperaturføler, TF02, ligger dypere enn TF01. Ut fra informasjon fra Brende AS, ligger de på samme punkt bare i ulike dybder. Ved sammenligning mot våre temperaturmålinger gitt samme tidspunkt og dag, ligger de i området 5cm og under pad, men å vite eksakt hvor de ligger er usikkert da det er en målesikkerhet på iButton temperatursensorene på $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (Ibuttonlink.com, 2021). Nå i begynnelsen av mai, har Lerkendal idrettspark fjernet kunstgresset og paden på SalMar banen, da de skal legge nytt. Det ble prøvd observert banefølerne, men uten hell. Så det kan konkluderes med de ikke ligger rett under pad.

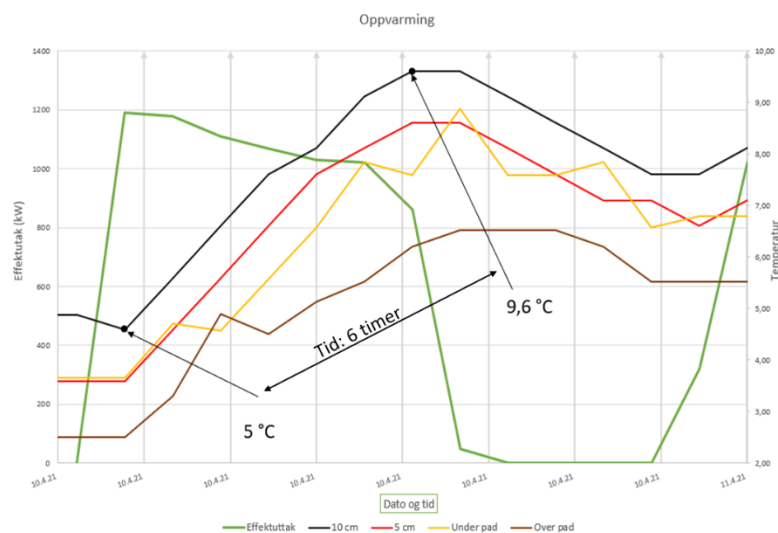


Graf 1 Banetemperaturfølere TF01, TF02

4.2 Temperaturmålinger

4.2.1 Termisk treghet

Oppvarming

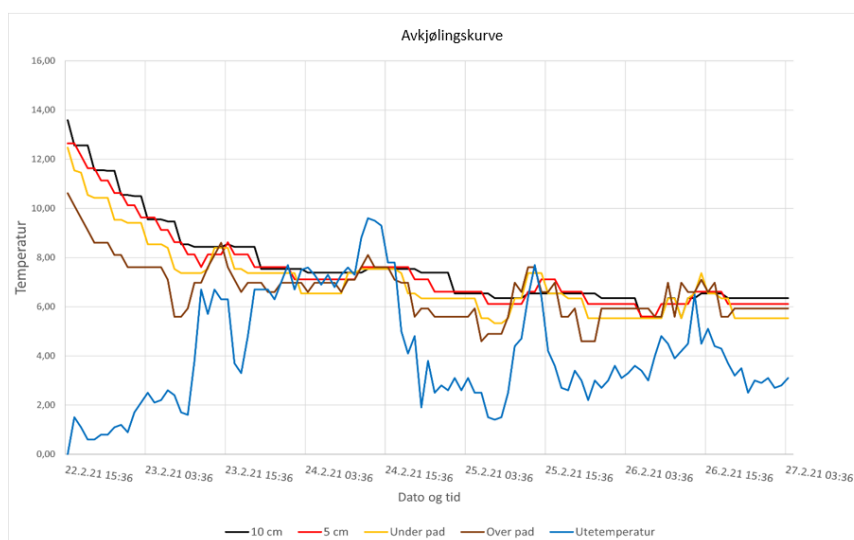


Graf 2 Temperaturstigning som funksjon av effektuttaket

Av de to måleperioden som ble utført på SalMar kunstgressbanen var det i måleperiode 2, det var målinger som kunne benyttes til å vise hvordan den termiske tregheten i banen er ved oppvarming. Graf 2 benytter seg av data fra målepunkt 1 (hvit stripe) over en dag i perioden 10.4 kl.10:00 til kl.00:00. Det har ikke vært mulig å oppdrive måledata fra SD-anlegget i denne perioden, så det benyttes data hentet fra Statkraft Varme AS som viser effektuttaket fra

fjernvarmenettet. Den grønne linjen representerer effektuttaket som går fra 0-1200 kW. Ved start er det ingen endring i bakketemperatur, endringen av temperatur kommer først etter at effekttoppen på 1200kW er nådd. Den svarte, røde, gule og brune linjen viser hvor de enkelte temperaturendringene oppstår. Temperaturøkningen ved 10cm, 5cm og under pad er stort sett uniform. Fra effektuttaket starter til 1200 kW, så er det ingen temperaturendring i jordsmonnet, endringen kommer først når effektuttaket er på 1200kW. På grunnlag av at temperaturen stiger i bakken, begynner effektuttaket å avta til det er av. Temperaturen i jordsmonnet fortsetter å øke grunnet akkumulert varme i jordsmonnet som stiger oppover. Fra temperaturøkningen oppstår ved 10 cm dybde, svarte linje, tar det omtrent 6 timer.

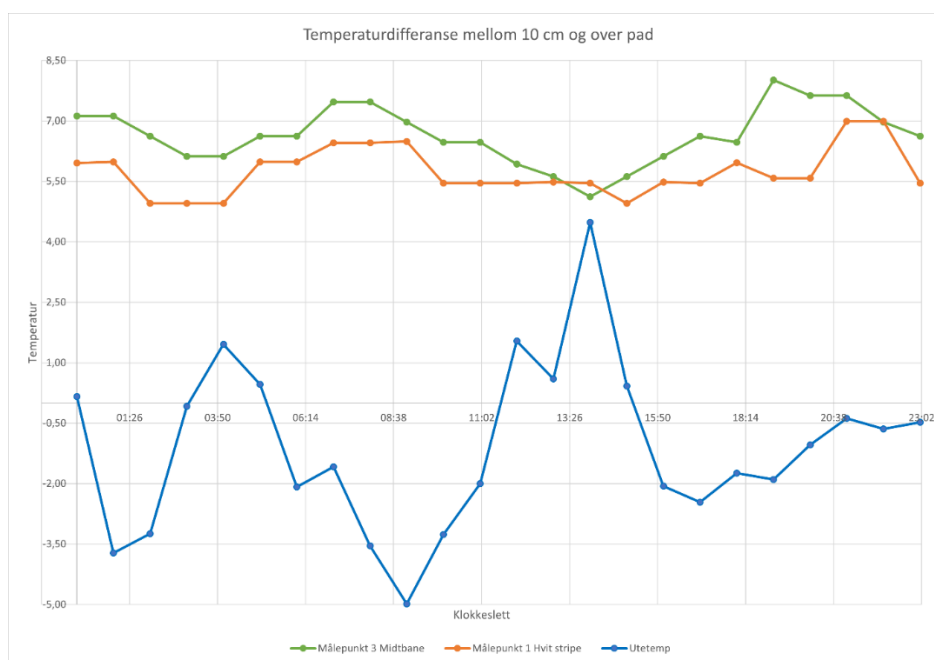
Avkjøling



Graf 3 Ingen drift på undervarmesystemet, hvor jordsmonnet begynner å avkjøle seg

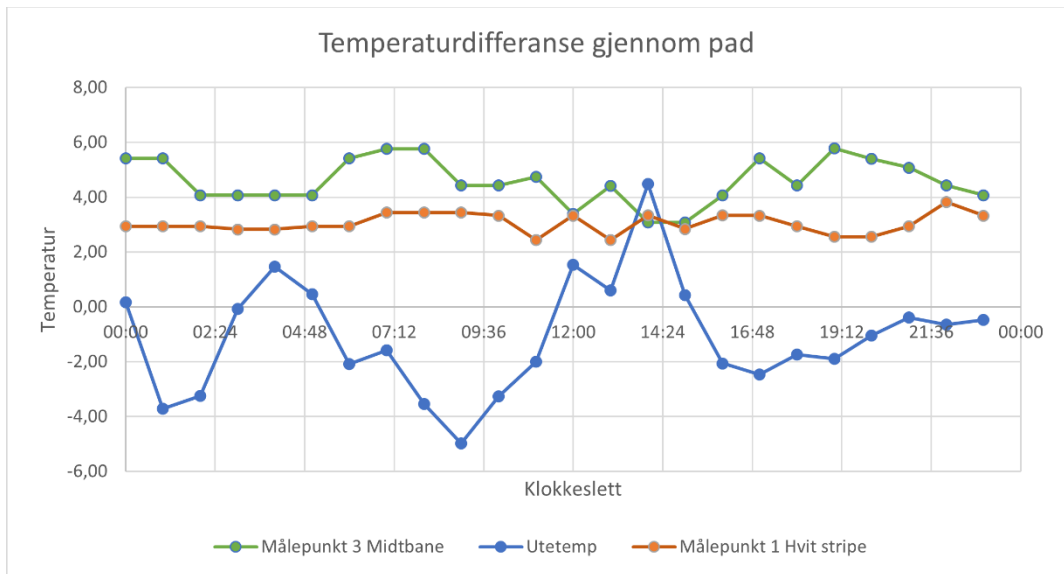
Fra måleperiode 1 er det benyttet temperaturmålinger som viser hvordan jordsmonnet avkjøler seg, da undervarmesystemet ikke får tilført nok varme til å øke temperaturen. Graf 3 viser en periode over 3 dager hvor temperaturen avtar. Ved å følge de ulike linjene kan en se hvor mye temperaturen faller i de ulike dybdene av jordsmonnet. Mørkeblå linjen representerer temperaturen like ved varmerørene ved 10 cm dybde, oransje er 5 cm over varmerørene, grå er under pad og gul er over pad. I denne perioden var utetemperaturen relativt lav i forhold til bakketemperaturen som utgjorde at temperaturfallet i jorden ble større. Fra varmen ble avslått til stabil temperatur i bakken tar det omtrent 3 dager.

4.2.2 Temperaturdifferanser ved ulike målepunkt



Graf 4 Temperaturdifferanse mellom 10 cm og over pad i forskjellige målepunkt

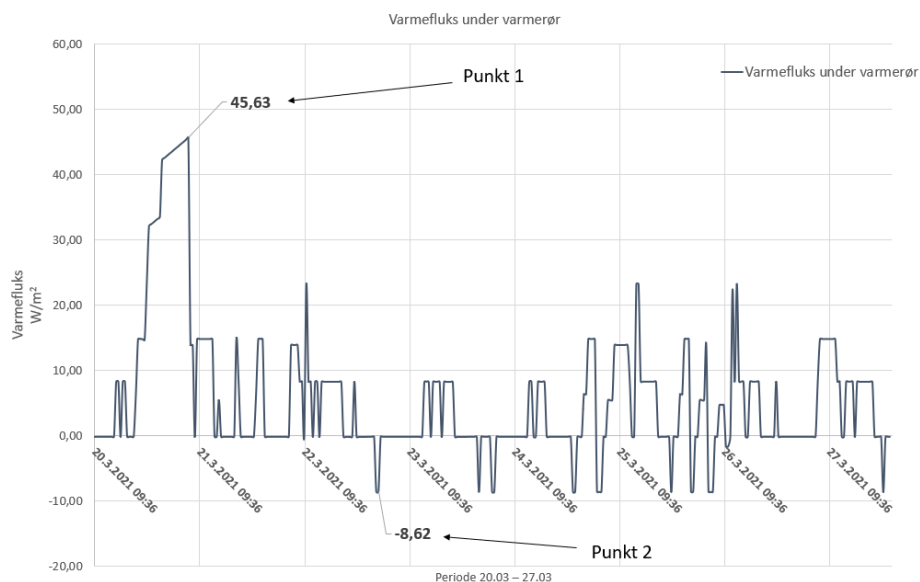
Målepunkt 1 og 3 ble sammenlignet for å se om temperaturen i banen er jevn. Målepunkt 1, hvit stripe, ligger nærmest varmesentral mens målepunkt 3, midtbane, ligger lengst unna varmesentralen og befinner seg på enden av samlestocken. Utetemperaturen som er benyttet er registrert av SD-anlegget. Den er plassert på østsiden av containeren. Temperaturmålingene i grafen er temperaturdifferansen mellom varmerørene og over pad. Grafen viser at midtbanen har høyest temperaturdifferanse denne aktuelle dagen. Som vist på Graf 5 ligger temperaturdifferansen mellom målepunktene gjennom paden.



Graf 5 Temperaturdifferanse gjennom pad i målepunkt 1 og 3

Det er gjennom pad temperaturdifferansen er størst. Ved målepunkt 1 på 10 cm dybde er det 1°C varmere enn ved målepunkt 3. En antakelse til differansen er at vi er nærmere et varmerør i målepunkt 1.

4.2.3 Varmefluks



Graf 6 Varmefluks under varmerør

Det benyttes temperaturmålinger fra 21.03 – 27.03 for å finne temperaturdifferansen mellom 10–15 cm. Konduktiviteten for pukklaget mellom 10 – 15 cm er hentet fra Vedlegg 6. For å beregne varmekraften ble formelen i teorikapittel 2.3 benyttet. Det vises i Graf 6 at det er en varmekraft

fra varmerørene og ned til 15 cm. Punkt 1 viser hvor varmekraften topper seg på $45,63 \frac{W}{m^2}$ som går fra varmerørene og ned til 15 cm. Etter toppen ved punkt 1 er det generelt ingen større topper enn ved punkt 1. Ved enkelte dager er det ingen varmekraft hverken fra varmerørene eller til varmerørene. Punkt 2 viser at det er en negativ varmekraft og dette indikerer at varmekraften går fra 15 cm og til varmerørene, dette gjentar seg av og til gjennom resten av perioden.

4.2.4 MATLAB simulering

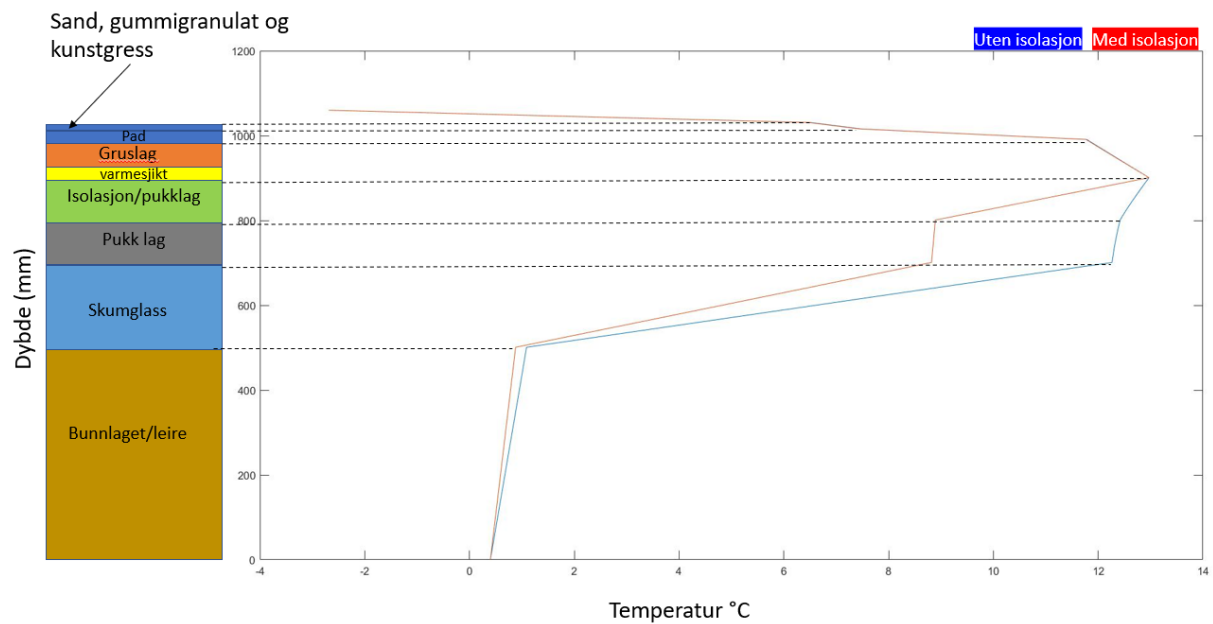
Sand, gummigranulat og kunstgress



Figur 13 Forklaring for de ulike lagene

Figur 13 viser hvordan de enkelte lagene er fordelt på grafene som kommer. Samtlige lag er beskrevet med tekst for å lettere beskrive hvor vi er i banens ulike lag. Simuleringen som gjøres med isolasjonslag, så erstattes pukklaget med isolasjonslaget og dets verdier. Simulering uten isolasjonslag erstatter isolasjonslaget og verdiene med et ekstra pukklag og nye verdier for pukklaget. Simuleringen som gjøres med isolasjonslag, vil pukklaget erstattes med isolasjonslaget og dets verdier. Simulering uten isolasjonslag erstattes isolasjonslaget og verdiene med et ekstra pukklag og verdier for pukklaget.

4.2.5 Simulert temperaturprofil i MATLAB

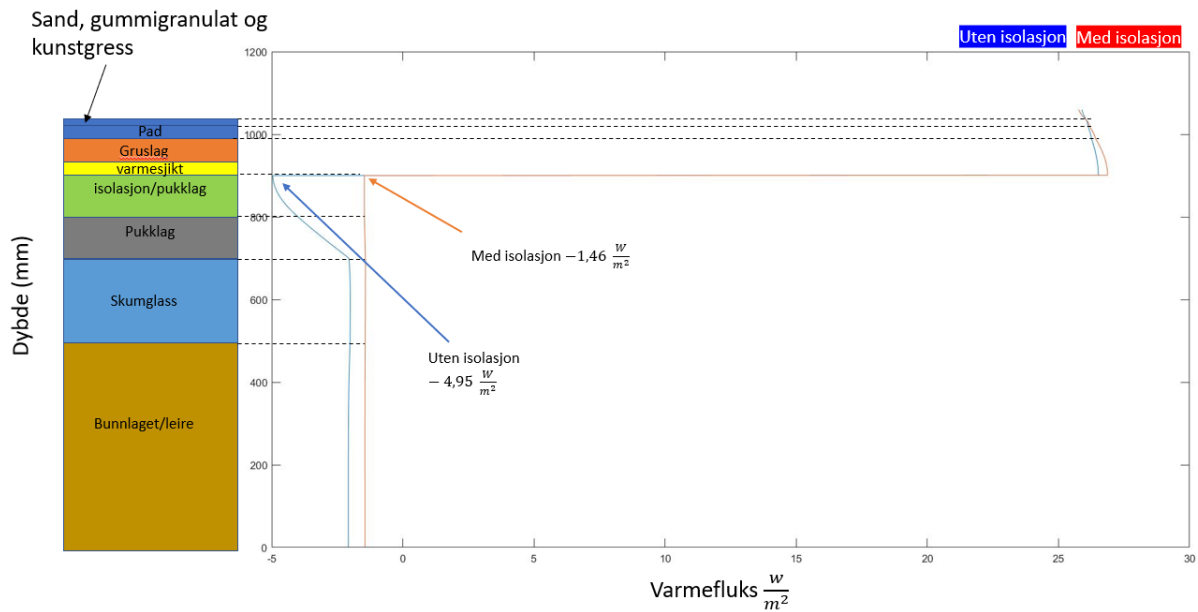


Graf 7 Temperaturprofilen i banen etter 10 timer simulert drift

Graf 7 viser hvordan temperaturen er i banen ved de ulike lagene med og uten isolasjon etter å ha vært i drift i 10 timer. Den blå linjen viser hvordan temperaturen er uten isolasjon, mens den røde er med isolasjon.

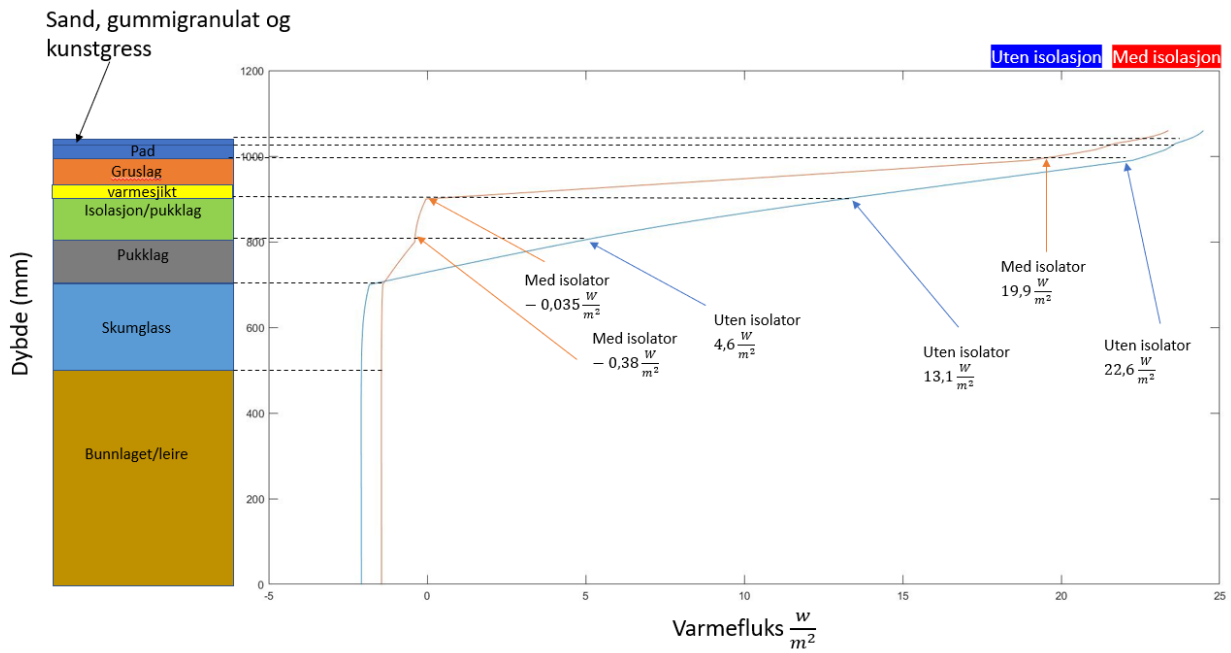
Blå linje indikerer en lavere temperatur under varmerørene enn hva det er for den røde. Temperaturen fortsetter å holde seg jevn for den blå linjen frem til skumglasslaget inntreffer, da synker temperaturen. For den røde linjen er temperaturen lavere under varmerørene enn for den uten isolasjon og deretter synker temperaturen før den stabiliserer seg ved pukklaget. Som grafen viser, synker temperaturen gjennom skumglasset. Over varmerørene følger blå og rød linje hverandre nesten identisk helt opp til sand og gummigranulatet.

4.2.6 Simulert varmekraft i MATLAB



Graf 8 Simulert varmekraft etter 10 timer drift

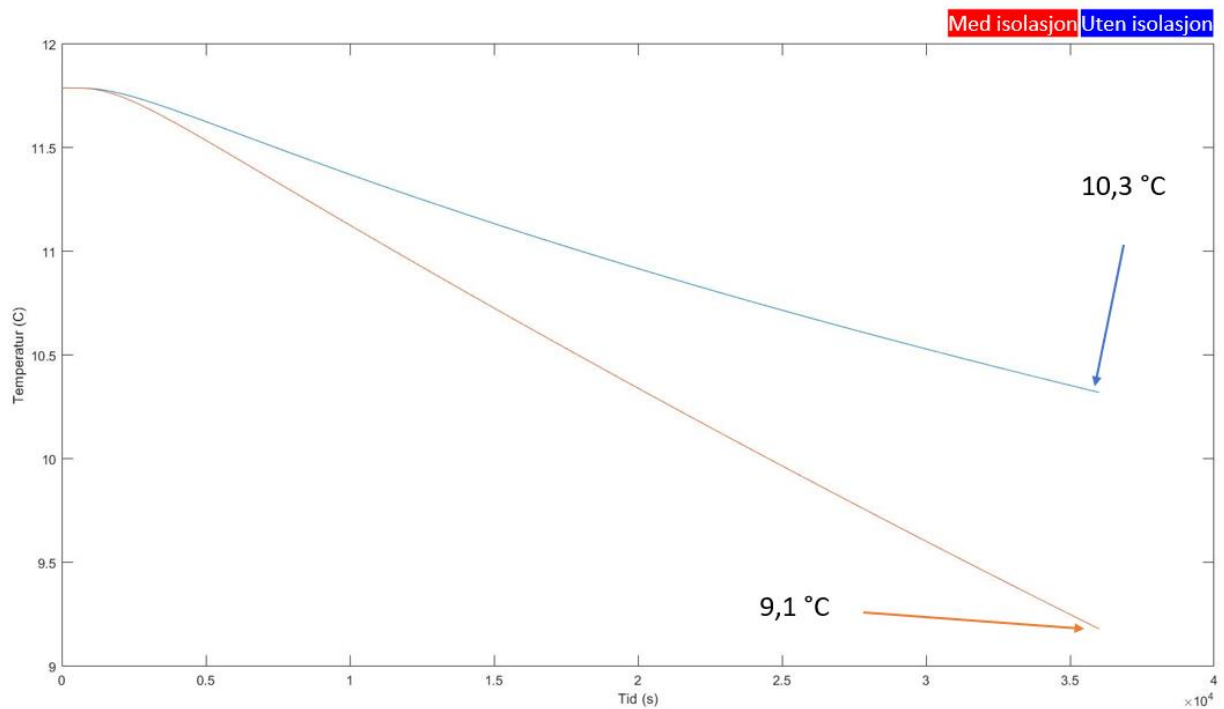
Graf 8 viser hvordan varmekraften er etter 10 timer med simulert drift gjennom de ulike lagene i jordsmonnet. Blå linje er uten isolasjonslag, mens den røde er med. Rød linje indikerer at det er en varmekraft på $-1,46 \frac{W}{m^2}$ rett under varmesjiktet, isolasjonslaget bidrar til at denne varmekraften holder seg tilnærmet lik gjennom skumglasset og bunnlaget. Blå linje viser en tredobling av varmekraft rett etter varmesjiktet på $-4,95 \frac{W}{m^2}$, før den avtar gjennom pukklagene og stabiliserer seg gjennom skumglasset og bunnlaget.



Graf 9 Simulert varmefluks etter 10 timer uten drift

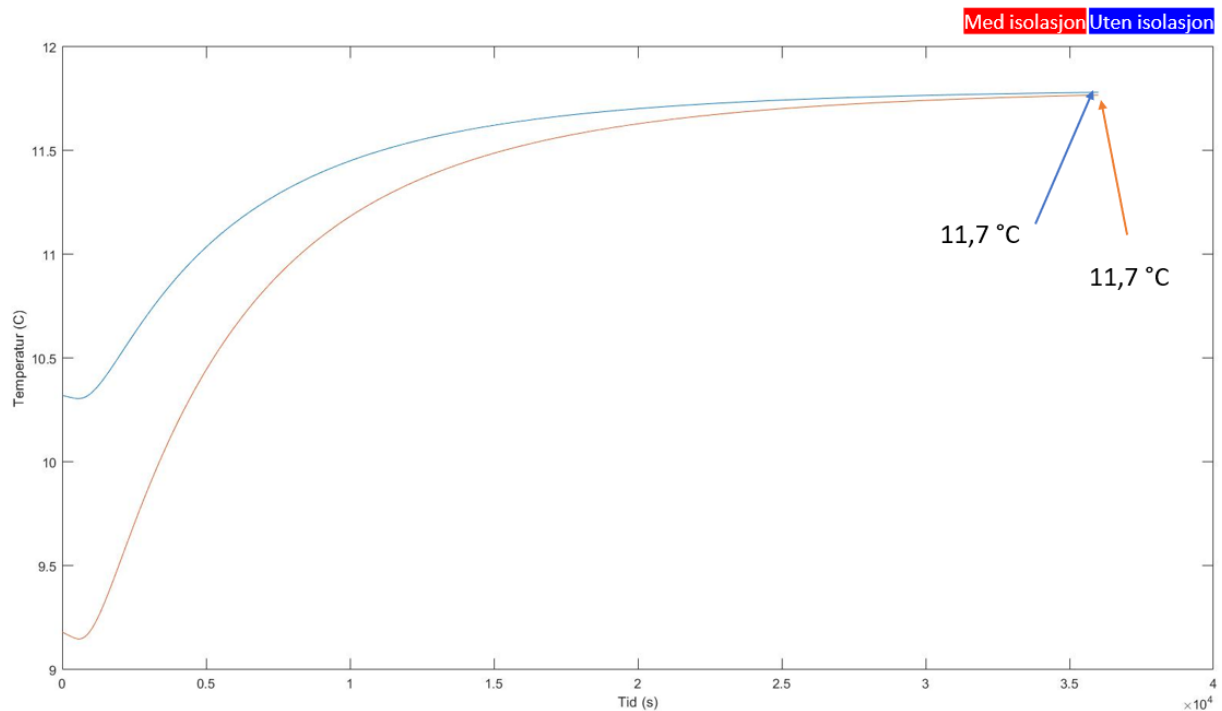
Graf 9 viser varmefluksen gjennom de ulike sjiktene etter 10 timer uten drift. Simuleringen med isolasjon (rød linje) viser en liten varmefluks under varmesjiktet og gjennom isolasjonssjiktet. Varmefluksen øker litt gjennom pukklaget før den stabiliserer seg gjennom skumglasset og bunnlaget. Varmefluksen øker markant gjennom gruslaget og opp til pad, hvor den bremser noe opp gjennom sand og gummigranulatet. Simuleringen uten isolasjon (blå linje) har en relativt lineær varmefluks ned til skumglasset, hvor varmefluksen stabiliserer seg og holder seg tilnærmet uniform.

4.2.7 Simulert oppvarming og avkjøling underkant pad



Graf 10 Simulert temperaturfall under pad uten drift

Graf 10 viser simulering for temperaturforløpet under pad etter 10 timer uten drift. Rød linje representerer simuleringen ved bruk av isolasjon under varmerørene, mens blå linje er uten isolasjon. Simuleringene for med og uten isolasjon viser minimale ulikheter ved startpunktet uten drift, men etter en liten stund begynner den røde linje å falle raskere i temperatur. Temperaturen ved blå linje synker etter hvert som tiden går, men har ikke samme temperaturfall som den røde har. Etter 10 timer er temperaturene for den røde- og blå linjen forholdsvis 9,1 °C og 10,3 °C.

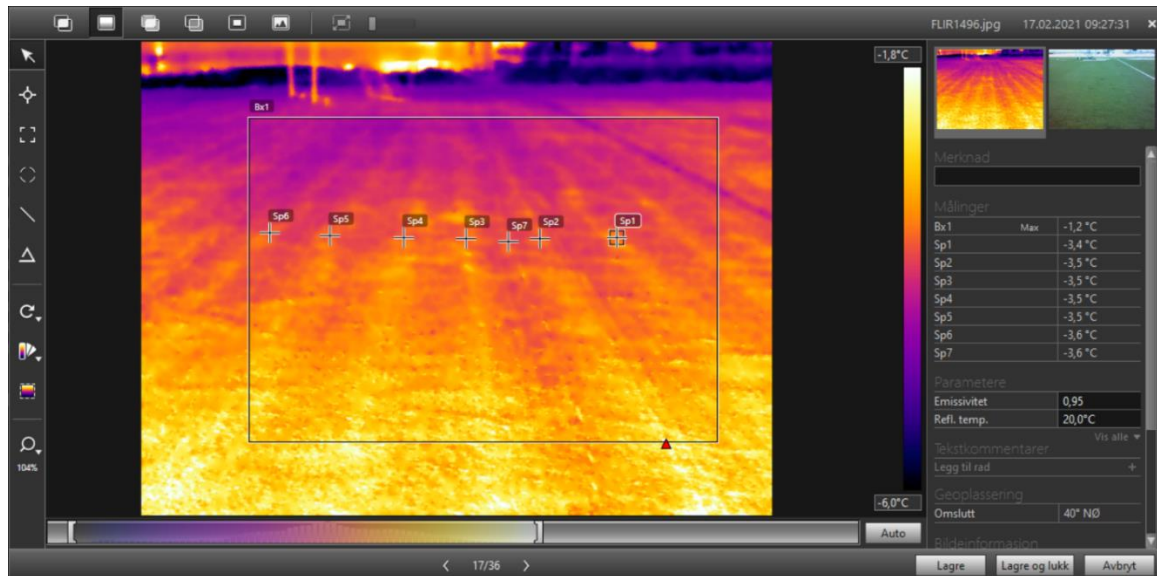


Graf 11 Temperaturøkning under pad ved drift

Ved 10 timer simulert drift så vises de to simuleringen for med og uten isolasjon. Simuleringene starter fra der Graf 10 slutter. Blå linje har fortsatt en høyere temperatur ved oppstart og fortsetter slik gjennom hele de 10 simulerte timene med drift. Den røde linjen starter med en lavere temperatur. Den kan se ut som ifølge grafen at det er en brattere kurve for den røde linjen enn for den blå. Den røde linjen har generelt en lavere temperatur gjennom de 10 timene med drift, men begge linjene vil komme nærmere hverandre helt til endt simuleringen hvor det ikke er noe temperatur differanse mellom dem.

4.3 Termografi

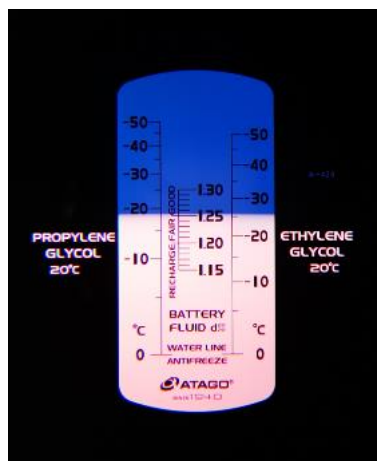
For å kunne kommentere om temperaturen er jevn i overflaten ble det benyttet et FLIR kamera, se Vedlegg 1. Som det kommer frem av Bilde 7 er temperaturen i overflaten uniform, da det vises i høyre del av bildet temperaturene på overflaten. I Graf 4 og Graf 5 vises det at det ikke er noen differanse på målepunktene 1 og 3. De lyse områdene på bildet indikerer hvor varmerørene ligger i kunstgressbanen.



Bilde 7 Varmerørene i kunstgressbanen

4.4 Arbeidsmedium og pumpe

Ved benyttelse av et refraktometer kan man ta en dråpe fra arbeidsmediet på instrumentet og dermed lese av frysepunktet. I samtale med driftsansvarlig og ved dokumentasjon kan det tyde på at de bruker propylenglykol. Ved avlesning på refraktometeret vises det at glykolblandingen deres har et frysepunkt på -19°C .



Bilde 8 Frysepunkt på glykolblandingen i anlegget

4.4.1 Volumstrøm

I varmesentralen er det installert en uregulert tørrløper pumpe som benyttes til å sirkulere og øke trykket på arbeidsmediet på sekundærsiden. Ved å benytte beregnet pumpeeffekt og avlest differansetrykk kan volumstrømmen avleses i pumpediagrammet.

For å beregne pumpeeffekten ble strømtrekket målt på pumpen vist i Tabell 5. Under målingene av strømtrekket var det vanskelig å få måleutstyret i korrekt posisjon over samtlige ledninger. Som tabellen viser er det ulikt strømtrekk på den brune ledningen enn på de to andre.

<i>Ledningsfarge</i>	<i>Ampere</i>
Svart	9,7
Hvit	9,6
Brun	8,9

Tabell 5 Strømtrekk over pumpe

Det ble valgt en middelvei av de tre verdiene som er på 9,4 A. Denne verdien ble videre benyttet til å beregne hvor stor effekten til pumpen. Spenning tilført er 230V, og når samtlige verdier legges inn i formelen under blir effekten beregnet til 3744,7 W \approx 3,7 kW.

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$$

Differansetrykket til pumpen ble avlest av to manometer som står montert på hver side av pumpen. Trykket før pumpen ble avlest til 1,1 bar og trykket etter 2,3 bar som vist i Tabell 6.

Avlesning i varmesentral 15.02.21

	<i>Primær</i>	<i>Sekundær</i>
T _{tur}	102°C	35°C
T _{retur}	38°C	15°C
Trykk før pumpe	-	1,1 bar
Trykk etter pumpe	-	2,3 bar
Energimåler	2655,66 MWh	-

Tabell 6 Avlesning av instrument i varmesentral

I Diagram 1 er bruksområdet for pumpen markert med grønt. Ved å benytte utregnet pumpeeffekt, rød linje, ble volumstrømmen 23,5 L/s, mens med differansetrykket, svart linje, i Diagram 1 ble volumstrømmen 19,5 L/s. Ut fra beregnede verdier befinner pumpen seg utenfor bruksområdet. Blå linje er fra måling av innreguleringsventilen, der volumstrømmen var 13,6 L/s.

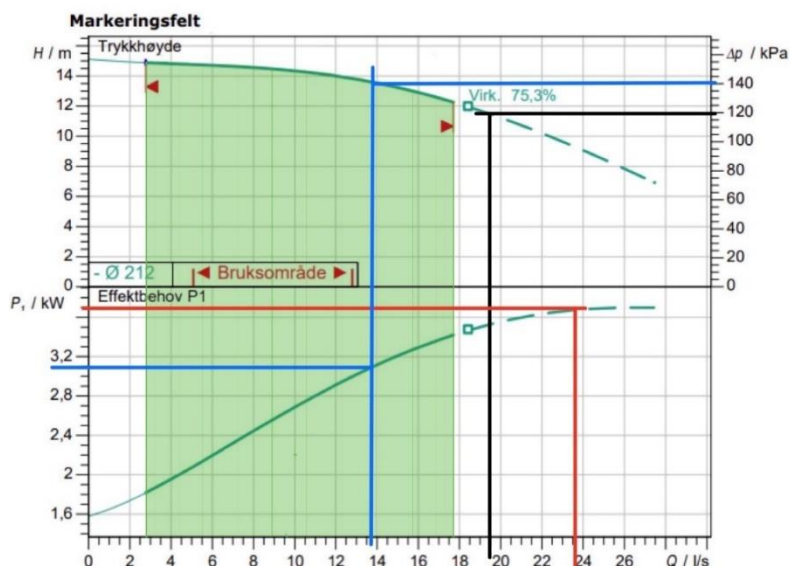


Diagram 1 Pumpediagram fra Wilo

Siden det var stor differanse mellom differansetrykket og strømtrekket i diagrammet ble det besluttet å måle på innreguleringsventilen som står i varmesentralen. For videre beregninger brukes volumstrømmen målt av innreguleringsventilen i stedet for hva strømtrekket og trykkdifferansen gir i pumpediagrammet. Denne målingen gir et bedre bilde på hva som faktisk stemmer av korrekt verdi, grunnet at målingen av strømtrekket kan antas inneholder tapene i pumpen.

TA-Ventil type TA STAFF DN100

Rattinnstilling	1,0	2,5	3	4	5,5	6,5	8	Full åpen
Trykk [bar]	1,419	1,241	0,9699	0,42	0,1502	0,1028	0,0693	0,0654
Mengde [m ³ /h]	7,18	17,87	25,65	40,95	45,09	45	52,24	49,11
Kv-verdi	6	16	26	63	115	145	190	190

Tabell 7 Resultat fra måling av TA-ventil STAFF DN100

Ved full åpning stod ventilen på rattinnstilling 8,3. Det ble avlest en volumstrøm på 13,6 L/s og trykktap over ventilen på 0,0654 bar.

4.4.2 Trykktap og pumpearbeid

Forutsetningene for trykktapsberegning av undervarmesystemet er at det benyttes lik volumstrøm på de ulike arbeidsmediene. Det er beregnet et grovestimat av trykktapet i systemet på omtrent 115 kPa med eksisterende arbeidsmediet, propylenglykol. Enkeltmotstander er hentet fra tabell i (Çengel, Cimbala, 2020, s. 382-383) og fra samtaler med produsenter. Veggtykkelse på PE-rørene er hentet fra Rørhåndboken til pipelife (Pipelife, 2020) og ruhetsfaktor er hentet fra Pipelife sin kapasitetsberegning (Pipelife, 2020). Verdier for arbeidsmediene er hentet fra Vedlegg 5.

Enkeltmotstander

	K-verdi	Antall	Enhet
Innløp banerør	0,12	1	Stk
180° bend	1,5	1	Stk
Utløp banerør	1,05	1	Stk
Flens fullt åpen	0,2	2	Stk
Flens 1/4 " stengt	0,3	1	Stk
T-rør gjennomstrømning på tur-samlestokk	0,5	74	Stk
T-rør gjennomstrømning på retur-samlestokk	0,5	151	Stk
Vendt retur	1,5	1	Stk
Filter	2	1	Stk
Platevarmeveksler	-	25	kPa
Mikrobobleutskiller	-	1	kPa
TA-ventil	-	7	kPa

Tabell 8 Enkeltmotstander

Trykktap varmerør i banedekket

	Propylenglykol	Etylenglykol	Etanol	Ammoniakk
\dot{V} [L/s]	0,0897	0,0897	0,0897	0,0897
D_i [m]	0,0204	0,0204	0,0204	0,0204
U [m/s]	0,275	0,275	0,275	0,275
Re [-]	$3,0 \times 10^3$	$3,3 \times 10^3$	$3,3 \times 10^3$	$3,6 \times 10^3$
R [Pa/m]	84,3	83,3	75,9	74
Δp [kPa]	18,6	18,4	16,7	16,3
Δp inkl. ζ [kPa]	18,7	18,4	16,8	16,4

Tabell 9 Trykktap i varmerør i banedekket

Trykktap samlestokk

	Propylenglykol		Etylenglykol		Etanol		Ammoniakk	
	Tur	Retur	Tur	Retur	Tur	Retur	Tur	Retur
\dot{V} [L/s]	6,82	13,64	6,82	13,64	6,82	13,64	6,82	13,64
D_i [m]	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
U [m/s]	0,51	1,02	0,51	1,02	0,51	1,02	0,51	1,02
Re [-]	$3,6 \times 10^4$	$7,1 \times 10^4$	$3,9 \times 10^4$	$7,8 \times 10^4$	$3,9 \times 10^4$	$7,1 \times 10^4$	$4,3 \times 10^4$	$8,5 \times 10^4$
Δp inkl. ζ [kPa]	4,75	58,5	4,8	59,3	4,4	53,9	4,4	53,9
Δp_{tot} [kPa]	63,3		64,1		58,3		58,2	

Tabell 10 Trykktap i samlestokker

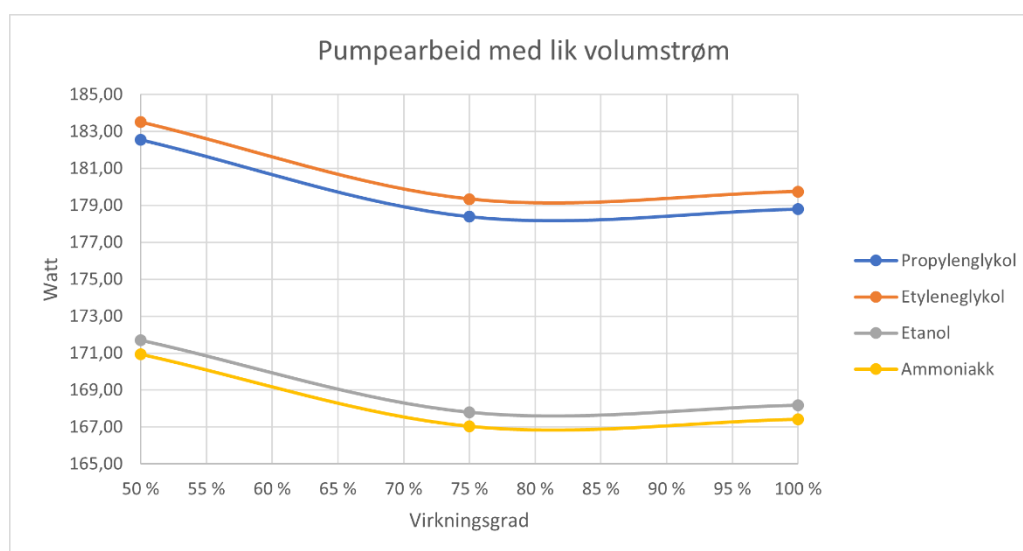
Trykktapsberegningene i Tabell 9 og Tabell 10 viser trykktapet i varmerørene i banedekket og samlestokkene. Man ser at det er glykolene som gir det største trykktapet i varmerørene og i samlestokkene.

Det totale trykktapet i undervarmesystemet er summert fra trykktapet i varmerørene i banedekket, samlestockene, og enkeltmotstander for varmeveksleren, mikrobobleutskilleren og TA-ventilen, se Tabell 11 og Tabell 8 for enkeltmotstander.

Trykktap og pumpearbeid for hele undervarmesystemet med lik volumstrøm

	Propylenglykol	Etylenglykol	Etanol	Ammoniakk
\dot{V} [L/s]	13,64	13,64	13,64	13,64
Δp_{tot} [kPa]	115	115,6	108,1	107,6
P_{pumpe} [W] ved 75% η	178,4	179,3	167,8	167

Tabell 11 Totalt trykktap og pumpearbeid med lik volumstrøm



Graf 12 Sammenligning av pumpearbeid med lik volumstrøm

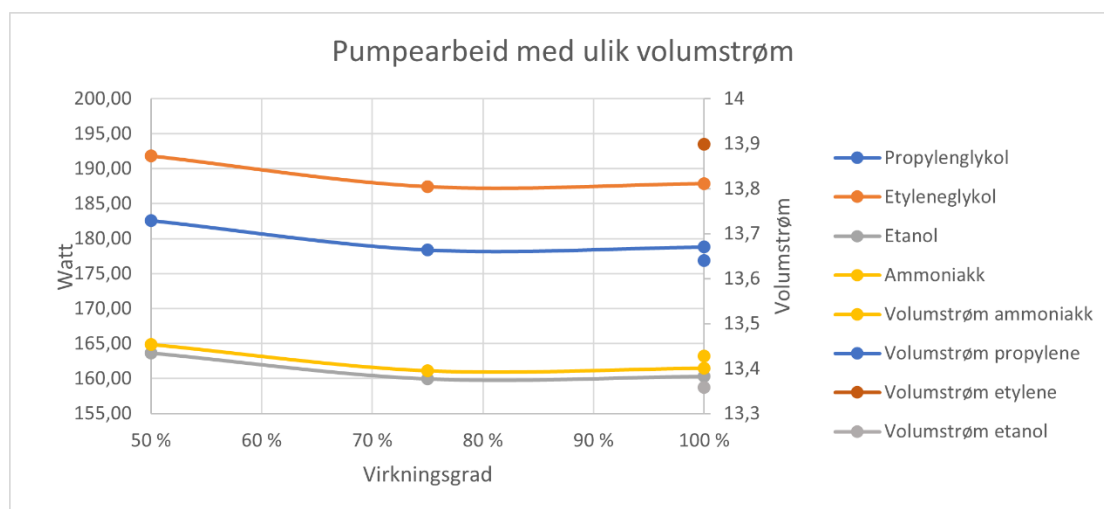
Graf 12 viser hvordan de enkelte arbeidsmediene påvirker pumpearbeidet med lik volumstrøm. Pumpearbeidet varierer mellom de ulike arbeidsmediene, etylenglykolen gir det høyeste pumpearbeidet mens etanol og ammoniakk gir det laveste. Ved optimale forhold til pumpen, som vil si 75% virkningsgrad, er det ammoniakk som gir lavest arbeid.

Forutsetningene for beregning av volumstrømmen på de ulike arbeidsmediene i Tabell 12, er at de har lik varmemestrøm som propylenglykolen kan avgi. Det forutsetter at de har lik temperaturdifferanse på 20°C. Det må sees på varmeoverføringsegenskapene til de ulike mediene for å kunne si om de kan avgi like stor varmemestrøm. Hvis returtemperaturen er for høy bør man eventuelt prøve å øke turtemperaturen for å kunne avgi lik varmemestrøm.

Trykktap og pumpearbeid for hele undervarmesystemet med ulik volumstrøm

	Propylenglykol	Etylenglykol	Etanol	Ammoniakk
\dot{V} [L/s]	13,64	13,9	13,36	13,43
Δp_{tot} [kPa]	115	118,6	105,2	105,5
P_{pumpe} [W] ved 75% η	178,4	187,4	159,9	161,1

Tabell 12 Totalt trykktap og pumpearbeid med ulik volumstrøm



Graf 13 Sammenligning av pumpearbeid med ulik volumstrøm

Av Graf 13 er det to arbeidsmedium som bemerker seg, ammoniakk og etanol. De har lavest pumpearbeid og volumstrøm, gitt lik varmemestrøm. Med etanol behøves en mindre volumstrøm som resulterer i et mindre pumpearbeid. Ved beregning av volumstrøm ble det benyttet formel fra teorikapittelet 2.5.2 og avleste verdier i varmesentralen som vist i Tabell 6.

4.5 Varmesentral

Årlig energiforbruk for SalMar kunstgressbane har variert de siste årene. Mye på grunn av klima og en kald vinter. Energiforbruket for 2021 er allerede ganske høyt; i skrivende stund 702 130 kWh. Diagram 2 viser sammenhengen mellom energiforbruket og utetemperaturen ved SalMar kunstgressbane. Verdiene for energiforbruket er hentet fra Energiguiden til Statkraft Varme AS og utetemperaturen er hentet fra *Observasjoner og værstatistikk* (2021). Søylenes beskriver månedlig energiforbruk, mens linjene beskriver gjennomsnittlig månedsutetemperatur for de siste 4 årene.

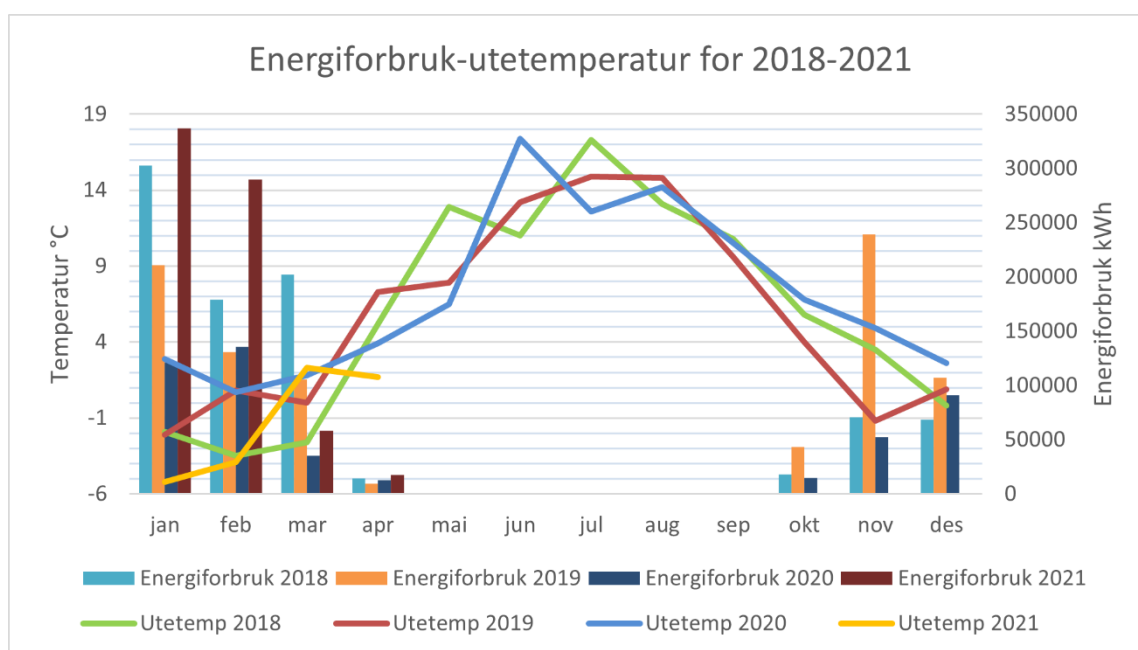


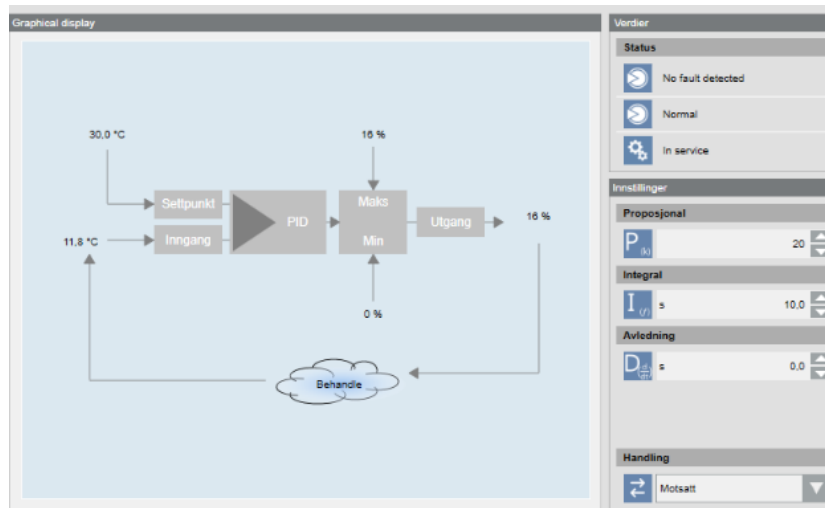
Diagram 2 Energiforbruk og gjennomsnittstemperatur for 2018-2021

Diagrammet viser at de har et større energiforbruk i år i forhold til tidligere år. Det vises en sammenheng mellom et stort energibehov når utetemperaturen er lav. Både i 2019 og 2020 var det høye utetemperaturer og dermed et mindre energibehov for undervarmesystemet.

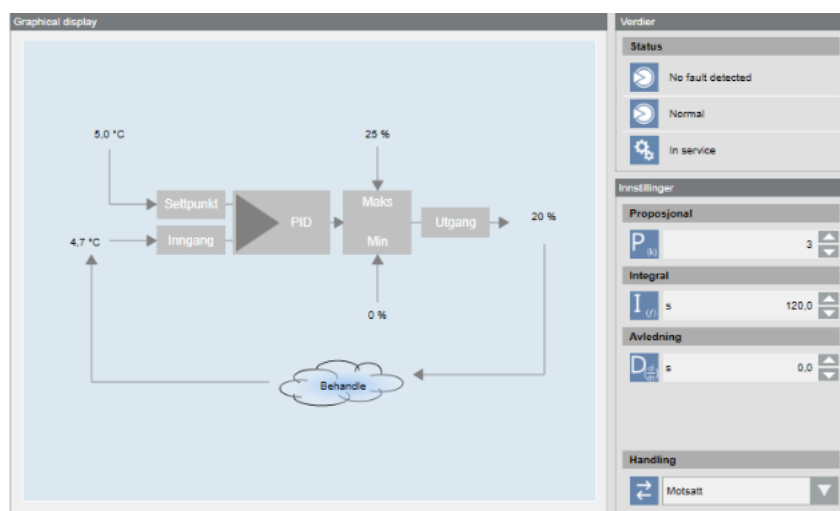
4.6 Regulering

SD-anlegget til SalMar kunstgressbane er konstruert av SIEMENS. Anlegget blir regulert etter prinsippet modulerende regulering, der reguleringsventilen kan stoppe og endre retning i hvilken som helst posisjon. I anlegget benyttes det PI-regulering. P-leddet er grunnfunksjonen og I-leddet er integralvirkning som vil integrere avviket som oppstår ved proporsjonalreguleringen og avviket vil avta etter hvert. (Zijdemans, 2018, s.275)

Ved sjekk av SD-anlegget blir undervarmesystemet regulert etter en PI-regulator. Det er montert en høytemperaturvakt som begrenser turtemperaturen, og gir signal til reguleringsventilen om å stenge hvis temperaturen overgår 35°C. Innstillingen på P-leddet og I-leddet viser at det er en rask regulering, da både P-leddet og I-leddet har lave verdier. Figur 14 viser innstillingen på regulatoren. (Erlandsen, 2008, s. 76-83)



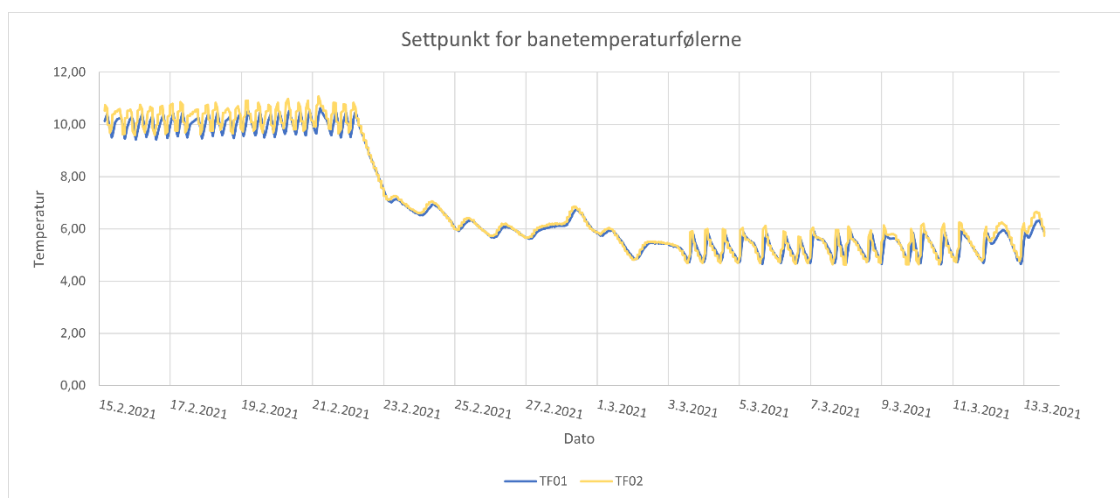
Figur 14 Begrensning på PI-regulatore



Figur 15 Regulator for banetemperatur

Figur 15 viser den andre innstillingen på PI-regulatoren. Den måler banetemperaturen og styrer turtemperaturen i systemet. Er banetemperaturen for lav i forhold til settpunktet øker den pådraget. Her er P-leddet lavt, mens I-leddet er høgt. Det resulterer i en treg regulering, siden I-leddet er høyt. (Erlandsen, 2008, s. 76-83)

I SD-anlegget får man opp forskjellige trender for hvordan systemet har regulert. I banen er det lagt ned to temperaturfølere, TF01 og TF02, som sender signal til SD-anlegget.



Graf 14 Settpunkt på banetemperaturfølere

Ut fra Graf 14 antas det at Lerkendal Idrettspark endrer settpunktet på banefølerne etter de kaldeste månedene har passert. I begynnelsen av måleperiode 1 er det et settpunkt på 10°C, deretter er undervarmesystemet av, og i måleperiode 2 er settpunktet endret til 5°C.

Ved å se nærmere på trendloggen på en spesifikk dag, kan det se ut som det er en hysteresis som PI-regulatoren regulerer mellom, som vist på Bilde 9.

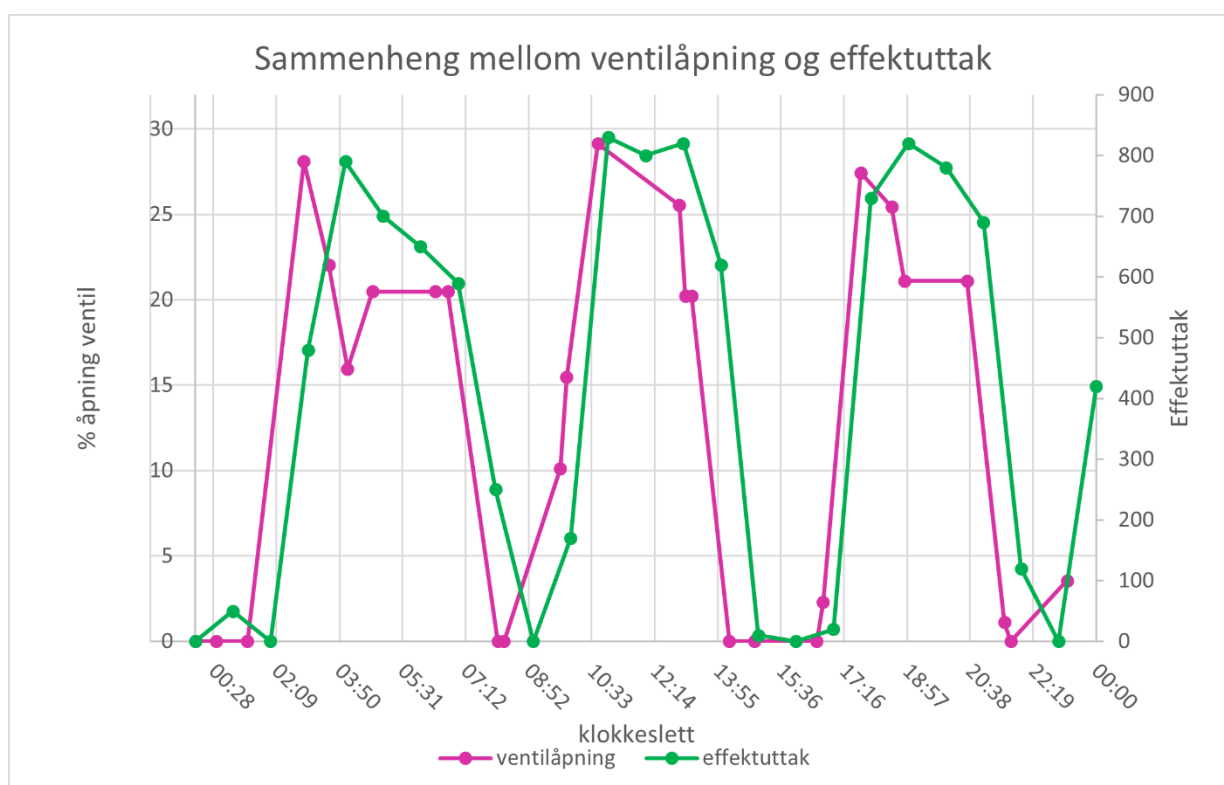


Bilde 9 Hysteresis for banetemperatur

På utsiden av tur-røret er høytemperaturvakt montert, som vist på Bilde 10. Som nevnt tidligere er den innstilt på 35 °C. Det antas den er satt til 35°C grunnet PE-rørene har maks driftstemperatur på 45°C (Pipelife, 2020).



Bilde 10 Høytemperaturvakt på turrør



Graf 15 Sammenheng mellom reguleringsventil og effektuttak på fjernvarme

I Graf 15 vises effektuttaket fra loggen til Statkraft Varme AS sammenlignet med ventilpådraget til reguleringsventilen som står på primærsiden. Dataene fra ventilpådraget er hentet fra loggen til SD-anlegget. Grafen viser at undervarmesystemet reguleres etter av og på regulering.

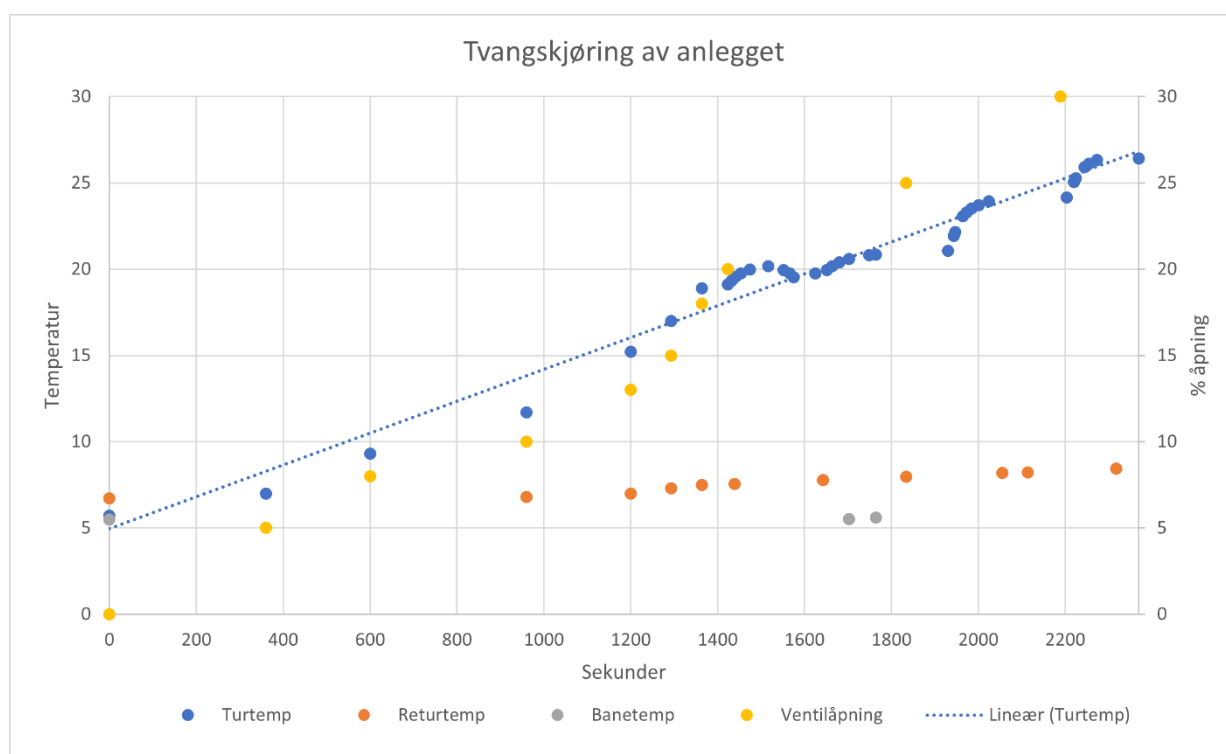
4.6.1 Responstid

For å kunne kommentere på tidsbruken til systemet er det beregnet teoretisk sirkulasjonstid av en runde.

Tiden det tar for å sirkulere en runde i systemet er gitt ved $t = \frac{V}{\dot{V}}$ [s]

t	Tid	[s]
V	Volum	[L]
\dot{V}	Volumstrøm	[L/s]

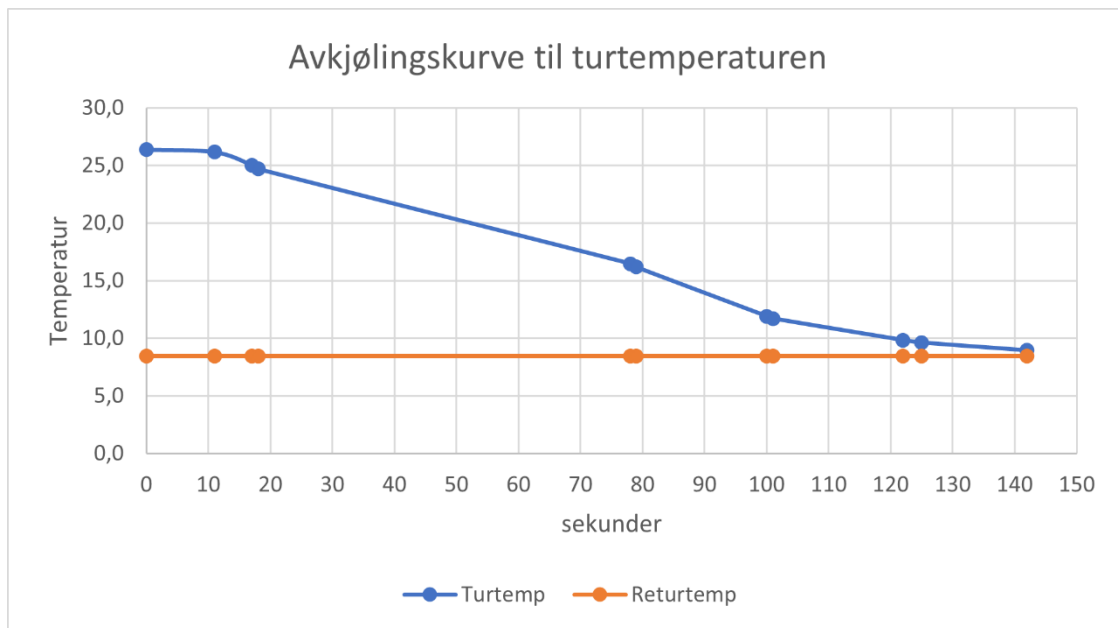
Benyttes dokumentasjonen som finnes på banen, og det antas at det som står stemmer, er det påfylt 16250 liter. For å sirkulere en runde i anlegget vil det ta 19,5 minutter, gitt det er 16250 liter som sirkulerer med en volumstrøm lik 13,64 l/s.



Graf 16 Responstid

Graf 16 viser tur-, retur-, banetemperatur og ventilåpningen gjennom testen tatt sammen med SIEMENS. Ved start var turtemperaturen lavere enn returtemperatur. Årsaker til dette kan være feil kalibrering på måleutstyr i varmesentralen, det kan forkomme varmelekkasje fra varmeveksleren til returrøret. Testen ble gjennomført 15 april på ettermiddagen.

For å kunne gi et svar på hvor lenge det tar å sirkulere en runde i praksis kan man se når returtemperaturen økte. Den økte etter 960 sekunder, altså 16 minutter. Banetemperaturen økte ikke før etter 1764 sekunder som tilsvarer 29,2 minutter. Denne testen bekrefter at undervarme er et tregt system.



Graf 17 Avkjølingskurve til turtemperaturen

Etter nådd 30% åpning ble reguleringsventilen stengt. Turtemperaturen sank raskt og etter 2,5 minutter var turtemperatur lik returtemperatur. Differansen mellom tur- og returtemperatur er stort til å begynne med og avtar raskt.

Kapittel 5: Drøfting

5.1 Konstruksjon av SalMar kunstgressbane

Ved befaringer av SalMar kunstgressbane ble det bemerket dumper på flere områder i baneoverflaten se Bilde 11. Årsaker til dette kan være at tyngre kjøretøy har kjørt på kunstgressbanen, dårlig komprimering av gruslaget, dårlige dreneringsegenskaper eller at bærelaget i konstruksjonen har sviktet. Hvis underlaget er ujevnt komprimert vil regnvannet stå igjen på noen områder og når spillerne springer oppå kunstgresset er det antatt at kompresjon fører til at det dannes dumper i banen.



Bilde 11 Dumper i baneoverflaten

Konstruksjonen på SalMar kunstgressbane er oppbygd etter Figur 3 i teorikapittelet 2.1 med et avvik da varmerørene ligger på et pukklag og ikke direkte på isolasjonen. Ved å benytte MATLAB simulering ble det utforsket om et isolasjonslag under varmerørene i banedekket kan hindre varmetap nedover i jordsmonnet. Dette er beskrevet under 5.2.4. Et annet alternativ for konstruksjonen er å benytte varmepad som vist i Figur 4 Figur 4 Varmepad hentet fra veilederen kunstgressboka. Ved hjelp av varmepad vil en kunne oppnå et termisk raskere system grunnet varmerørene ligger i paden og varmetapet nedover skal i utgangspunktet minimeres (Andersen *et al.*, 2015).

Undervarmen skal som nevnt tidligere ikke benyttes til snøsmelting, men på Bilde 12 ser en tydelig at mye av energien går med på å smelte snøen. Ut fra kalenderen deres på internett skulle det denne dagen spilles kamp, og da burde det heller blitt brøytet.



Bilde 12 Tatt 11.04.21 kl. 09.30

5.2 Temperaturmålinger

Ved studering av temperaturmåleresultatene fra SalMar kunstgressbane burde sensorene blitt lagt ned tidligere slik det ble registrert flere målinger med lave utetemperaturer. Men siden oppstart av bacheloroppgaven ikke var før i midten av januar ble det en begrensning på datasettet. Ved første måleperiode var undervarmesystemet i drift i en uke før det ble avslått. Med bakgrunn på dette kunne vi framstille en avkjølingskurve. Ved måleperiode to var anlegget både av og på, og det var i denne måleperioden mulig å få en indikasjon på tregheten av systemet.

5.2.1 Termiske tregheten i kunstgressbanen

Oppvarming

Resultatene fra temperaturmålingene viser at SalMar kunstgressbanen er termisk treg. Graf 2 i 4.2.1 viser hvordan denne tregheten er fra effektuttaket øker til det kommer en temperaturendring i de ulike måledybde. Det som ikke kommer frem i grafen er hvordan temperaturforsinkelsen er mellom de ulike måledybde, ifølge grafen blir det en temperaturøkning i samtlige lag når effektuttaket når 1200kW. Dette stemmer nok ikke helt, da det antas at det vil være en temperaturendring ved 10 cm dybde først, for så å se en temperaturendring i de andre måledybde. Det ble i metodekapittelet satt et intervall på 30 minutter som ble antatt å være godt nok for de målingene som skulle gjøres. Men som Graf 2 viser er ikke 30 minutter et godt nok intervall, da temperaturendringene skjer samtidig i samtlige måledybde. Det antas at temperaturøkning vil skje ved ulik tid for de enkelte måledybde. Det er mange faktorer som spiller inn på oppvarmingstiden, som settpunktet på banetemperaturfølerne, materialene og vanninnholdet i jordsmonnet, klimaforholdene ved spesifikk lokasjon, effektpådraget fra reguleringsventilen. For å senke oppvarmingstiden kan det benyttes høyere turtemperatur.

Avkjøling

Avkjølingskurven som vist ved Graf 3 viser hvor mye temperaturen synker i kunstgressbanen over tid. Temperaturen synker raskt etter at undervarmesystemet slutter å tilføre varme. Avkjølingen vil være størst til å begynne med, mye på grunn av at temperaturdifferansen mellom uteluften og jordsmonnet er høy. En ser tydelig en periode hvor uteluften har samme temperatur som jordsmonnet og avkjølingen stopper opp. Det er antatt at temperaturen i jordsmonnet ikke vil synke i særlig større grad enn hva som vises på Graf 3, årsaken er at reguleringen på undervarmesystemet sørger for å holde banetemperaturen til 5 °C. Synker det under dette settpunktet, vil effektpådraget øke og turtemperaturen stiger.

Temperaturdifferanse bane

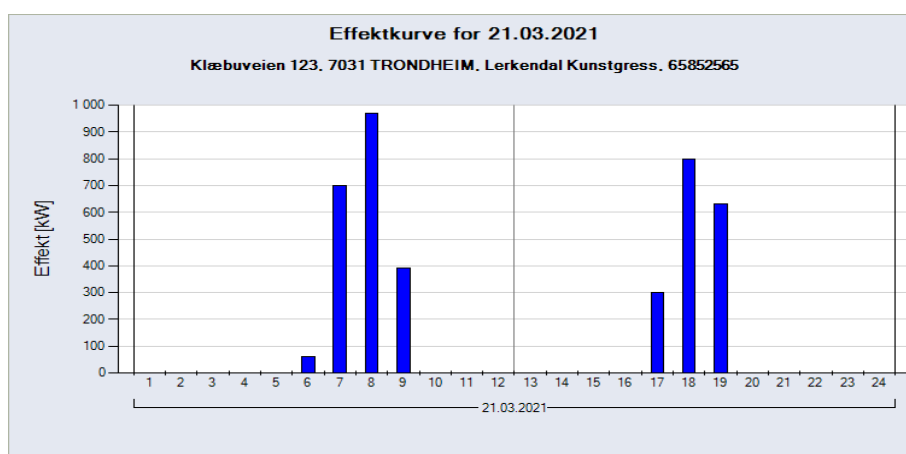
Av Graf 4 og Graf 5 kan en spekulere i årsaker til stor temperaturdifferanse mellom målepunkt 1 og 3 gjennom pad. Det kan være skade i pad, solinnstråling treffer det ene målepunktet og ikke det andre, gjenstander som blir plassert på overflaten som kan bidra til oppvarming og dermed

lavere temperaturdifferanse. Dreneringen kan være dårlig som gjør at vann har blitt liggende, slik det er en annen varmekapasitet på grusen og at paden er fuktig.

5.2.2 Varmefluks

I kapittel 4.2.3 viser Graf 6 at det er varmekraft tilstede under varmerørene. Det at det var en varmekraft under varmerørene var ikke uventet, heller forventet. Det ble målt en varmekraft i punkt 1 på 45, $63 \frac{W}{m^2}$ som var den høyeste målte verdien i perioden. Ut ifra energiguident til Statkraft Varme AS så var det et effektpådrag denne spesifikke dagen ved ulike klokkeslett. Turtemperaturen øker også i perioden for effektpådrag. Så det antas at toppen ved punkt 1 kommer som et resultat av at effektpådraget øker, som vist i Figur 16 og at turtemperaturen øker i varmerørene.

Men det var ikke noe effektpådrag før denne dagen, men Graf 6 viser at det er en økning i varmekraft fra dagen før. Det er sjekket opp mot SD-anleggets målinger for å finne ut om det var temperaturøkning på turtemperaturen for denne dagen, men det var det ikke, og heller ikke noe effektpådrag. Dette kan komme som et resultat av solinnstråling som bidrar til at kommer fram en varmekraft dagen før effektpådraget bidrar med sitt. I perioden etter punkt 1 så fordeler varmekraftstoppene seg utover resten av perioden. Ifølge SD-anlegget er det en økning i turtemperaturen som gjenspeiler tidspunktet for varmekraftstoppene i Graf 6.



Figur 16 Effektkurve for SalMar kunstgressbane 21.03.2021. Hentet fra Statkraft.no

5.2.3 Simulert temperaturprofil i MATLAB

Simuleringen viser hvordan et isolerende sjikt kan påvirke temperaturen mellom de ulike lagene i jordsmonnet som kunstgressbanen består av. Graf 10 viser hvordan temperaturen er etter 10 timers drift ved de ulike lagene, både med og uten isolasjon. Modellen som benytter seg av isolasjon viser tydelig at dette laget reduserer temperaturen under varmerørene, i motsetning til modellen uten isolasjon. Temperaturen over varmerørene er forholdsvis lik for begge modellene som er simulert. Det antas ut ifra de to modellene at den med isolasjon vil kunne forvente mindre varmetap under varmerørene enn modellen som er uten isolasjonslaget. Ut ifra modellen som er uten isolasjonslag er det en høyere temperatur akkumulert under varmesjiktet. Dette kan bidra til at denne modellen vil kunne avgi mer varme over en lengre periode.

Ulempen med modellene er at verdiene som benyttes for de ulike lagene ikke representerer de reelle verdiene for SalMar kunstgressbane. Dette gjør at modellene blir mer et estimat for hvordan temperaturforløpet kan se ut i de ulike lagene. Siden simuleringen viser kun et bilde etter 10 timer, blir ikke utfallet nødvendigvis slik etter 5 timer. For å gjøre en bedre vurdering om et isolasjonslag bidrar i samme grad som i modellene av kunstgressbanen, må det benyttes en modell som er mer presis med tanke på verdiene for de enkelte lagene kunstgressbanen er oppbygd etter, samt av ytre påkjenninger som klimaforhold.

5.2.4 Simulert varmefluks i MATLAB

Varmefluksen for de to simuleringen med og uten isolasjon gir to ulike modeller for hvordan varmefluksen opptrer etter 10 timer drift, og 10 timer uten drift. Hvis en betrakter simuleringen vist i Graf 8 med 10 timer med drift, så er varmefluksen over varmesjiktet ikke så ulik for den med isolasjonslag og den med uten isolasjon. Selv om differansen er liten i lagene over varmesjiktet, så er det en høyere varmefluks for den røde linjen og det kan det spekuleres i om denne høyere varmefluksen viser at det er termisk raskere med tanke på oppvarming over varmesjiktet.

Der det er simulert for 10 timer uten drift, Graf 9, er ulikheten mer fremtredende. Varmefluksen er noe større for modellen uten isolasjon (blå linje) enn for den med isolasjon (rød linje). Det er en større varmefluks for modellen uten isolasjon over varmerørene enn for den med isolasjon. Det kan antas at den uten isolasjon har en høyere temperaturdifferanse som bidrar til at varmefluksen er større for den uten isolasjon enn for den med. Denne temperaturdifferansen kan antas komme fra at det er akkumulert mer varme under varmerørene for den uten isolasjon. Ved

å benytte isolasjonen under varmerørene så vil en kunne anta at det er mindre varme akkumulert under varmerørene, og det er dette som fører til en lavere varmefluks opp.

5.2.5 Oppvarming og avkjøling underkant av pad

Avkjøling

Som Graf 10 viser synker temperaturen raskere for den røde linjen som er inkludert isolasjon enn for den blå linjen som er uten isolasjon. Det kan antas at temperaturfallet er større for den røde linjen enn for den blå på bakgrunn av at den blå linjen har en høyere mengde akkumulert varme under varmerørene enn hva den røde linjen har. Hvis en ser på Graf 7 så kommer det fram at det er en høyere temperatur under varmerørene for den med uten isolasjon.

Oppvarming

Under oppvarmingen som vist i Graf 11, så er det en høyere starttemperatur for den uten isolasjon (blå linje) enn for den med (rød linje). Dette er som forventet om en skal se det opp imot Graf 10, hvor temperaturen var høyere for den blå linjen gjennom hele avkjølingen. Ved å studere graf 11 så kan det virke som at rød linje viser en noe brattere kurve ved oppvarming, og som spekulert i 5.2.2 kan dette komme som et resultat av at det er mindre termisk masse å varme opp, som gjør at temperaturen stiger raskere.

5.3 Varmesentral

Ved befaring i varmesentralen ble det bemerket at fjernvarmerørene ikke var isolert. Det kan være forskjellige årsaker til det, men det antas at det er for å holde en viss temperatur i containeren på vinterstid. Ved å ikke isolere fjernvarmerørene går mye energi tapt da de kommer inn med en temperatur på over 100 grader. De burde vært isolert, da det kan være fare for brannskader ved berøring.



Bilde 13 Varmerør primærside

Ved å se på Diagram 2 Energiforbruk og gjennomsnittstemperatur for 2018-2021 bemerkes det at Lerkendal Idrettspark har et høyt energiforbruk på SalMar kunstgressbane. Mye av årsaken kan nok ligge i at det har vært en kald vinter, og dermed har behovet for undervarme vært høyt. Med reguleringsprinsippet deres, av/på regulering, ser en på loggingen i SD-anlegget at ventilen åpner så å si fullt og deretter stenger helt og slik fortsetter det. Det kan tenkes at en jevnere regulering kunne senket energiforbruket, da jordsmonnet får holde en mer stabil temperatur enn å øke og synke om hverandre.

5.3.1 Fjernvarme

Statkraft Varme AS benytter en kunstgress-tariff opp mot sine kunder. Tariffen er basert på en fast lavpris, uten effektledd. Dette gjelder for alle idrettsanlegg i Trondheim kommune og der Statkraft ellers leverer fjernvarme. I tillegg settes det krav om at anlegget skal ha en temperaturdifferanse på minimum 50°C.

5.4 Arbeidsmedium og pumpe

5.4.1 Arbeidsmedium og pumpearbeid

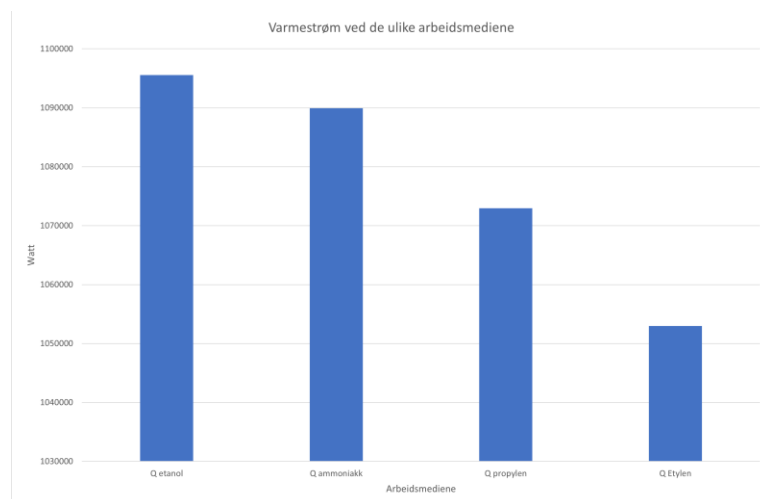
Vurdering av arbeidsmediene

Fra resultatkapittel 4.4.2 er det etanol og ammoniakk gir det laveste pumpearbeidet samt trykktap i systemet. Selv om de to egner seg best i den sammenhengen, er det ikke sikkert de kommer best ut på andre kriterier. Som nevnt i teorikapittelet 2.4 innehar de ulike arbeidsmediene fordeler og ulemper. På bakgrunn av dette vil de enkelte arbeidsmediene bli vurdert etter følgende kriterier:

- Varmestrøm
- Miljøpåvirkning
- Giftighet
- Korrosjon av eksisterende utstyr
- Tilgjengelighet

Varmestrømmen ved de ulike arbeidsmediene

Av Vedlegg 5 kan det beregnes hvilken varmemstrøm hvert enkelt arbeidsmedium kan levere. Varmestrømmen beregnes av formel i teorikapittelet 2.5.2 og gitte forhold; målt volumstrøm, ΔT på 20 °C, densitet og spesifikk varmekapasitet for hvert arbeidsmedium. Graf 18 viser de enkelte arbeidsmediene med eksisterende volumstrøm. Ut ifra beregningen er det etanol og ammoniakk som har den største varmemstrømmen. Selv om de to væskene gir høyest varmemstrøm, så er det ikke garanteres at all denne varmen kan overføres til jordsmonnet og lar seg benytte. Hvis det antas at det ikke er overførbart, er det lite hensiktsmessig å benytte etanol eller ammoniakk. Etylenglykol antas gir en lavere overført varmemstrøm, og vil i denne sammenheng ikke være ideell.



Graf 18 Varmestrøm for de ulike arbeidsmediene ved samme volumstrøm

Matrise

Det benyttes datablad for de enkelte arbeidsmediene og kriteriene som nevnt over i en matrise for å få en visuell oversikt hvordan de enkelte arbeidsmediene rangeres.

Lavt/liten						
lavt/liten til moderat		Arbeidsmedium	Miljøpåvirkning	Giftighet	Korrosjon av eksisterende utstyr	Tilgjengelighet
Moderat						
Moderat til høy		Propylen glykol				
Høy		Etylen glykol				
God		Etanol				
Middels		Ammoniakk				
Dårlig						

Tabell 13 Matrise over ulike momenter for arbeidsmediene

Total vurdering av arbeidsmediene

Ved å benytte ammoniakk vil en kunne få en relativt god varmestrøm ut ifra den nåværende volumstrømmen som benyttes på SalMar banen, men som tabell 13 viser så er det en del urovekkende elementer. Skulle valget falle på ammoniakk må noe av det eksisterende utstyret byttes ut siden ammoniakk ikke er kompatibel med metaller som inneholder kobber. Et annet aspekt er miljøpåvirkning og giftigheten, dette gjør at det kreves en rekke sikkerhetstiltak. Ved lekkasje kan ammoniakk-gass danne en eksplosiv blanding med luft.

Etanol benyttes en del i brønnsystemer som arbeidsmedium. Etanol har den høyeste varmestrømmen av de fire arbeidsmediene. Problematikken med Etanol er at den bidrar til

korrosjonsskader på utstyret. Etanol er følsomt for luft og vil i et anlegg som inneholder luft omdanne seg til eddiksyre. Dette vil bidra til korrosjonsraten øker. (Kompa, 2021). Etanol har et lavt flammepunkt, og det er viktig å sørge for god ventilasjon hvor det benyttes.

Propylenglykol har den nest laveste varmestrømmen av de fire. Sett i miljøaspektet og giftigheten så er propylen et mer harmløst arbeidsmedium enn de andre, og med en lav giftighet utgjør at det er mye brukt. Det er tilsatt inhibitorer som sørger for at væsken ikke vil reagere med ulike metaller og komponenter. Etter en lang periode kan glykoler bli mer surt på grunn av oksidasjon eller nedbrytning av glykol som gjør væsken mer etsende. (Melinder, 2021).

Etylenglykol har den laveste avgitte varmestrømmen av de fire arbeidsmediene i henhold til Graf 18. Etylenglykol er svært giftig for mennesker og dyr, ifølge kulde og varmepumpnormen (2018) så er etylenglykol definert som farlig avfall og må behandles deretter. Etylenglykol kan benyttes ved høye temperaturer og forholdsvis lave temperaturer. Væsken er ikke noe mer korrosiv enn propylenglykol, men kan som propylenglykol også brytes ned og gjøre væsken mer etsende.

Trykktap

Trykktapsberegningen som er gjort er kun et grovestimat da eksakte verdier for enkeltmotstander er usikkert. Der er usikkerhet i om alle enkeltmotstander har blitt tatt med, da en ikke kan vite hva som er nedgravd i jordsmonnet. Det antas at lengden på rørene som er oppgitt i dokumentasjonen er kortere enn reelt, grunnet avstanden fra varmesentralen til enden av kunstgressbanen er lenger enn oppgitt. Hele undervarmesystemet dekker litt utenom spillebanen, da den er 110 meter, benyttes denne lengden for beregningen. Det ble observert en mindre dimensjon ut av varmesentralen enn oppgitt dimensjon på samlestockene, så her vil det også være et avvik i forhold til reelt. Det er benyttet Haaland's formel i stedet for Colebrooks formel for friksjonsfaktor da det ikke benyttes numeriske beregningsprogram for dette. I resultatkapittelet ble beregnet verdi omtrent 115 kPa, noe som ikke stemmer overens med pumpen da den har et differansetrykk på 120 kPa.

Tabell 9 viser at hastigheten i varmerørene i banedekket er lav som gir et lavt reynoldstall. Arbeidsmediet befinner seg i overgangen mellom laminær og turbulent strømning, og det bør vurderes å øke hastigheten for å få en bedre varmeoverføring i varmerørene. For å utnytte varmen fra arbeidsmediet som sirkulerer er det fordelaktig med turbulent strømning. For å øke

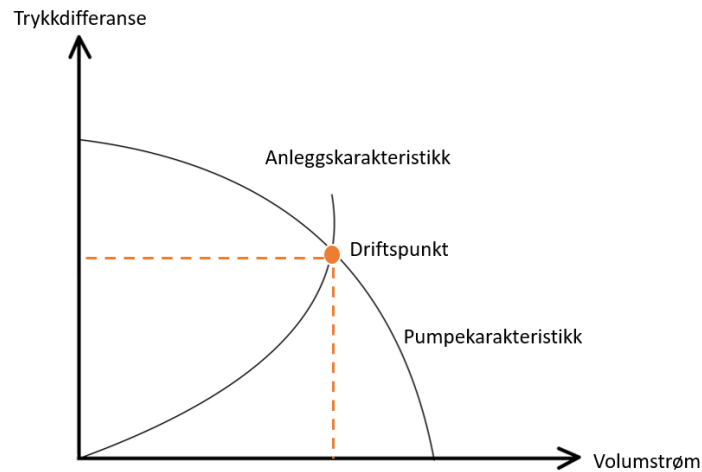
hastigheten i varmerørene kan en mindre dimensjon på varmerørene i bandedekket være aktuelt eller se på pumpereguleringen.

5.4.2 Pumpe og pumperegulering

I resultatkapittelet 4.5.1 ble det benyttet Diagram 1 Pumpediagram fra Wilo for å finne volumstrømmen i undervarmesystemet ved hjelp av differansetrykket over pumpen og pumpens strømtrekk. Ut av diagrammet avleses det to forskjellige volumstrømmer som tyder på måleusikkerheter i form av enten avlesing på manometer, da manometeret ikke kan leses av 100% nøyaktig eller avlesing av FLUKE-utstyret ved måling av strømtrekket. I utregnet pumpeeffekt kan det antas det er inkludert hydraulisk-, mekanisk- og friksjonstap. Andre årsaker kan være at det diagrammet som er mottatt fra produsent ikke er spesifikt for denne pumpen, da den er tatt ut av produksjon. Siden det ble stor usikkerhet i hva som faktisk var riktig volumstrøm i systemet, ble det besluttet å måle over innreguleringsventilen, TA STAFF DN100. Det kan selvfølgelig være måleusikkerhet på instrumentet, men siden det var stor differanse i hva pumpediagrammet viste, ble det besluttet at den fysiske målte verdien gav et bedre bilde av hva som er i systemet enn matematiske beregninger.

Pumperegulering

Det finnes ulike metoder for å regulere en pumpe og valg av reguleringsmetode påvirker pumpe- og anleggskarakteristikken. Driftspunktet er der anleggskarakteristikken og pumpekarakteristikken krysser hverandre, som vist et eksempel på Figur 17. Det er to måter driftspunktet kan endres på. Enten endres anleggskarakteristikken i form av endret trykktap i anlegget eller så endres pumpekarakteristikken i form av turtallet til pumpen. (Grundfos, u.å.)



Figur 17 Driftspunkt

På eksisterende pumpe i varmesentralen er det i utgangspunktet ikke noen regulering av pumpen, kun av og på. Men det er montert en innreguleringsventil på returrøret i varmesentralen som kan strupes manuelt, denne kan nyttes til å innregulere anlegget med å minske volumstrømmen og øke motstanden i anlegget.

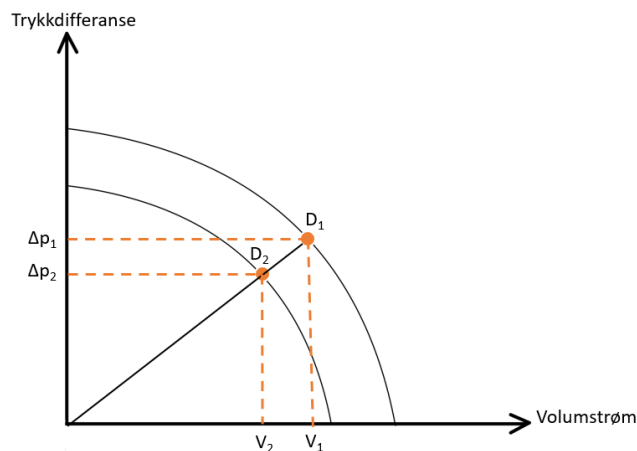
Andre måter å regulere pumpen på er

- Utskifting av løpehjul
- Turtallsregulering
- Bypass regulering

Ifølge dokumentasjon på pumpen er det nå et løpehjul med nominell diameter på 200mm og et pumpehus med diameter 250mm. For å beregne teoretisk hvordan løpehjulet påvirker anlegget benyttes affinitetslovene. Omdreiningstallet, n , kan byttes ut med diameteren på løpehjulet, D . Større løpehjul gir større volumstrøm, hastighet og trykktap. (Flening, 1991)

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4$$

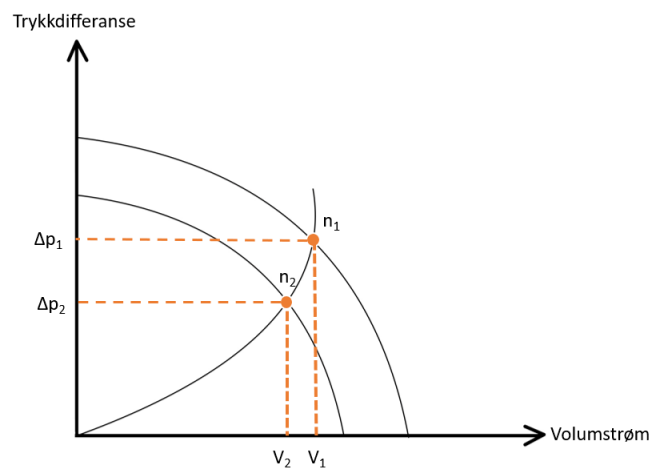
Av formlene endres volumstrømmen og trykktapet seg likt i forhold til endret diameter på løpehjulet og pumpeeffekten reduseres. Figur 18 vises et prinsipp på hvordan karakteristikken endrer seg (Grundfos, u.å.). Det kan antas man kan skifte til et større løpehjul, men i samtale med produsent vil ikke de anbefale det. (personlig samtale, Wilo Norge AS, 12.02.2021)



Figur 18 Prinsipp for endring av diameter på løpehjul

Det kan også benyttes turtallsregulering av pumpe, da benyttes en frekvensomformer som er den mest effektive måten å justere pumpeytelsen. Affinitetslovene benyttes til å se sammenheng mellom volumstrøm, turtall og pumpeeffekt. Volumstrømmen er proporsjonal med turtallet, mens trykkdifferansen er proporsjonal med kvadratet til turtallet. Pumpeeffekten er proporsjonal med turtallet i tredje potens. (Grundfos, u.å.) Prinsipper er vist i Figur 19.

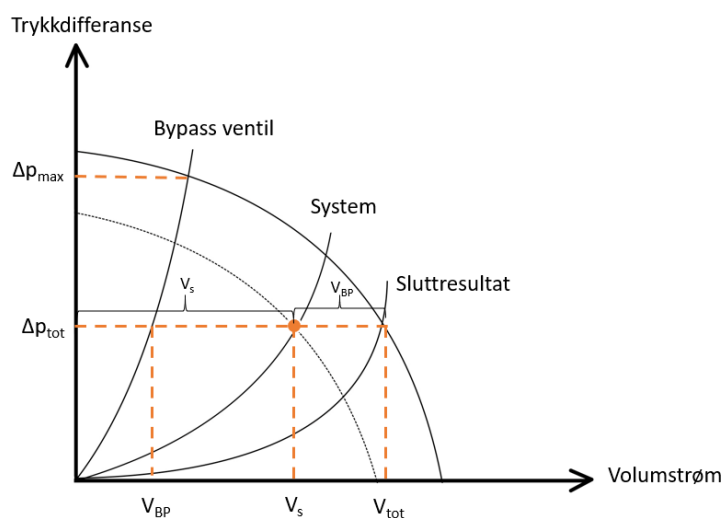
$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$



Figur 19 Prinsipp for endring av turtall

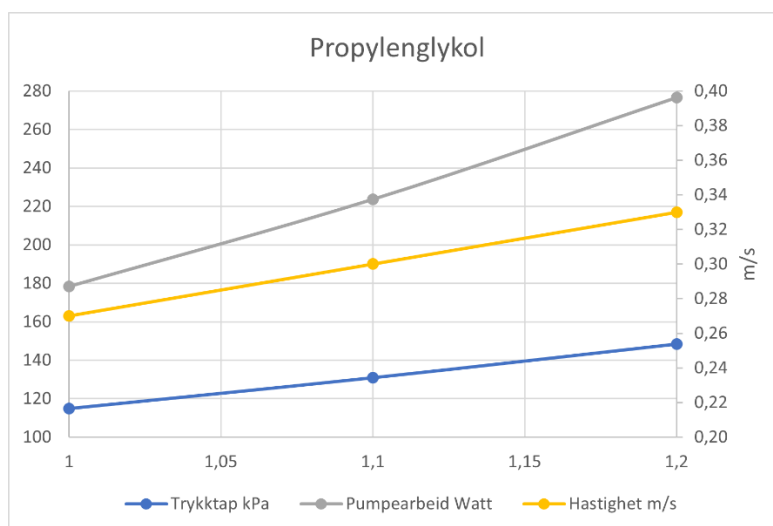
Eksisterende pumpe går nå på maksimalt turtall $n=1450$ omdreininger per minutt, som nevnt tidligere i kapittel 5.4.1 er hastigheten lav i varmerørene i banedekket, og resultatet av å senke turtallet gir enda lavere hastighet. Det vil resultere i at strømmingen vil gå fra det kritiske området og over til laminær strømming som er uønsket.

Et annet alternativ er bypass-regulering. Da settes bypass-ventilen i parallell med pumpen og en del av volumstrømmen ledes tilbake til pumpas innløp. Pumpen vil levere en større volumstrøm enn systemvolumstrømmen, grunnet en viss andel av volumstrømmen går tilbake til innløpet på pumpen. Den totale volumstrømmen gjennom pumpen blir $V_{tot} = V_{BP} + V_s$. Prinsippet er vist i Figur 20. Bypass-regulering blir ikke benyttet i dag, og erstattes av turtallsregulering da det brukes motorer som lar seg hastighetsregulere. (Grundfos, u.å.)



Figur 20 Prinsipp bypass-regulering

Med en 20% øking av volumstrømmen vil pumpearbeidet øke med 55%, mens ved å 10% økning av volumstrømmen vil pumpearbeidet øke med 25% som vist på Graf 19.



Graf 19 Økning i volumstrøm

Kurven for pumpearbeid får et brattere stigningstall etter 10% økning av volumstrømmen. Det vil si at etter 10% økning er det ikke lønnsomt. Det kan prøves ut å øke volumstrømmen med

10% for å øke hastigheten i varmerørene i banedekket for å bedre varmeoverføringen, men det vil resultere i økt pumpearbeid grunnet økt trykktap.

På SalMar kunstgressbane kan det være aktuelt å kombinere bytting til et større løpehjul og turtallsregulering av pumpen, men ut fra hva produsenten anbefaler bør det vurderes en større pumpe for økt volumstrøm og hastighet. Ifølge produsent blir det per i dag ikke skiftet løpehjul på pumpe da de optimalisere sine pumper ved bygging.

5.5 Regulering

På SalMar kunstgressbane blir det i dag benyttet av/på-regulering, som vist i Graf 15 i resultatkapittelet 4.6. Ved å benytte denne typen regulering får en store effekttopper, og selv om abonnenten per dags dato slipper å betale gebyr for effekttoppene er det ikke sikkert det er slik om noen år. Fordelen med av/på regulering er at det er et enkelt system. Ulemper er at det blir mye slitasje på reguleringsventilen, det blir store effektpådrag som forstyrrer fjernvarmenettet, og det blir en treghet i anlegget.

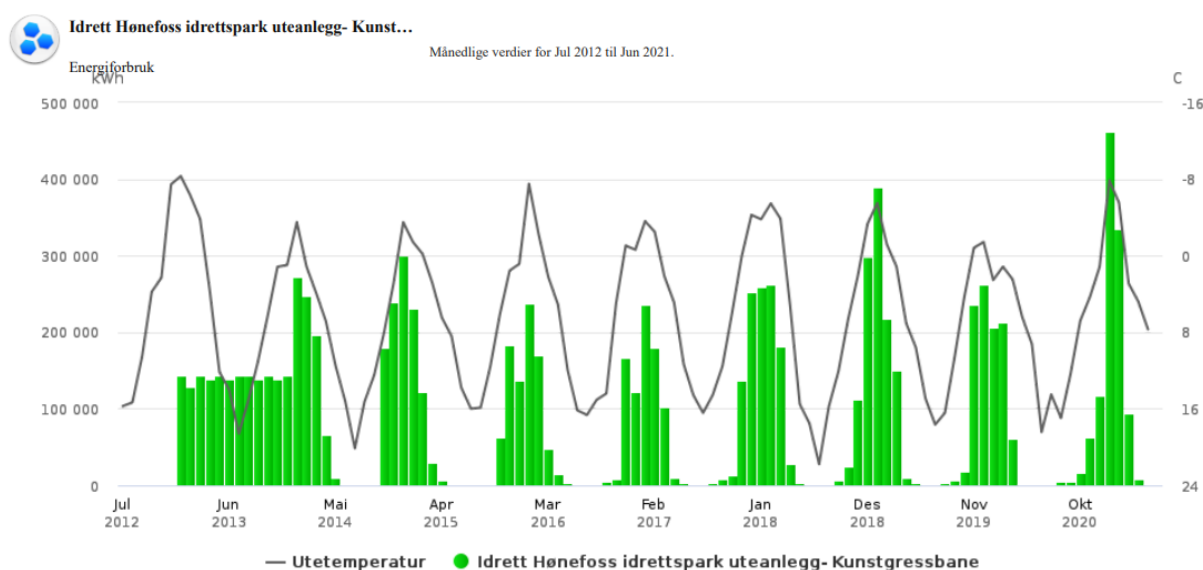
Banetemperaturen benyttes som regulator opp mot PI-regulatoren med antatt settpunkt på enten 10°C i vintermånedene eller 5°C fra mars og utover. Graf 14 viser at settpunktet til banetemperaturen blir justert av banemesteren når det blir mildere ute. Årsaken til dette kan være at de ønsker å redusere energiforbruket. Det stilles spørsmål om hva som er riktig banetemperatur, da Lerkendal idrettspark benytter både 10°C og 5°C. I samtaler med både Aiwell og Guard sies det at 2-3°C er et godt nok settpunkt, men det varierer ut i fra lokasjon, spillerbehov og klimaforhold.

5.5.1 Reguleringsystem

Aiwell

Med et system som Aiwell control 3000 kan man regulere undervarme med flere variabler. Det er flere temperaturfølere i bakken og med egen værstasjon kan en forutse været. Banemesteren skal i utgangspunktet slippe å følge med på værmeldingene, da dette systemet kan regulere seg selv. Aiwell control 3000 finner den optimale temperaturen for å kunne gjøre banen spillbar. Et automatisert anlegg vil kunne bidra til å få ned energibruken og dermed kostnadene. Fordel med Aiwell sitt produkt er at når banen ikke er i bruk, kan temperaturen senkes og spare energi. Reguleringsystemet kan innstilles på to måter: kamp eller trening. Kamp krever at banen er

spillbar, som vil si at underlaget er mykt nok for spillerne. På trening er de ikke like kravstore til mykhet. Ulempe er at systemet må ha en innkjøringstid på 1-2 år. Dette for å kunne foreta innjustering og optimalisere anlegget. Det er viktig at de som skal investere i systemet får riktig og god opplæring. Kostnaden for et slikt system ligger på omtrent 100 000-120 000 kr + mva til et idrettslag. (Aiwell, u.å.) Aiwell har hatt tett samarbeid med NIH, Norges Idrettshøyskole, der de har testet automatisert regulering på undervarme. AKA Hønefoss kan vise til lavere energiforbruk ved bruk av Aiwell kontroll 3000, se Figur 21.



Figur 21 Energiforbruk AKA Hønefoss (personlig samtale, Johnsen., T., 18.05.21)

I 2014 overtok Aiwell reguleringen av AKA arena, men mistet de som kunde i 2020 grunnet kommunale bestemmelser. De sparte omtrent 30% av energiforbruket sitt ved å installere automatisert regulering. (personlig samtale, Johnsen., T., 19.03.21)

Guard

Field Smart er en skybasert tjeneste levert av Guard som nevnt i teorikapittelet 2.6.2 som prøver å optimalisere reguleringen av undervarmesystemet. De bruker parametere som estimert bakketemperatur, lufttemperatur, hvor mye solinnstrålingen avgir i effekt, nedbørsmengde, akkumulert varme i jordsmonnet, om det er overskyet eller ikke og hva som er maks effekt fra varmeveksleren. Dette benyttes opp mot en algoritme de har produsert, og ønsket om et mer energibesparende undervarmesystem. Fordelen med Guard sitt system er at det er sensorløst og kan i utgangspunktet tilpasses de fleste anlegg . Guard har prøvd ut sitt produkt på Skagerak

Arena hos Odds Ballklubb og det er kun positive tilbakemeldinger. Ifølge driftslederen hos Skagerak Arena har de fått ned energiforbruket betraktelig (Guard Automation AS, 2021). Kostnadmessig ligger grunnoppsettet deres på 89 000 kr pluss årlig lisenskostnad på software. Det er ikke noen installasjonskostnader med Guard da de baserer seg på software. Ved å benytte software fremfor hardware, er ikke det like stort behov for fysiske målestasjoner og sensorer.

Andre reguleringsmetoder

- utekompenseringskurve som regulerer turtemperaturen
- tidsstyring
- sesongstyring

Med utekompensering benyttes en kurve med parametere som ute- og turtemperatur. Dette er et alternativ som kunne vært installert på SalMar i SD-anlegget deres. De har en utføler montert på sør/vest siden av varmesentralen. Ulempen er solinnstråling rett på føleren og da vil den ha en negativ innvirkning på undervarmesystemet. Hensikten med utekompensering er å få ned energiforbruket (Standard Norge, 2020).

Tidsstyring er et reguleringsprinsipp innenfor behovsstyrt effektregulering. Ved tidsstyring kan man legge inn nattsinking, eller eventuelt om det skal være trening eller kamp. Ved kamp vil man ha optimale forhold, mens ved trening kan man senke temperaturen i kunstgressbanen. (Zijdemans, 2018, s.278)

På SalMar kunstgressbane har de en form for sesongstyring, da de endrer settpunktet for banetemperaturfølerne fra 10°C til 5°C. Men dette gjøres av banemesteren manuelt i SD-anlegget. Et forslag kan være å automatisere dette ved å skille de kaldeste og varmeste månedene. Ved å logge tidligere år som er gjort hos SalMar, kan man anta en startperiode for de kaldeste og varmeste månedene. Hvis det tas utgangspunkt i energiforbruket deres som Diagram 2 Energiforbruk og gjennomsnittstemperatur for 2018-2021, kan det deles inn slik: Periode 1 som er de kaldeste månedene november til og med februar og periode 2 er mars til oktober.

Hvordan kan reguleringen optimaliseres på SalMar kunstgressbane?

På SalMar kunstgressbane er det benyttet et settpunkt på banetemperaturen på opptil 10°C. Dette er ikke ansett som ideelt da deres banetemperaturfølere som regulerer pådraget på reguleringsventilen ligger på en dybde på omtrent 5 cm. Det vil ta lenger tid før de registrerer væromslaget og dermed blir det en tidsforsinkelse på et eventuelt pådrag. Banetemperaturfølerne burde heller ligge helt i overflaten med paden, da det er den som skal holdes myk.

Ved å begynne reguleringen av varmepådraget tidligere enn hva som er benyttet i dag, vil en unngå effekttoppene på fjernvarmenettet, slik som prediktive styresystem som Guard og Aiwell baserer seg på. Guard har vært hjelpelig med å lage en digital tvilling til SalMar kunstgressbane ut fra våre temperaturmålinger og måledata, men selv på de kaldeste dagene må de benytte maks uttak av varmeveksleren, henholdsvis ved -14°C. Dette er i sjiktet hvor spillerne ikke trener ute hvis det er for kaldt. Det må tas forbehold om at Guard ikke har hatt mulighet for å kalibrere sine beregninger opp mot kunstgressbanen. Det kunne tenkes at et lag med isolasjon under varmerørene ville bidra med å holde varmen lenger i bakken, men som en ser av Graf 10 i 4.2.5 vil ikke et isolasjonslag under varmerørene bidra med dette, snarere tvert imot i henhold til MATLAB simuleringen. Det antas at årsaken er at det ikke er like mye akkumulert varme i jordsmonnet som uten isolasjonslag.

5.5.2 Responstid

Ønsket var å utføre en sprangresponstest, men ved gjennomgang av resultatet kan det ikke benyttes i den sammenheng. Men man kan se ut fra grafen og loggingen gjennom testen at undervarme er et tregt system. Ved å sammenligne tur- og banetemperatur ville en estimert hvordan en sprangresponskurve kunne sett ut. Men på grunn av mangelfulle måledata med for store tidsintervaller ble dette forkastet. Men ut ifra resultatene som kom fra denne testen har vi en anelse om hvor lang tid det tar å sirkulere en runde i anlegget, og dette kan brukes til videre arbeid.

Kapittel 6: Konklusjon

Hensikten med denne oppgaven var å se på optimal konstruksjon av varmesystemer i idrettsflater. Da dette kan omfatte mye, ble det bestemt å se på eksisterende anlegg, og hvilke alternativer som kan benyttes for å optimalisere dette. Det som ble undersøkt i denne oppgaven var:

- Kartlegging av den termiske tregheten i banen.
- Hvordan andre arbeidsmedier kan redusere pumpearbeidet.
- Lage en modell i MATLAB for å undersøke isolering under varmerør.
- Hvordan optimalisere undervarmesystemet.

Kartleggingen av SalMar kunstgressbane viser at banen innehar en termisk treghet. Den termiske tregheten baserer seg i stor grad på de ulike materialene banen består av. Det ble undersøkt hvor mye av varmen som går med til å varme opp jorden under varmerørene, og ut ifra målinger gjort så akkumuleres det en god del varme.

Ved å benytte en MATLAB modell ble det simulert hvordan et isolerende sjikt kunne bidra til å minske varmefluksen under varmesjiktet. Simuleringene viser at ved å isolere under varmerørene vil en kunne redusere varmetapet, samt bidra til å korte ned oppvarmingstiden for lagene over varmerørene da det er mindre masse som skal varmes opp. Ved bruk av isolasjon kommer det fram at temperaturen synker raskere, men dette er antatt å komme som et resultat av at det er mindre termisk masse oppvarmet under varmerørene.

Arbeidsmedium bør velges med tanke på de termiske egenskapene ved drift av temperatur-, miljø- og helseaspekter samt valg av materialer i anlegget og korrosjon. Generelt sett er det intet arbeidsmedium som er ideelle for alle applikasjoner. Ut ifra resultatene og diskusjon så virker det som at propylenglykol er det som egner seg best totalt.

For å optimalisere undervarmesystemet kan man se på pumpereguleringen og systemreguleringen. Det anbefales å ta kontakt med pumpeleverandør for å fornye pumpen til SalMar kunstgressbane. Ut ifra våre oppdagelser kan det antas at pumpen som er installert yter maksimalt, og dermed behøver de en større pumpe. For å senke pumpearbeidet kan det være aktuelt med en turtallsregulert pumpe, slik at de kan senke hastigheten når behovet for undervarme er minimalt. For reguleringssystem anbefales det å begrense effekttopper, og heller prøve en jevnere reguleringsmetode som for eksempel Guard sitt system, Field Smart.

6.1 Videre arbeid

Det er flere muligheter for videre arbeid innen temaene som er tatt opp i denne oppgaven. Temaer som vi ønsker å belyse er oppbygging av pad, fjernvarme, regulering av undervarmesystem.

Paden som produseres har gode isolasjonsegenskaper, og det bør vurderes om det kan være mulighet for å legge inn et materiale, for eksempel stålull eller kobber i paden, som resulterer i en bedre varmeledningsevne som kan bidra til at den blir raskere oppvarmet.

Bygge opp en modell som kan simulere flere parametere og få en mer presis fremstilling av bruk med isolasjon under varmerørene. Se på om bruk av isolasjon gir et lavere energiforbruk og om dette står i forhold til kostnaden ved å implementere isolasjon.

Forslag til hva som kan utforskes med fjernvarmen er om det er en mulighet for å benytte returvarmen, da undervarmesystem ikke har behov for så høy turtemperatur som fjernvarmen leverer. Dette vil senke returtemperatur og dermed driftskostnad for et fjernvarmesystem.

Innenfor reguleringen av undervarmesystemet kan det utarbeides en digital tvilling med flere måledata fra SD-anlegget enn hva vi hadde tilgang til, for å få et mer reelt bilde av SalMar kunstgressbanen.

Kapittel 7: Vedlegg

7.1 Måleinstrumenter

Termografikamera

FLIR T640bx, serienr: 55909862



Vedlegg 1 Termografikamera

FLUKE T6-600

Serienr: 46940731WS



Vedlegg 2 FLUKE måleinstrument for måling av strømtrekk

Master refraktometer
Serienr: 0434555



Vedlegg 3 Refraktometer for måling av glykolblanding

TA-CBI
Serienr: 30923500/R2A



Vedlegg 4 TA-CBI

7.2 Vedlegg 5 Arbeidsmedienes verdier

Propylenglykol

% Propylen glykol i vann	Frysepunkt	Temperatur °C	Densitet $\frac{Kg}{m^3}$	Spesifikk varmekapasitet $\frac{J}{kg \cdot K}$	Termisk konduktivitet $\frac{W}{m \cdot K}$	Dynamisk viskositet $Pa \cdot s$	Kinematisk viskositet $\frac{m^2}{s}$
30	-13,4	0	1041	3762	0,417	0,007812	-
		25	1026	3829	0,446	0,00278	-
		35	1020	3856	0,454	0,001908	-
		50	1011	3897	0,467	0,001327	-

Etylenglykol

% Etylen glykol i vann	Frysepunkt	Temperatur °C	Densitet $\frac{Kg}{m^3}$	Spesifikk varmekapasitet $\frac{J}{kg \cdot K}$	Termisk konduktivitet $\frac{W}{m \cdot K}$	Dynamisk viskositet $Pa \cdot s$	Kinematisk viskositet $\frac{m^2}{s}$
30	-16,2	0	1061	3619	0,468	0,004989	-
		25	1047	3688	0,485	0,002151	-
		35	1039	3715	0,492	0,0017718	-
		50	1034	3756	0,497	0,001203	-

Etanol

% Etanol i vann	Frysepunkt	Temperatur °C	Densitet $\frac{Kg}{m^3}$	Spesifikk varmekapasitet $\frac{J}{kg \cdot K}$	Termisk konduktivitet $\frac{W}{m \cdot K}$	Dynamisk viskositet $Pa \cdot s$	Kinematisk viskositet $\frac{m^2}{s}$
29,7	-20	40	941,8	4259	0,425	0,00137	-
		35	945,15	4249	0,422	0,001615	-
		30	948,5	4239	0,419	0,00186	-
		20	954,8	4219	0,412	0,00265	-
		10	960,5	4196	0,406	0,00403	-
		0	965,6	4166	0,399	0,00667	-

Ammoniakk

% Ammoniakk i vann	Frysepunkt	Temperatur °C	Densitet $\frac{Kg}{m^3}$	Spesifikk varmekapasitet $\frac{J}{kg \cdot K}$	Termisk konduktivitet $\frac{W}{m \cdot K}$	Dynamisk viskositet $Pa \cdot s$	Kinematisk viskositet $\frac{m^2}{s}$
13,4	-30	10	949	4210	0,495	0,00148	1,65
		0	951,5	4220	0,477	0,00199	2,21
		-10	953,5	4240	0,459	0,00275	3,03
		-20	955	4260	0,422	0,00405	4,4

7.3 Vedlegg 6 Tabeller over de ulike lagene i SalMar kunstgressbane

Densitet kg/m ³	Dybde/tykkelse (m)	Dimensjonerende varme kond. w/(m*k)	Spesifikk varmekapasitet c _p J/(KG*K)
1200-1800	5,0	1,5	1670-2500

Tabell 14 Verdier for bunnlaget i SalMar kunstgressbane. (Standard Norge, 2021)

Densitet kg/m ³	Dybde/tykkelse (m)	Dimensjonerende varme kond. w/(m*k)	Spesifikk varmekapasitet c _p J/(KG*K)
100-150	0,20	0,036-0,05	910-1180

Tabell 15 Verdier for skumglass laget. (Sintef Byggforsk, 2021)

Densitet kg/m ³	Dybde/tykkelse (m)	Dimensjonerende varme kond. w/(m*k)	Spesifikk varmekapasitet c _p J/(KG*K)
1200-1900	0,1	0,8-2,0	910-1180

Tabell 16 Gruslaget over skumglass og under varmelag. (Blomqvist, Shahnaz, Rohdin og Ödlund, 2021)

Densitet kg/m ³	Dybde/tykkelse (m)	Dimensjonerende varme kond. w/(m*k)	Spesifikk varmekapasitet c _p J/(KG*K)
20-65	0,05-0,10	0,033-0,036	1450

Tabell 17 Isolasjon under varmerør (Sundolitt, 2021)

Densitet kg/m ³	Dybde/tykkelse (m)	Dimensjonerende varme kond. w/(m*k)	Spesifikk varmekapasitet c _p J/(KG*K)
1700-2200	0,09	2,0	910-1180

Tabell 18 Drenerende masse rundt varmerørene (Norsk Standard, 2021)

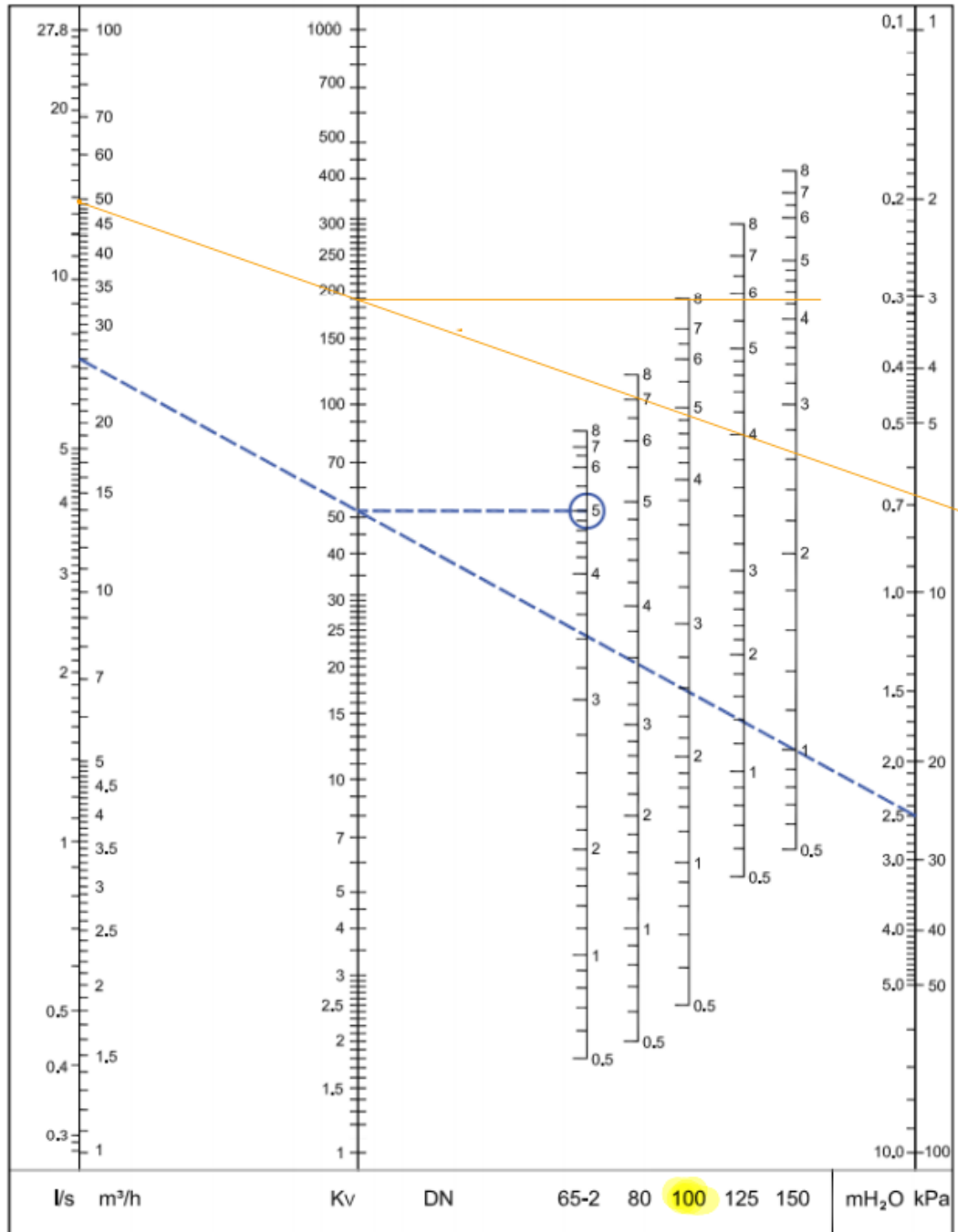
Densitet kg/m ³	Dybde/tykkelse (m)	Dimensjonerende varme kond. w/(m*k)	Spesifikk varmekapasitet c _p J/(KG*K)
250-550	0,020-0,025	0,0146-0,152	2000-2484

Tabell 19 Verdier for sviktpad

Materiale	Dybde/tykkelse (m)	Densitet kg/m ³	Dimensjonerende varme kond. w/(m*k)	Spesifikk varmekapasitet c _p J/(KG*K)
Gummi fyll 20-30mm	0,020-0,03	1200	0,082	1490
Sand fyll 15mm	0,015	933	0,410	883

Tabell 20 Gummigranulat og sandfyllet (Gustin og R.Fleming, 2021)

7.4 Innreguleringsventil



Vedlegg 7 Trykktap over TA-Ventil

7.5 Vedlegg 8 Scriptet til simuleringen

```
%Simulering av varmetransport i banevarmeanlegg (1D-
modell)

%Egenskaper for de ulike materialene i banekonstruksjonen:
x = zeros(8,1);%Tykkelse lag (m)
lambda = zeros(8,1);%Varmeledningsevne lag (W/m*K)
rho = zeros(8,1);%Massetetthet lag (kg/m^3)
cp = zeros(8,1);%Spesifikk varmekapasitet lag (J/kg*C)
%%Lag 1 (nederst) - jord: VERDIER FRA NIBIO - KVITHAMAR
50cm dybde 0,4
x(1) = 0.5;
lambda(1) = 1.5;
rho(1) = 1800;
cp(1) = 2500;
%%Lag 2 - skumglass:
x(2) = 0.20;
lambda(2) = 0.036;
rho(2) = 150;
cp(2) = 1180;
%%Lag 3 - pukk:
x(3) = 0.10;
lambda(3) = 2.0;
rho(3) = 2000;
cp(3) = 1500;
%%Lag 4 - Isolator: Legge inn lag 3 sine verdier, for å
"fjerne"
%%isolator x(4)=0.1 opprinnelig
x(4) = 0.10;
lambda(4) = 0.84;
rho(4) = 2000;
cp(4) = 1500;
%%Lag 5 - Drenering:
%%% inneha samme verdier som for lag 3
x(5) = 0.09;
lambda(5) = 2.0;
rho(5) = 2000;
cp(5) = 1500;
%%Lag 6 - Pad:
x(6) = 0.025;
lambda(6) = 0.152;
rho(6) = 550;
cp(6) = 2484;
%%Lag 7 - Sand:
x(7) = 0.015;
lambda(7) = 0.41;
```

```

rho(7) = 933;
cp(7) = 883;
%%Lag 8 (øverst) - Gummi/kunstgress:
x(8) = 0.030;
lambda(8) = 0.082;
rho(8) = 1200;
cp(8) = 1490;

%Plassering rør
dybde=x(8)+x(7)+x(6)+x(5); %Bunn av dreneringslag (m)
(forenkles og antar at tynt lag i bunnen av dreneringen med
temperatur lik varmtvannet

%Konstruksjonen deles inn i lag med uniform tykkelse (1 mm
per lag)
Elementer
= round((x(1)+x(2)+x(3)+x(4)+x(5)+x(6)+x(7)+x(8))*1000); %A
ntall lag banekonstruksjonen deles inn i (1000 elementer
per meter)
dx =
(x(1)+x(2)+x(3)+x(4)+x(5)+x(6)+x(7)+x(8))/Elementer; %Tykke
lse for hvert lag (m)
T = ones(Elementer,1); %Temperatur i hvert enkelt lag
Lambda = zeros(Elementer,1); %Varmeledningsevne for hvert
enkelt lag
Rho = zeros(Elementer,1); %Massetetthet for hvert enkelt
lag
Cp = zeros(Elementer,1); %Varmekapasitet for hvert enkelt
lag
q = zeros(Elementer,1); %varmefluks mellom lagene (W/m^2)

%Rammebetingelser for simulering
Tluft = -5.53; %Lufttemperatur (C)
Tvann = 12.97; %Temperatur rør (C)
Tjord = 0.4; %Temperatur jord (C), NIBIO VERDI 0,4 grader

hluft = 5; %Konveksjonskoeffisient kunstgress/luft
(W/m^2*K)
epsilon = 0.92; %Emissivitet (-)
sigma = 5.67e-8; %Stefan-Boltzmanns konstant (W/m^2*K^4)

%Utfylling av egenskaper for de ulike lagene
%Lag 1:
start = 1;
slutt = round(x(1)/dx);
Lambda(start:slutt) = lambda(1);
Rho(start:slutt) = rho(1);

```

```

Cp(start:slutt) = cp(1);
%Lag 2:
start = slutt+1;
slutt =slutt+round(x(2)/dx);
Lambda(start:slutt) = lambda(2);
Rho(start:slutt) = rho(2);
Cp(start:slutt) = cp(2);
%Lag 3:
start = slutt+1;
slutt = slutt+round(x(3)/dx);
Lambda(start:slutt) = lambda(3);
Rho(start:slutt) = rho(3);
Cp(start:slutt) = cp(3);
%Lag 4:
start = slutt+1;
slutt = slutt+round(x(4)/dx);
Lambda(start:slutt) = lambda(4);
Rho(start:slutt) = rho(4);
Cp(start:slutt) = cp(4);
%Lag 5:
start = slutt+1;
slutt = slutt+round(x(5)/dx);
Lambda(start:slutt) = lambda(5);
Rho(start:slutt) = rho(5);
Cp(start:slutt) = cp(5);
%Lag 6:
start = slutt+1;
slutt = slutt+round(x(6)/dx);
Lambda(start:slutt) = lambda(6);
Rho(start:slutt) = rho(6);
Cp(start:slutt) = cp(6);
padunder = start; %Posisjonen i underkant av pad (for
senere bruk)
padover = slutt; %Posisjonen i overkant av pad (for senere
bruk)
%Lag 7:
start = slutt+1;
slutt = slutt+round(x(7)/dx);
Lambda(start:slutt) = lambda(7);
Rho(start:slutt) = rho(7);
Cp(start:slutt) = cp(7);
%Lag 8:
start = slutt+1;
slutt = slutt+round(x(8)/dx);
Lambda(start:slutt) = lambda(8);
Rho(start:slutt) = rho(8);
Cp(start:slutt) = cp(8);

```

```

%Rør:
varmelag = Elementer-dybde/dx+1; %Definerer undervarmen som
et eget lag i banekonstruksjonen

%%Initialisering før simulering - stasjonær tilstand
(tilnærming)
%Under rør:
RA = x(1)/lambda(1); %Termisk motstand lag 1 (K*m^2/W)
RB = x(2)/lambda(2); %Termisk motstand lag 2 (K*m^2/W)
RC = x(3)/lambda(3); %Termisk motstand lag 3 (K*m^2/W)
RD = x(4)/lambda(4); %Termisk motstand lag 4 (K*m^2/W)
%Over rør:
RE = x(5)/lambda(5); %Termisk motstand lag 5 (K*m^2/W)
RF = x(6)/lambda(6); %Termisk motstand lag 6 (K*m^2/W)
RG = x(7)/lambda(7); %Termisk motstand lag 7 (K*m^2/W)
RH = x(8)/lambda(8); %Termisk motstand lag 8 (K*m^2/W)
RI = 0.11; %Termisk motstand konveksjon + stråling
(foreløpig testverdi) (K*m^2/W)
qnedover = (Tjord-Tvann)/(RA+RB+RC+RD); %Varmefluks nedover
fra varmerør (W/m^2)
qoppover = (Tvann-Tluft)/(RE+RF+RG+RH+RI); %Varmefluks
oppover fra varmerør W/m^2)
%Initialisering av temperatur i banekonstruksjon
T(1) = Tjord; %Gir nederst lag fast temperatur
T(varmelag) = Tvann; %Gir varmelaget samme temperatur som
vannet
for i = 2:(varmelag-1) %Temperatur under rør
    T(i) = T(i-1)-qnedover*dx/Lambda(i);
end
for i = (varmelag+1):Elementer %Temperatur over rør
    T(i) = T(i-1)-qoppover*dx/Lambda(i);
end

%%Simulering over tid - innstilling stasjonær verdi
(korrigerer av tilnærming ovenfor)
dt = 0.01; %Tidsintervall (s)
t = 3600; %Totaltid (s)
Tid = 0;

for j = 1:(t/dt) %simulering til tid t, med tidssteg dt
    %Beregner varmekonveksjoner mellom lagene basert på aktuelle
temperaturer
    for i = 1:(length(T)-1)
        q(i) = -Lambda(i)*(T(i+1)-T(i))/dx;
    end
end

```

```

    q(end) = hluft*(T(end)-
Tluft)+sigma*epsilon*((T(end)+273.15)^4-
(Tluft+273.15)^4); %Fra kunstgress til luft (konveksjon +
stråling)

    %Beregner ny temperatur for hvert lag
    for i = 2:length(T)
        T(i) = T(i)+(q(i-1)-q(i))*dt/(Rho(i)*Cp(i)*dx);
    end
    T(varmelag) = Tvann; %Korrigerer temperatur varmelag

    Tid = Tid + dt;
end
T0 = T; %Temperaturprofil stasjonær tilstand
q0 = q; %Varmefluks stasjonær tilstand

%%Transient forløp - ingen oppvarming
dt = 0.01; %Tidsintervall (s)
t = 36000; %Totaltid (s) (10 timer)
Tid = 0;
Tpadunder1 = zeros(t,1); %Temperatur i underkant av pad ved
ulike tidspunkt (C)
Tpadover1 = zeros(t,1); %Temperatur i overkant av pad ved
ulike tidspunkt (C)
for j = 1:(t/dt) %simulering til tid t, med tidssteg dt
    Tid = Tid + dt;

    %Beregner varmekulser mellom lagene basert på aktuelle
temperaturer
    for i = 1:(length(T)-1)
        q(i) = -Lambda(i)*(T(i+1)-T(i))/dx;
    end
    q(end) = hluft*(T(end)-
Tluft)+sigma*epsilon*((T(end)+273.15)^4-
(Tluft+273.15)^4); %Fra kunstgress til luft (konveksjon +
stråling)

    %Beregner ny temperatur for hvert lag
    for i = 2:length(T)
        T(i) = T(i)+(q(i-1)-q(i))*dt/(Rho(i)*Cp(i)*dx);
    end

    %Lagrer temperaturen under/over pad hvert sekund
    if mod(j,100)==0
        Tpadunder1(j/100) = T(padunder);
        Tpadover1(j/100) = T(padover);
    end
end

```

```

end
T1 = T; %Temperaturprofil etter tiden t uten drift
q1 = q; %Varmeflukt etter tiden t uten drift

%%Transient forløp - ny oppvarming

dt = 0.01; %Tidsintervall (s)
t = 36000; %Totaltid (s) (10 timer)
Tpadunder2 = zeros(t,1); %Temperatur i underkant av pad ved
ulike tidspunkt (C)
Tpadover2 = zeros(t,1); %Temperatur i overkant av pad ved
ulike tidspunkt (C)
for j = 1:(t/dt) %simulering til tid t, med tidssteg dt
    Tid = Tid + dt;

    T(varmelag) = Tvann; %Korrigerer temperatur varmelag

    %Beregner varmeflukser mellom lagene basert på aktuelle
temperaturer
    for i = 1:(length(T)-1)
        q(i) = -Lambda(i)*(T(i+1)-T(i))/dx;
    end
    q(end) = hluft*(T(end)-
Tluft)+sigma*epsilon*((T(end)+273.15)^4-
(Tluft+273.15)^4); %Fra kunstgress til luft (konveksjon +
stråling)

    %Beregner ny temperatur for hvert lag
    for i = 2:length(T)
        T(i) = T(i)+(q(i-1)-q(i))*dt/(Rho(i)*Cp(i)*dx);
    end

    %Lagrer temperaturen under/over pad hvert sekund
    if mod(j,100)==0
        Tpadunder2(j/100) = T(padunder);
        Tpadover2(j/100) = T(padover);
    end
end
end
T2 = T; %Temperaturprofil etter tiden t uten drift
q2 = q; %Varmeflukt etter tiden t uten drift

figure(1) %Temperaturprofil stasjonær tilstand
plot(T0)
ylabel ('Temperatur (C)'); %label y-akse
xlabel ('Dybde (mm)'); %label x-akse

```

```

legend('Temperaturforløp i jorden'); %Forklaring og
plassering

figure(2) %Varmefluks ved stasjonær tilstnad
plot (q0)
ylabel ('Dybde (mm)'); %label y-akse'Dybde (mm)'
xlabel ('Varmefluks (W/m^2)'); %label x-akse
legend('Varmetransport fra nederst til
kunstgress'); %Forklaring og plassering

figure(3) %Temperaturprofil etter 10 timer uten drift
plot(T1)
ylabel ('Temperatur (C)'); %label y-akse
xlabel ('Dybde (mm)'); %label x-akse
legend('Temperaturprofil etter 10 timer uten
drift'); %Forklaring og plassering

figure(4) %Varmefluks etter 10 timer uten drift
plot (q1)
xlabel ('Varmefluks (W/m^2)'); %label x-akse
ylabel ('Dybde (mm)'); %label y-akse'Dybde (mm)'

figure(5) %Temperaturprofil etter 10 timer ny drift
plot(T2)
xlabel ('Dybde (mm)'); %label y-akse
ylabel ('Temperatur (C)'); %label x-akse
legend('Temperaturprofil etter 10 timer ny
drift'); %Forklaring og plassering

figure(6) % Varmefluks etter 10 timer ny drift
plot (q2)
xlabel ('Dybde (mm)'); %label y-akse
ylabel ('Varmefluks (W/m^2)'); %label x-akse
legend('Varmefluks etter 10 timer ny drift'); %Forklaring
og plassering
view([90 -90]);

figure(7) %Temperaturutvikling underkant pad uten drift
plot(Tpadunder1)
ylabel ('Temperatur (C)');%label y-akse
xlabel ('Tid (s)');%label x-akse
legend('Temperaturutvikling underkant pad uten drift 10
timer'); %Forklaring og plassering

```
















```
figure(8) %Temperaturutvikling overkant pad uten drift
plot (Tpadover1)
ylabel ('Temperatur (C)'); %label y-akse
xlabel ('Tid (s)'); %label x-akse
legend('Temperaturutvikling overkant pad uten drift 10
timer'); %Forklaring og plassering
```

```
figure(9) %Temperaturutvikling underkant pad ny drift
plot (Tpadunder2)
ylabel ('Temperatur (C)'); %label y-akse
xlabel ('Tid (s)'); %label x-akse
legend('Temperaturutvikling underkant pad ny drift 10
timer'); %Forklaring og plassering
```

```
figure(10) %Temperaturutvikling overkant pad ny drift
plot (Tpadover2)
ylabel ('Temperatur (C)'); %label y-akse
xlabel ('Tid (s)'); %label x-akse
legend('Temperaturutvikling overkant pad ny drift 10
timer'); %Forklaring og plassering
```

7.6 Komponentliste fra systemskisse

	Filter		Temperaturgiver
	Pumpe		Trykgiver
	mikrobbleutskiller		Temperaturføler
	Ekspansjonskar		Trykkmåler
	Varmeveksler		Stengeventil
			Reguleringsventil
			Tilbakeslagsventil
			Sikkerhetsventil
			Innreg.ventil
			Stengeventil

Kapittel 8: Referanseliste

Andersen R., Larsen G., Kvalheim G., Halvorsen O. (2015) *Veileder, kunstgressboka*. (Kulturdepartementet-rapport 05/2015). Oslo: Kulturdepartementet.

Tilgjengelig fra:

https://studntnu.sharepoint.com/sites/o365_UndervarmeLerkendal/Shared%20Documents/General/v-0975b-veileder_kunstgress_2015.pdf?CT=1615967618638&OR=ItemsView

Aune S., Myhrvold O., Engelsjord M. (2002) *Veileder , Naturgressboka bygging, drift og vedlikehold av gressbaner for fotball*. (Kultur- og kirke departementet rapport 05/2002).

Oslo: Kultur-og kirke departementet. Tilgjengelig

fra: <https://www.regjeringen.no/globalassets/departementene/kud/idrettsdokumenter/v-0897-naturgressboka.pdf>

Aune S., Myhrvold O., Roa M. (2007) *Veileder, kunstgressboka*. (Kulturdepartementet- rapport 02/2007). Oslo: Kulturdepartementet. Tilgjengelig

fra: <https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kkd/idrett/kunstgressboka-v-0919-2007.pdf>

Aiwell (u.å.) *undervarme og fotballbane*. Tilgjengelig fra: https://www.aiwell.no/undervarme-kunstgress.html?gclid=Cj0KCQiAmL-ABhDFARIsAKywVad7JFgu5T2lVP6oDarmEkZ9lp25FpgwltbBJ3ACnTKA6WYmiVIYwZ0aAuviEALw_wcB (Hentet: 10. februar 2021).

Blomqvist, Stefan & Amiri, Shahnaz & Rohdin, Patrik & Ödlund, Louise. (2019). *Analyzing the Performance and Control of a Hydronic Pavement System in a District Heating Network*. Energies. 12.(11):2078 DOI:10.3390/en12112078.

Båsum Boring (u.å.) *Et miljøvennlig etanolbasert kuldebærer for varmpumper*. [Internett]

Tilgjengelig fra: https://basum.no/wp-content/uploads/HX_brosjyreark-1.pdf

Çengel, Y., Cimbala, J., (2020) *Fluid mechanics fundamentals and applications*. 4.utg. Singapore: Mc Graw Hill.

DOW (u.å.) *DOWCAL 200 Inhibited Propylene Glycol-based Heat Transfer Fluid*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.dow.com/en-us/document-viewer.html?ramdomVar=5032440114668023846&docPath=/content/dam/dcc/documents/en-us/productdatasheet/180/180-01589-01-dowcal-200-heat-transfer-fluid-tds.pdf> (Hentet 15. april 2021)

DOW (2021) *Sikkerhetsdatablad DOW 200 Heat Transfer Fluid* [Internett] Tilgjengelig fra: <https://www.dow.com/en-us/document-viewer.html?docType=SDS&contentType=SDS&product=369925z&tradeProduct=000000369925&selectedCountry=NO&selectedLanguage=NO&recordNumber=40075612>

Dyrhaug, T. (2016) *Lerkendal idrettspark*. Tilgjengelig fra: [Lerkendal idrettspark / Rosenberg \(rbk.no\)](http://Lerkendal.idrettspark/Rosenborg.rbk.no) (Hentet: 10.februar 2021).

Embeddeddatasystems (2021). *DS1922L-F5# iButton*. Tilgjengelig fra: https://www.embeddeddatasystems.com/DS1922L-F5--Thermochron-iButton-40%C2%B0C-thru-85%C2%B0C_p_98.html (Hentet: 21.april 2021)

Erlandsen, P. (2008). *Kompendium Prosessregulering*. Trondheim: Tapir akademiske forlag.

Flening, S. (red.) (1991) *Pumpe Ståbi*. Utgave: 2.utg. København: Teknisk Forlag A/S. (side 104)

Grundfos (u.å) *Få pumpehåndboken*. Tilgjengelig fra: <https://www.grundfos.com/no/learn/research-and-insights/get-the-pump-handbook> (Hentet: 11.mai 2021).

Guard Automation AS (2021) *Street Smart*. Tilgjengelig fra: <https://guard.no/produkter-og-tjenester/street-smart/> (Hentet: 05.mai 2021).

Guard Automation AS (2021) *Guard Field Smart*. Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=pDWVyRexaiA> (Hentet dato: 13.mai 2021).

Gustin, M. og Fleming, P & Allinson, D og Watson, S. (2018). Modelling Surface Temperatures on 3G Artificial Turf. Proceedings. DOI: 2. 279. 10.3390/proceedings2060279.

Helsenorge, 2018. *Helsenorge.no*. [Internett] Available at: [https://www.helsenorge.no/giftinformasjon/husholdningskemikalier/etylenglykol/#:~:text=Etylenglykol%20\(og%20derivater\)%20er%20i,kan%20f%C3%B8re%20til%20alvorlige%20symptomer.](https://www.helsenorge.no/giftinformasjon/husholdningskemikalier/etylenglykol/#:~:text=Etylenglykol%20(og%20derivater)%20er%20i,kan%20f%C3%B8re%20til%20alvorlige%20symptomer.) (Hentet: 20.februar 2021)

Ibuttonlink (2021). *iButton*. Tilgjengelig fra: <https://www.ibuttonlink.com/products/ds1922l> (Hentet: 20.april 2021)

Instrumentcompaniet (2021). *Extech RF41 Glykol refraktometer*. Tilgjengelig fra: https://www.instrumentcompaniet.no/Extech-RF41-Glykol-refraktometer_2786p.html (Hentet: 22.april 2021)

Kompa (2021). *Sprit som frostsikring*. Tilgjengelig fra: <https://www.kompa.no/post/sprit-som-frostsikring> (Hentet: 15.mai 2021)

Ljung, L., Olin, C., Tollin, J. (1986) *Köldbärare i värmepumps- och värmeåtervinningsystem (R11-1986)*. Solna: Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm. Tilgjengelig fra <https://docplayer.se/111634269-Koldbarare-i-varmepumps-och-varmeatervinningsystem.html> (Hentet 15. mars 2021)

Lmt.nibio.no. (2021) *Nedlasting av værdata - LandbruksMeteorologisk Tjeneste (LMT)*. Tilgjengelig fra: https://lmt.nibio.no/agrometbase/getweatherdata_new.php?weatherStationId=57 (Hentet: 12.Mai 2021).

Melinder, Å. (red.) (u.å.) *Handbook on indirect refrigeration and heat pump systems*. Kullavik: Svenska Kyltekniska Föreningen, KTF.

Melinder, Å. (2007). *Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids*. Dr.art. Avhandling. Kungliga Tekniska högskolan (KTH).

LandbruksMeteorologisk Tjeneste u.d *Hent værdata* [Internett] Tilgjengelig fra: https://lmt.nibio.no/agrometbase/getweatherdata_new.php?weatherStationId=110

Norsk fjernvarme, u.d. *Veilder: vannkvalitet*. [Internett] Tilgjengelig fra: <https://www.fjernvarme.no/fakta/veileder-vannkvalitet> (Hentet: 01. mars 2021).

Novema Kulde (2014) *Tabeller og omregninger*. [Internett] Tilgjengelig fra: https://www.novemakulde.no/02/2014_tbl.pdf

(Hentet: 15. april 2021)

Observasjoner og værstatistikk (2021) Tilgjengelig fra: <https://seklima.met.no/observations> (Hentet:16. mars 2021)

Pedersen, Bjørn; Hofstad, Knut: *masseprosent* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 3. mai 2021 fra <https://snl.no/masseprosent>

Performativedesign.com. 2021. *PD: Thermal Lag*. [Internett]Tilgjengelig fra: <http://performativedesign.com/definitions/heat/thermal-lag> (Hentet: 8.mai 2021).

Pipelife (2020) *Kapasitetsberegning- full rørledning (vann og avløp)*. Tilgjengelig fra: <https://www.pipelife.no/snarveier/beregningsprogrammer/kapasitetsberegning-full-roerledning.html> (Hentet: 20. mars 2021)

Pipelife (2020) *Rørhåndboka- Materialer og egenskaper-Materialdata*. Tilgjengelig fra: <https://www.pipelife.no/content/dam/pipelife/norway/marketing/general/brochures/various/R%C3%B8rh%C3%A5ndboka.pdf> (Hentet: 20. mars 2021)

Roznik, E og Alford, R. (2012). Does waterproofing Thermochron iButton dataloggers influence temperature readings? *Journal of Thermal Biology*. 37. s.260–264. 10.1016/j.jtherbio.2012.02.004)

SD-anlegg (2020) Tilgjengelig fra: <https://kriterieveviseren.difi.no/nb/content/nb-sd-anlegg> (Hentet: 15.februar 2021)

SimScale (2021) *What Is Heat Transfer? SimScale CAE SimWiki Learning*. Tilgjengelig fra: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/heat-transfer-thermal-analysis/what-is-heat-transfer> (Hentet: 12.mai 2021).

SINTEF Byggforsk (2020) 471.010 *Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer* Tilgjengelig fra:https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer (Hentet:11.mai 2021).

Skjevdal, L.G. og Blikra, E. (2021) *Kunstgressbane i Trondheim: Detaljprosjektering og utførelse*. Bacheloroppgave. NTNU i Trondheim. (Hentet: 16.mai 2021).

Standard Norge (2020) *Veiledning NS-EN 1264, del 1 til 5*. Tilgjengelig fra: <https://www.armaturjonsson.no/media/622692/veiledning-for-vannba-ren-gulvvarme-2020.pdf> (Hentet: 11.mai 2021)

Standard Norge (2007) NS-EN ISO Byggematerialer og -produkter. Hygrotermiske egenskaper. Tabulerte dimensjonerende verdier og prosedyrer for bestemmelse av deklarererte og praktiske termiske verdier. (ISO 10456:2007). Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=461975> (Hentet: 11. mai 2021).

Statkraft, 2015. *Statkraft.no*. [Internett]

Available at: <https://www.statkraft.no/globalassets/2-statkraft-varme/statkraft-varme-norge/bestemmelser-bionorden-no-rev---juni-2015.pdf>

(Hentet: 01. mars 2021).

Statkraft, u.d. *Returtemperatur og volum*. Tilgjengelig

fra: <https://www.statkraftvarme.no/produkter-og-tjenester/prismodell/returtemperatur-og-volum/>

(Hentet: 01.mars 2021)

Statsbygg (u.å) *Komponentkodeliste PA 0802 TFM*. Tilgjengelig

fra: <https://www.uio.no/tjenester/eiendom/Utf%C3%B8re%20arbeid%20p%C3%A5%20UiOs%20eiendom/prosjektanvisninger/802%20TFM%20UiO%20-%20Tverrfaglig%20merkesystem%20for%20UiO/vedlegg-tfm-komponentkodeliste.pdf> (Hentet: 18.mai 2021)

Sundolitt (2018) *XPS Fotballplater*. Tilgjengelig fra:

<https://www.sundolitt.com/no/sundolitt/norway/frostsikring-bygg-og-anlegg/xps-frostsikring-idrettsanlegg/xps-fotballplater/>. (Hentet:11.mai 2021)

Sætersdal, R. (red.) (1976) *Sikring mot teleskader: Frost i jord*. Utgave: nr 17. Oslo:

Vegdirektoratet/NTNF

Unisport (2021) *Kunstgress fotball*. Tilgjengelig fra: [Kunstgress -](#)

[Unisport_NO.pdf](#) (Hentet: 07.april 2021).

Vardal IF på Gjøvik får kunstgressbane med undervarme (2014) [digitalt bilde]. Tilgjengelig

fra: <https://ivre.no/sportoganlegg/wardal-if-pa-gjovik-far-kunstgressbane-med-undervarme/> (Hentet: 20.april 2021).

Waagaard S. M. (2017) *Retningslinjer infrastruktur*. (NFF-rapport 12/2017). Oslo: NFF.

Tilgjengelig fra: <https://www.fotball.no/lov-og-reglement/klubblisens/tl-og-obos/retningslinjer/retningslinjer-infrastruktur/#73537>

Zijdemans, D. (2018) *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. 3.opprykk, opplag
2018. Oslo: Skarland Press AS

