

Oliver Lillefjell Moen
Jonas Tønning Mæland

Er gatevarme et godt alternativ for snøhåndtering i sentrumsområder

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-teknikk
Veileder: Terje Arne Wenaas
Medveileder: Bjørn Aas
Mai 2022

Oliver Lillefjell Moen
Jonas Tønning Mæland

Er gatevarme et godt alternativ for snøhåndtering i sentrumsområder

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-teknikk
Veileder: Terje Arne Wenaas
Medveileder: Bjørn Aas
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for energi- og prosesseteknikk

RAPPORT bacheloroppgaven

Tittel

Er gatevarme et godt alternativ for snøhåndtering i sentrumsområder

Is underground heating a viable alternative for handling of snow in downtown areas

Prosjektnr **EPT-V-2022-03**

Forfatter(e)

Oliver Lillefjell Moen

Jonas Tonning Mæland

Oppdragsgiver(e) eksternt: Bjørn Aas - SIAT

Veileder(e) internt: Terje Arne Wenaas - NTNU

Rapporten er ÅPEN

Dato levert: 20/05-22

Kort sammendrag:

I denne oppgaven skal vi se nærmere på benyttelse av gatevarme for å smelte snø. Vi skal benytte Rikard Kaarbøs plass i Harstad som vårt referanse sted. Vi vil sammenligne kostnader ved å benytte fjernvarme i et gatevarme anlegg mot å fjerne snøen med brøyting, strøing og feiing. Vi skal også se på ulike hastigheter vi kan ha i systemet og hvordan det vil påvirke effektiviteten til systemet. I analysen skal vi ta for oss to ulike måter å regulere på.

In this thesis we will look more closely at the use of street heat to melt snow. We will use Harstad as our reference place and compare costs by using district heating in a street heating plant against removing the snow with plowing, scattering, and sweeping. We will also look at different speeds we can have in the system and how it will affect the efficiency of the system. In the analysis, we will consider two distinct types of control systems.

Stikkord:

Fjernvarme, Snøsmelting, gatevarme, Regulering, Snø, Varme,

Key Words:

District Heating, Snow melting, Street heat, Control systems, Snow, heating

Forord

Med denne bacheloroppgaven avslutter vi vårt studieløp ved Norges teknisk - naturvitenskapelige universitet, NTNU som maskiningeniør med spesialisering i VVS-teknikk. Oppgaven er gjennomført i sjette semester av studieløpet, vår 2022, ved institutt for energi og prosessteknikk.

Formålet med denne oppgaven er som følger:

- Finne ut om bruk av fjernvarme til snøsmelting er en bedre løsning for håndtering av snø på torg og sentrumsnære områder
- Se på sammenhengen mellom hastighet og delta T
- Se på to ulike metoder for regulering.

Vi vil takke vår veileder Terje Arne Wenaas ved NTNU for god veiledning. Vi vil takke vår oppgavegiver Bjørn Aas ved SIAT NTNU for gode tilbakemeldinger og oppfølging av oppgaven underveis.

Vi vil også takke de følgende for bidraget de ga for å muliggjøre gjennomføring av oppgaven:

- Statkraft
- Statkraft drift
- Harstad Kommune
- Harstad drift
- Guard Automation

Abstract

In Norway we have large expenses for winter maintenance of public areas. This includes highways, small country roads and public areas downtown. In our bachelor thesis we are going to analyze how viable, hydraulic snow melting systems are as a solution compared to manually removing snow. We are going to look at how the economic comparison between the two options are and include how a snow melting system can positively impact various aspects of the area on which it is used. In this thesis we are looking at Rikard Kaarbøs place in Harstad, and we will make an opinion on snow melting system in downtown areas with pedestrians. In this thesis we find that building the snow melting system or snow cleaning facility is the biggest difference in which of the two is most beneficial economically. We also see the potential in arguing that a snow melting system could justify a premium in price due to the benefits the system provides in making downtown areas more accessible and decreasing injuries caused by snow and ice.

We also made a comparison between two different control systems. One using sensors and snow sniffers while the other made a digital twin and predicted snow using weather forecast. In the comparison it was a clear difference in the heat used in the systems. Where the digital twin could remove the snow in a more effective way.

We also look at different speeds in a snow melting system. Using a given needed heat flow we look at how different ΔT gives us different flows in the system. We can clearly see that higher ΔT gives a lower flow, which translates to lesser work input in the system. But with higher ΔT we also have a more uneven spread of the heat in the system. Due to this we find we would need a ΔT around 14 degrees Celsius, and a flow of 5,2 m/s.

Sammendrag

I Norge er det store kostnader knyttet til vintervedlikehold av offentlig areal. Dette være seg alt fra store motorveier, mindre kommunale veier og offentlige arealer i bykjerne. Vi har i denne oppgaven sett på alternativer til håndtering av snø.

Vi har i vår oppgave sett på bruken av fjernvarme til å smelte snø på offentlig eiendom. Vi har sett på om dette er noe som både er mer lønnsomt, bærekraftig og om det er noe som forbedrer brukeropplevelsen for de som ferdes i bykjernen, sammenlignet med tradisjonell brøyting av snø.

Gjennom oppgaven har vi kommet fram til at bruk av fjernvarme i et gatevarmeanlegg er noe som har mange positive effekter. Det sparer kommunen for utgifter knyttet til brøyting og snøbehandling, samtidig som det kan gjennomføres med akseptable driftskostnader. Investeringen av et gatevarmeanlegg kan også føre til at det er tryggere og enklere å ferdes i bykjernen på vinterstid, det bidrar til økt universell utforming og mindre skader knyttet til ferdsel på vinterstid.

Det ble også sett på to ulike reguleringsmetoder. Her har vi sammenlignet to aktører, Aiwell og Guard Automation. Ved å se på hvor mange kWh som ble benyttet for å smelte snø, samt kostnader knyttet til investering og drift har vi gjennom oppgaven funnet ut at ved bruk av et prediktivt styresystem vil man bruke mindre energi, noe som igjen fører til lavere kostnader for kunden.

Det er også blitt sett på ulike hastigheter i anlegget. Ved å se på en gitt varmestrøm har det også vist seg at ulik delta T gir ulik hastighet. Dette viser oss at høyere delta T gir en lavere hastighet. Dette gir også lavere pumpearbeid. Basert på våre funn vil vi optimalt ha en delta T på rundt 14°C og en hastighet på $5,2\text{ m/s}$.

Innhold

Forord	iii
Abstract	iv
Sammendrag	v
Innhold	vii
Figurligste	xi
Tabell liste	xiii
Akronymer	xiv
Nomenklatur	xv
Kapittel 1: Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.1.2 Problemstilling	1
1.1.3 Gatevarmeanlegg Harstad	2
1.1.4 Begrensninger	2
Kapittel 2: Teori	3
2.1 Snø	3
2.1.2 Massetetthet	3
2.1.3 Ved hvilke temperatur dannes snø	3
2.1.4 Faseovergang	3
2.1.5 Spesifikk varmekapasitet	4
2.1.6 Latent varme	4
2.2 Varme	5
2.2.1 Oppvarming av snøen	5
2.2.2 Konveksjon	5
2.3 Fjernvarme	6
2.3.1 Område med varmekabler	8
2.3.2 Systemtegning	10
2.3.3 Bakkens oppbygning	11
2.3.4 Strømning i rør	12
2.3.5 Varmefluks	13

2.3.6 Arbeidsmedium	14
2.3.7 Korrigerer for etylenglykol	16
2.3 Regulering	17
2.4.1 Aiwell - sensor system	17
2.4.2 Guard Automation- StreetSmart	19
2.4.3 Hastighet og delta T for varme	21
2.5 Økonomisk teori	22
2.5.1 Nytte-kostnadsanalyse	22
2.5.2 Kostnader behandling	22
2.5.3 Kostnader sykemelding	23
2.5.4 Fall på glatt føre som fører til skader	24
2.5.5 Andre økonomiske konsekvenser	26
2.5.6 Økt ferdsel på torget	26
2.5.7 Universell utforming	26
2.5.8 Ekstra kostnader knyttet til vedlikehold i vinterhalvåret	27
Kapittel 3: Metode	28
3.1 Varme	28
3.1.1 Gatevarme	29
3.1.2 Regulering	29
3.1.3 Økonomi	30
3.1.4 Samfunn	31
Kapittel 4: Analyse	32
4.1 Varmebehov	32
4.1.1 Varme for å smelte snø	32
4.1.2 Snømengde på Rikard Kaarbøs plass	37
4.1.3 Varmebehov for å smelte snøen	38
4.2 Sammenligning mellom styresystemer	42
4.2.1 Streetsmart simulering	42
4.2.2 Regulering på Rikard Kaarbøs plass	43
4.2.3 Varmebehovet basert på snømengde	44
4.2.4 Sammenligning	44
4.2.5 Beregninger varmestrøm	46

4.2.6 Hva kan hindre en høyere delta T	47
4.3 Beregninger økonomi	48
4.3.2 Engangskostnad for gatevarmeanlegg	48
4.3.3 Kostnad drift	49
4.3.4 Kostnad med Streetsmart	50
4.3.5 Kostnader brøyting, strøing, salting etc.	52
4.3.6 Direkte kostnader	52
4.3.7 Snø behandling	53
4.3.8 Vedlikeholdskostnader	55
4.4 Beregninger Samfunn	57
4.4.1 Skader og ulykker som følge av glatt føre	57
4.4.2 Benyttelse av torget	58
4.5 Kost-nytte analyse	58
4.5.1 Total kostnad snøsmelteanlegg	58
4.5.2 Total kostnad tradisjonell fjerning av snø	59
4.5.3 Nytte av snøsmelteanlegg	62
4.5.4 Andre nytte av snøsmelteanlegg som ikke er inkludert i analysen	63
Kapittel 5: Drøfting	64
5.1 Er fjernvarme et godt alternativ for snø håndtering	64
5.1.2 Hvilket reguleringssystem burde bli benyttet	66
5.1.3 Forholdet mellom hastighet og delta T	67
Kapittel 6: Avslutning	68
6.1 Konklusjons	68
6.2 Videre arbeid	68
6.2.1 Hvor mange skader unngås	68
6.2.2 Kostnader for rensing av snø	69
6.2.3 Sammenheng mellom fordeling av varme og delta T i et snøsmelteanlegg	69
Kapittel 7: Vedlegg	70
Kapittel 8: Referanser	81

Figurligste

Figur 1- Fasediagram (Inspirit, 2022)

Figur 2 - Kart over Harstad (Google maps, mai. 2022)

Figur 3 - Omfang av gatevarmeanlegg Harstad. (J. Nordahl, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022)

Figur 4 - Systemtegnning gatevarmeanlegg Harstad. (J. Nordahl, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022)

Figur 5 - Oppbygging av bakke. (J. Nordahl, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022)

Figur 6 - Illustrasjon av laminær og turbulent strømning (Helseth. L. E. 2022)

Figur 7 - Spesifikk varmekapasitet ved ulike glykolvekt. (Nemitek. 2018)

Figur 8 - Frysepunkt ved ulike glykolvekt. (Nemitek. 2018)

Figur 9 - Produktoversikt Aiwell 3000. (J. Nordahl, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022)

Figur 10 - Skjerm bilde fra StreetSmart (Bøe. N. Personlig kommunikasjon mars, 2022)

Figur 11 - Graf over nødvendig varme for å varme snø til 0 grader

Figur 12 - Avstand mellom Harstad stadion og Rikard Kaarbøs plass (Google maps, mai. 2022)

Figur 13 - Snødybde (Norsk klimaservicesenter (u.å.))

Figur 14 - Snødybde (Norsk klimaservicesenter (u.å.))

Figur 15 - Lufttemperatur og nedbør (Norsk klimaservicesenter (u.å.))

Figur 16 - Utreknet snøfall (Vedlegg 1)

Figur 17 - Varmebehov for å smelte snøen (Vedlegg 1)

Figur 18 - Varme benyttet på Rikard Kaarbøs plass (Energiguide, april.2022) (Vedlegg 4)

Figur 19 - Skjerm bilde fra StreetSmart (Bøe, N. Personlig kommunikasjon. 2022)

Figur 20 - Effekt per. døgn (Energiguide, april. 2022) (Vedlegg 2)

Figur 21 - Nødvendig effekt for å smelte dagens snøfall (Vedlegg 3)

Figur 22 - Nødvendig effekt, Rikard Kaarbøs systemet effekt og StreetSmart estimert effekt (Vedlegg 6)

Figur 23 - Hastigheten nødvendig ved ulike delta t for å oppnå en effekt på 760kW (Vedlegg 5)

Figur 24 - Månedlig kostnad fjernvarme

Figur 25 - Pris for varmen fra Rikard Kaarbøs plass (Vedlegg 4)

Figur 26 - Estimert kostnader ved Streetsmart regulering (Vedlegg 10)

Tabell 27 - Estimert årlig kostnad for snø renseanlegg (Vedlegg 7)

Foto 1. Skade på uteområde som følge av brøyting. (Aas, B. Personlig kommunikasjon 2022)

Tabell 28 - Sammenligning mellom snøsmelting og tradisjonell fjerning ved ulike kostnader for snø rensing, inkludert etableringskostnad av snøsmelteanlegg og snø renseanlegg

(Vedlegg 8)

Tabell 29 - Kostnader for drift av snøsmelteanlegg og drift av tradisjonell snøfjerning

(Vedlegg 9)

Tabell liste

- Tabell - 1. Korrigering for etylenglykol. (Novema Kulde AS, 2014)
- Tabell - 2. Kostnader ved sykemelding. (Statistisk sentralbyrå. 2022)
- Tabell - 3. Fallulykker fordelt på aldersgrupper. (Helsedirektoratet, 2021, s.12)
- Tabell - 4. Årsaker til fallulykke. (Øvstedal. Brembu, 2021)
- Tabell - 5. Faseoverganger og energi. (Cengel. Boles, 2015, s. 902)
- Tabell - 6. Varmebehov for økning av temperatur.
- Tabell - 7. Oppvarmingsbehov for smelting av snø.
- Tabell - 8. Forbruk i kWh for gatevarmeanlegg.
- Tabell - 9. Pris gatevarmeanlegg gitt 0,75 kr/kWh.
- Tabell - 10. Kostnader ved brøyting. (Fredly. F. E. Personlig kommunikasjon. 01.april.2022)
- Tabell - 11. Kostnader ved ulike brudd.
- Tabell - 12. Historisk nedbørsmengde. (yr.no,2021)

Akronymer

VVS - *Varme, Ventilasjons og Sanitærteknikk*

StreetSmart - *Software levert av Guard Automation*

NTNU - *Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet*

SIAT - *Senter for idrettsanlegg og teknologi*

Nomenklatur

Benevning	Symbol	Enhet
Pi	π	-
Delta T	ΔT	K
Kelvin	K	-
Watt	W	-
Grader celcius	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
Turtemperatur	T_{tur}	$^{\circ}\text{C}$
Returtemperatur	T_{retur}	$^{\circ}\text{C}$
Meter	m	-
Millimeter	mm	-
Joule	J	-
Hastighet	u	m/s
Rørdiameter	d_i	m
Reynoldstall	Re	Re

Dynamisk viskositet	μ	kg/(m/s)
Hydraulisk diameter	D_h	m
Densitet	ρ	kg/m ³
Spesifikk varmekapasitet	c_p	J/K*K

Kapittel 1: Innledning

1.1 Bakgrunn

Oppgaven er gitt av SIAT ved NTNU.

Oppgaven går ut på å se på en alternativ måte for fjerning av snø som faller på offentlige områder. Det er per i dag få offentlige plasser som benytter seg av fjernvarme i bakken for smelting av snø. I stedet brukes det tyngre kjøretøy til brøyting og strøing av både salt og grus. Dette er noe som er hardt på både miljø og offentlige arealer, og koster kommuner store summer hvert år. Ved å undersøke nærmere hvordan fjernvarme i et gatevarmeanlegg kan smelte snø og hvordan vi på best mulig måte kan regulere et slikt anlegg vil vi prøve å komme til en konklusjon på om dette er et godt alternativ. Hovedvekten blir på økonomiske aspektene, men vi skal også innom andre viktige aspekter for om snøsmelteanlegg er en mulig løsning.

1.1.2 Problemstilling

I denne oppgaven skal vi sammenligne snøsmelting med fjernvarme mot tradisjonell fjerning av snø. Med tradisjonell fjerning av snø menes brøyting, strøing og feing, samt. tilhørende aktiviteter som må gjennomføres ved å benytte denne metoden. Vår analyse skal ha hovedfokus på en økonomisk analyse, men vil også inkludere noen samfunnsmessige forhold som er relevante.

Sammenligningene vil være på følgende kriterier:

- Økonomiske
 - Driftskostnader
 - Etableringskostnader
 - Vedlikeholdskostnader
- Samfunn
 - Benyttelse av torget
 - Skader grunnet fall på glatt føre
 - Ekstra rengjøring grunnet snø

Vi skal også gjøre en analyse av best mulig drift av en snøsmelteanlegg, der vi skal optimalisere basert på delta t og hastighet. Vi skal gjøre beregninger der vi ser hvor mye varme som er

nødvendig for å smelte snømengden som har falt og sammenligne det med to ulike reguleringsystemer, en med sensorer og en uten som benytter værmelding.

Basert på analysen ønsker vi å svare på følgende spørsmål?

- Er fjernvarme et aktuelt alternativ for fjerning av snø?
- Hvor bra er de ulike regulerings metodene og hvor mye varme gir de i forhold til hva som er nødvendig?
- Hvilken hastighet må vi ha med ulike delta T for å oppnå ønskelig varmestrøm?

1.1.3 Gatevarmeanlegg Harstad

I denne oppgaven har vi valgt å ta utgangspunkt i et gatevarme anlegg som er lokalisert i Harstad, Norge. Harstad kommune har i samarbeid med Statkraft installert et gatevarmeanlegg på torget i Harstad, nærmere bestemt Rikard Kaarbøs Plass. Dette anlegget får sin energi fra Statkraft sin fjernvarmesentral i Harstad. Dette er på 1700 kvm, og skal på sikt utvides. Det er gjennomført presist grunnarbeid for best mulig varmetransport. Varmeveksler som er installert har en kapasitet på 2,5 MW. De benytter seg av Aiwell til regulering og styring av anlegget. Anlegget styres av sensorer og snø sniffere som detekterer når det kommer nedbør i form av snø, og starter deretter anlegget. (Nordahl. J, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022)

1.1.4 Begrensninger

Det at de tekniske installasjonene vi bruker som utgangspunkt i oppgaven vår er lokalisert i Harstad betyr at vi ikke kan dra på befaring. Dette fører til at vi er avhengige av god kommunikasjon med driftsansvarlige i Harstad og Statkraft. Dette fører også til at vi blir nødt til å ta noen kvalifiserte antagelser da vi ikke fysisk får befart anlegget. Oppgaven vil omfatte beregninger rundt varmeoverføring, reguleringsmetoder, økonomisk teori og kost-nytte beregninger. Vi vil ikke ta for oss selve oppbyggingen av det tekniske anlegget.

Kapittel 2: Teori

2.1 Snø

2.1.2 Massetetthet

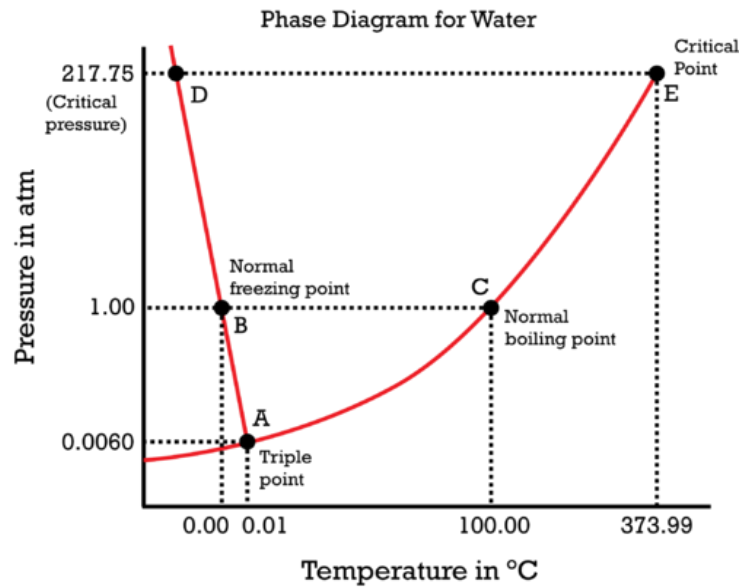
Egenskapene til snø varierer mye basert på miljøet snøen former seg og faller ned til bakken på. Vi vil i oppgaven bare se på nysnø ettersom vi ønsker å smelte snøen før den får lagt seg. For nysnø kan vi se at klima har stor påvirkning, i maritime miljøer vil snøen ha en massetetthet mellom 100 kg/m^3 og 300 kg/m^3 , mens i kontinentalt klima vil massetettheten variere mellom 10 kg/m^3 og 100 kg/m^3 . (L. U. Arenson, W. Colgan and H. P. Marshall, 2015)

2.1.3 Ved hvilke temperatur dannes snø

Snø dannes ved at vanndamp direkte fryses til is. Denne prosessen skjer ved lave temperaturer når det er fuktighet i atmosfæren. Vi ser at snø faller når lufttemperaturen er mindre enn 2°C . (MetOffice, u. å)

2.1.4 Faseovergang

I figur 1 vises et trykk temperatur diagram for vann. Her kan vi se de ulike fasene vannet har ved gitt trykk og temperatur. 1 ATM er trykket ved havoverflaten. Vi kan se at ved temperaturer under 0°C vil vannet være i fast form. Snø er iskrystaller og er vann i fast form.



Figur 1-Fasediagram (Inspirit, 2022)

For å flytte mellom fasene må man endre temperatur eller trykk. Ettersom trykk vil være konstant ute, vil vi måtte endre temperaturen.

2.1.5 Spesifikk varmekapasitet

Spesifikk varmekapasitet er energibehovet for å endre temperaturen i stoffet. Vi kan formulere varmekapasitet som varme delt på temperaturforskjell. Dette er en verdi man kan finne oppgitt i ulike tabeller. Spesifikk varmekapasitet vil også endre seg med start temperaturen. (Pedersen, B. 2019)

2.1.6 Latent varme

Latent varme er varmemengdene som må til for å at et stoff kan gå fra en fase til en annen. Formelen for spesifikk latent varme er.

$$L = \frac{Q}{m_c} \Rightarrow Q = L \cdot m_c$$

Q = varme (kWh)

m = masse

(UIO. u.å, s.3)

2.2 Varme

2.2.1 Oppvarming av snøen

Før vi kan få en faseovergang fra snø til vann må vi varme snøen opp til 0°C, som er snøens smeltepunkt. Vi benytter dermed formelen under for å beregne ut varmebehovet for ulike temperaturforskjeller:

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

Q = varme (kWh)

Cp = Spesifikk varmekapasitet (kJ/kg*K)

ΔT = Temperaturforskjell (K)

m = masse (kg)

(Cengel. Boles, (2015), s. 93)

2.2.2 Konveksjon

I rørene er det en varmeoverførsel mellom væsken i røret til røret og bakken. For å regne ut varmeoverføringen benytter vi newtons varme lov;

$$Q_{conv} = h \cdot A \cdot (T_{vs} - T_{\infty})$$

(Cengel. Boles, (2015), s. 91)

2.3 Fjernvarme

“Fjernvarme er et oppvarmingssystem der energi fra en fjernvarmesentral overføres i form av varmt vann i isolerte rør til boligområder og andre bygninger innenfor et større område, en bydel eller en hel by.” (Rosvold, 2021a). Dette kan være eneboliger, boligblokker, forretningslokaler og offentlige bygninger. Fjernvarmesentralen kan ha ulike energikilder. Dette kan være avfallsforbrenning, olje, gass, flis, strøm eller overskuddsvarme fra industri. For å få varmen ut fra varmesentralen og ut til forbruker brukes to isolerte rør. Et rør for tur og ett rør for retur av arbeidsmediet. Forbrukeren får da avgitt denne varmen ved bruk av for eksempel en radiator. Bruken av fjernvarme erstatter i stor grad bruken av strøm som energikilde. Dette vil da bidra til å frigjøre kapasitet i strømmettet til elektrifisering av samfunnet. Derav kan man si at fjernvarme har en sentral rolle i overgangen til en mer sirkulær økonomi. (Rosvold, 2021b)

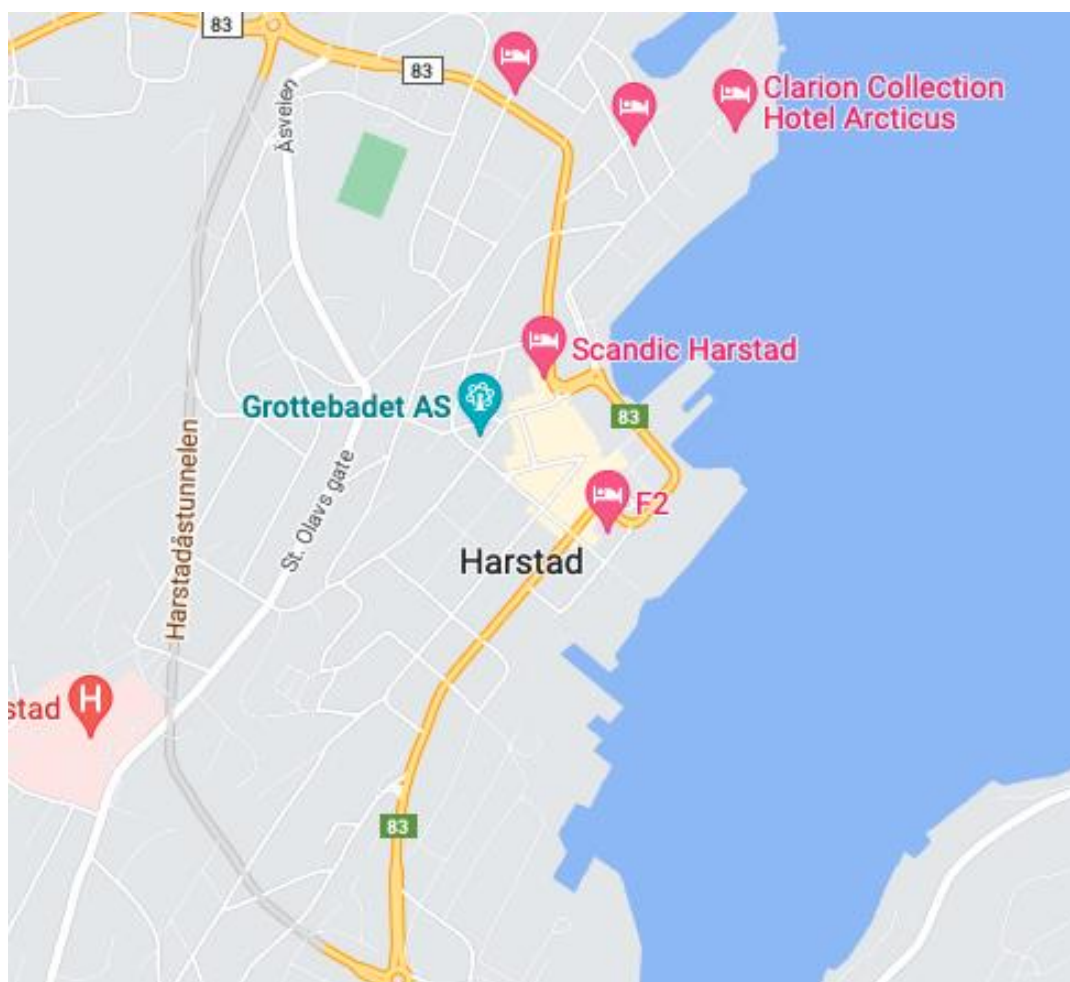
Fjernvarmesentralen fungerer på følgende måte. Renovasjonsselskapene henter avfall hjemme hos innbyggerne i kommunen. Dette avfallet kjøres til et deponi hvor det dumpes. På avfallsdeponiet blir avfallet brent opp. Den varme dampen som kommer av forbrenningen veksles i en stor varmeveksler. Varmeveksleren varmer opp et arbeidsmedium som strømmer i isolerte rør ut til forbrukerne, som kan bruke denne varmen til å varme opp bolig, varmt tappevann og for eksempel gatevarmeanlegg. Etter at energien i arbeidsmediet er blitt brukt strømmer den i et tilsvarende rør tilbake til varmesentralen som varmer det opp på nytt. (Statkraft Varme, u.å.)

Det er også mulig å produsere elektrisitet ved en fjernvarmesentral av betydelig størrelse. Dette kalles et kraftvarmeverk og fungerer på den måten at damp i anlegget hentes først opp til temperatur og trykk for varmekraftverk, så gir det en del av energien til en dampturbin som driver en elektrisk generator. Deretter sendes det varme arbeidsmediet eller vannet ut på fjernvarmenettet slik at det kan varme opp boliger og andre bygg. (Rosvold, 2021c)

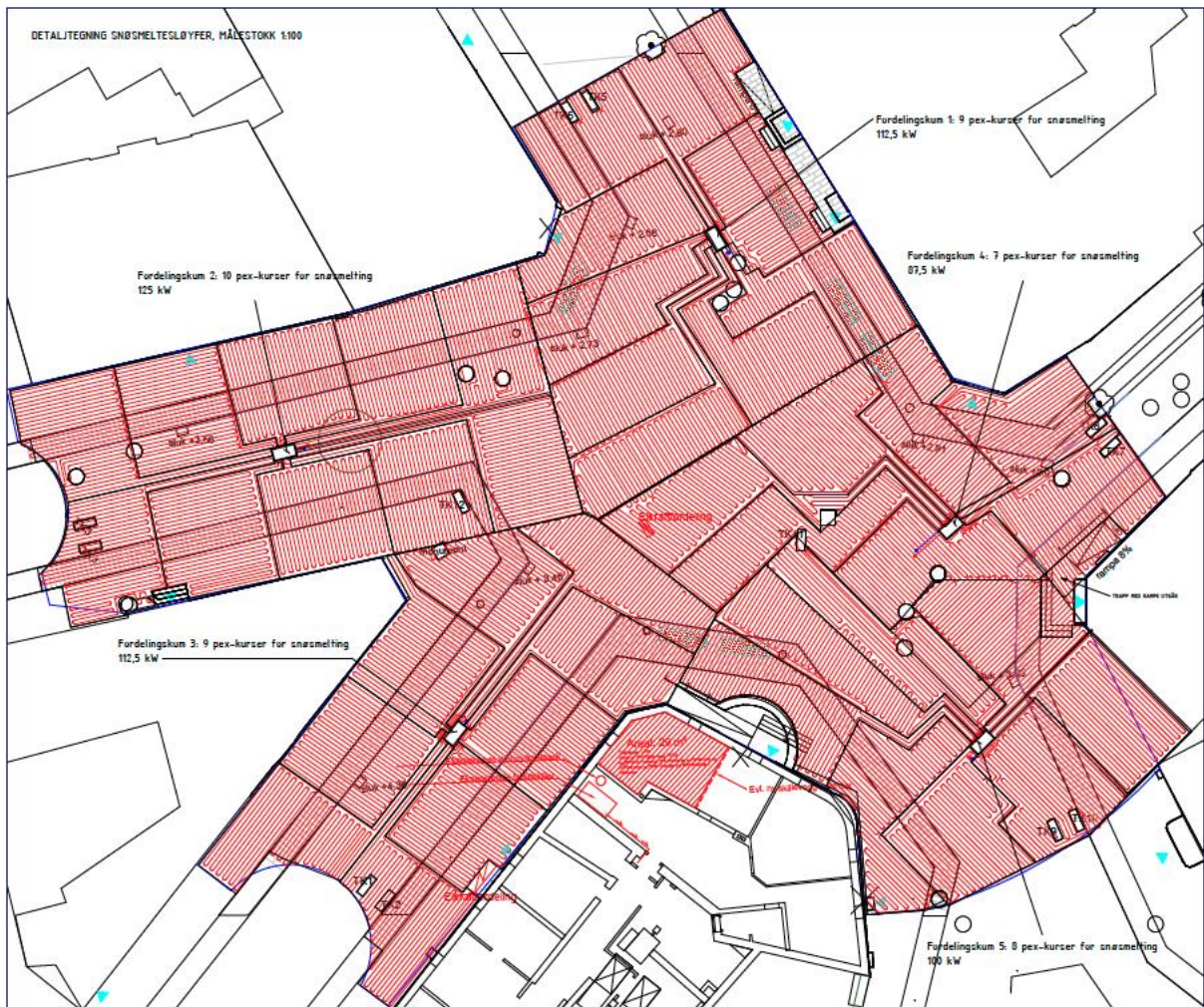
I Norge er det bygget fjernvarmeanlegg i 92% av byer som har innbyggertall på mer enn 10000. Det er Hafslund Varme i Oslo, Statkraft Varme i Trondheim og BKK i Bergen som er de største leverandørene av fjernvarme. Netto produksjon av fjernvarme var 6200 GWh. Av dette var det omtrent halvparten som kom fra avfallsforbrenning. (Rosvold, 2021d)

2.3.1 Område med varmekabler

I Harstad er det per i dag lagt opp til gatevarme i et areal på 1700 kvm slik som vist på figur 3 i rødt. Under bygging av dette gatevarmeanlegget ble det installert en varmeveksler og et system som var noe overdimensjonert i forhold til et areal på 1700 kvm. De la opp til en økning fra 1700 kvm til 2100 kvm på sikt, og valgte derfor å installere et større system da byggingen startet. Det ved å installere en varmeveksler på 2,5 MW. Dette området vil da ikke behøve brøyting av snø, da fjernvarme vil ta seg av all smelting av snø. (Nordahl. J, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022) Figur 2 viser et oversiktsbilde fra Google maps av Harstad sentrum. Deler av området i gult er Rikard Kaarbøs plass som omfatter gatevarmeanlegget.



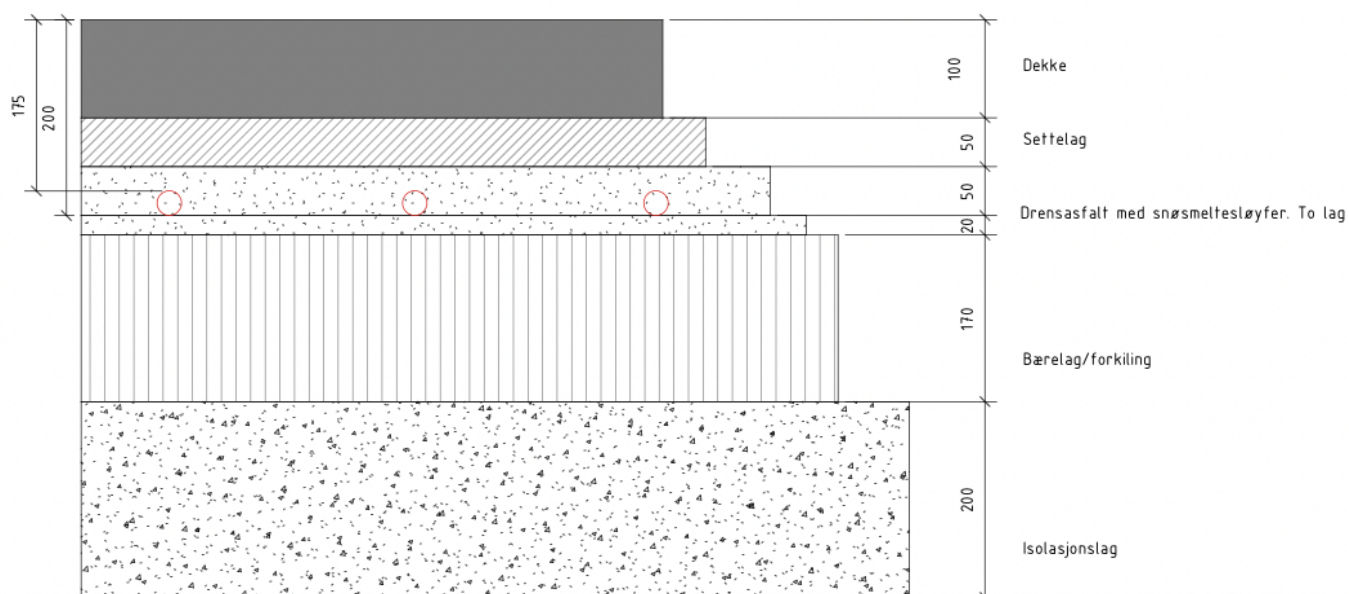
Figur 2 - Kart over Harstad (Google maps, mai. 2022)



2.3.3 Bakkens oppbygning

I henhold til den dokumentasjon mottatt fra Statkraft er oppbyggingen under bakken delt inn i 6 lag. Hvis vi starter på bunn, er det et isolasjonslag på 200 mm. Dette legges nederst for å unngå at varmen går ned i bakken, og heller opp til gaten den skal varme opp.

Over dette isolasjonslaget legges et bærelag/forkiling på 170 mm. Deretter to lag med drengasfalt med snø smelte sløyfer. Drenering er svært viktig for at anlegget skal kunne fungere tiltenkt. Disse er på henholdsvis 20 og 50 mm. Deretter kommer et settelag på 50 mm, etterfulgt av et dekke på 100 mm. Det vises av illustrasjon at bunn på snø smelte sløyfer ligger 200 mm under bakken, mens toppen er 175 mm under bakken. Snø smelte sløyfene er da 25 mm i diameter. (Nordahl. J, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022)



Figur 5.

Oppbygging av bakke. (Nordahl. J, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022)

Oppbyggingen av bakken har mye å si for hvor godt varmen blir utnyttet. Det er ønskelig at så mye av varmen for mulig går opp til overflaten, da det er denne varme overflaten som skal sørge for at det ikke legger seg snø på bakken. Varme fra et varmt reservoar vil trekkes mot kulde. Drivkreftene for dette kommer av temperaturdifferansen man har mellom arbeidsmediet og materialet som omringer det. (Helseth, 2022a)

For at dette skal fungere tiltenkt er det altså viktig med god isolering under varmerør. Dette er gjennomført på Rikard Kaarbøs plass, ved at de har gjort en grundig oppbygging, som vist på figur 5. Isolasjonslaget på 200 mm i bunn hindrer varme fra fjernvarmesentral går tapt nedover i bakken. (Pedersen, L, B. Personlig kommunikasjon. Mars 2022) Det er rimelig å anta at hvis varmesløyfer ble lagt rett under asfalt uten noen form for isolasjon ville anlegget ha prestert dårligere, og mye varme kunne gått tapt.

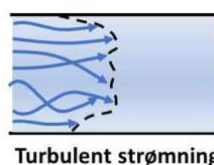
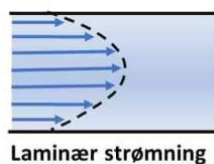
2.3.4 Strømning i rør

Gatevarmeanlegg består av et arbeidsmedium som sirkulerer i rør under bakken. Arbeidsmediet har en høy temperatur og vil gi fra seg varme mens den går gjennom systemet. (Statkraft Varme, u.å.) I rør er det to forskjellige typer strømninger, laminær og turbulente strømninger. En laminær strømning er en strøm av for eksempel vann som følger hverandre i ulike lag, uten at de forstyrrer hverandre i en betydelig grad. Ser vi derimot på turbulente strømninger er dette en strøm av en væske som beveger seg i stor hastighet samtidig som de interagerer med hverandre på tvers av lag. Man kan si at de har tilfeldige og uforutsigbare baner. Denne type strømning er noe som gir lav viskositet på væsken og skaper store friksjonskrefter. Reynoldstallet vil være høyt, og slitasjen på rørkonstruksjonene vil bli større. (Helseth, 2022a)

Beregning av hastighet:

$$\frac{V}{A} = \frac{V \times 4}{\pi \times di^2}$$

u	$V/A = V \times 4 / \pi \times di^2$	[m/s]
u	Hastighet	[m/s]
V	Volumstrøm	[m ³ /s]
A	Tverrsnitts areal	[m ²]
di	Indre rørdiameter	[m]



Figur 6. Illustrasjon av laminær og turbulent strømning (Helseth, 2022b)

2.3.5 Varmefluks

Varmefluks kan beskrives som overføring av termisk energi fra et område som er varmt, til et område som er kaldt. Selve drivkraften bak forflytningen av varme kommer av at varme vil trekkes mot kulde. (Helseth, 2022b) I denne oppgaven vil det si at den varmen som kommer fra fjernvarmeanlegget vil trekkes mot den kalde bakken vi skal forsøke å varme opp for å smelte snø. For å kunne lede varmen til det kalde reservoaret er det ønskelig at materialet som omringer varmesløyefene har en høy konduktivitets faktor. Ved at materialet har høy konduktivitet vil det kunne varmes opp raskere. Beregninger for varmekraft benytter Fouriers lov: $q = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$ (Helseth, 2022b).

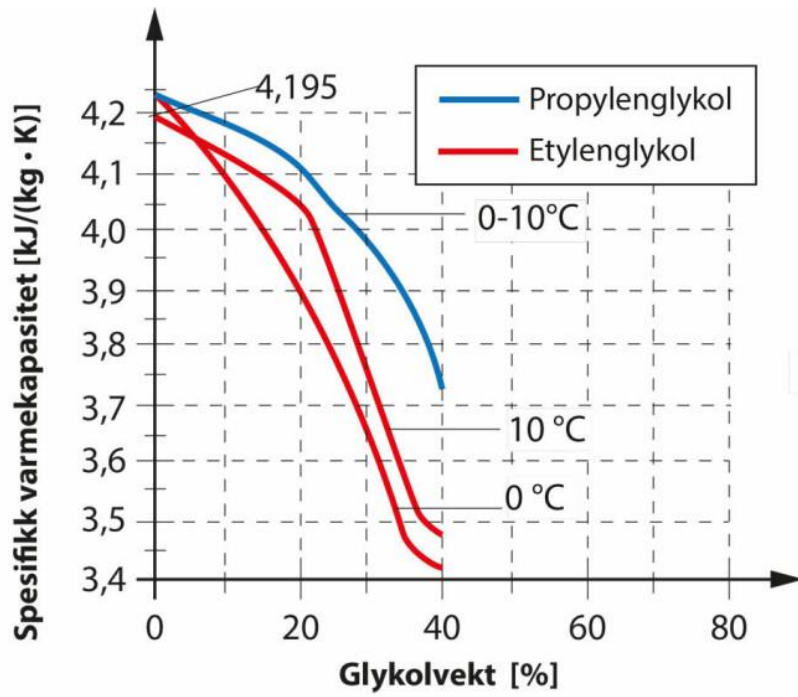
Beregning av varmefluks

$$q = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

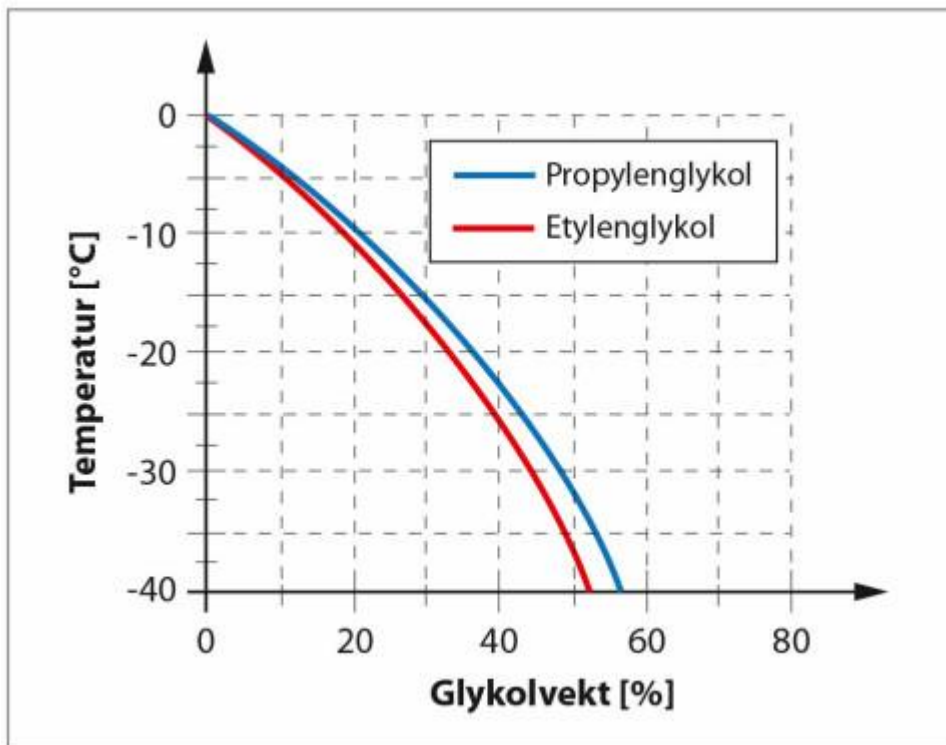
q	Varmefluks	[Wm ²]
k	Termisk konduktivitet	[Wm·K]
ΔT	Temperaturdifferanse	[K]
Δx	Tykkelse	[m]

2.3.6 Arbeidsmedium

Da fjernvarmenettet bestå av hovedsakelig vann i rør er det viktig at man tar med i betraktningen at Norge er et land med mye kaldt vær, spesielt vinterstid. Det er da essensielt at vi velger oss et godt arbeidsmedium til å fylle disse rørene med hensyn til frost. Glykol er et arbeidsmedium som er godt egnet til bruk i gatevarmeanlegg da det har et høyt kokepunkt, og et lavt frysepunkt. Det som skjer når man blander glykol i vannet er at arbeidsmediet får en lavere spesifikk varmekapasitet, heretter kalt (C_p), enn det ville hatt om det bare var vann. Dette kan vi se av figur 7. Når C_p synker vil det være nødvendig med en større volumstrøm for å kompensere og få like god varmeoverføring som hvis den kun hadde vært rent vann. (Novema Kulde AS, 2014a)



Figur 7. Spesifikk varmekapasitet ved ulike glykolvekt. (Nemitek, 2018a)



Figur 8. Frysepunkt ved ulike glykolvekt. (Nemitek, 2018b)

Vi kan av grafen se at ved økende prosentandel av glykol i blandingen vil frysepunktet senkes. Ved 30% glykol og 70% vann vil vi ha et frysepunkt på mellom -15 og -17 grader celsius. I tabellen under ser vi også hvordan en 30% glykol andel vil påvirke systemet. Vi får en frostsikkerhet på -17°C, +8% økning i vannmengde og +18% økning av pumpetrykk eller trykkfall. (Novema Kulde AS, 2014b)

2.3.7 Korrigering for etylenglykol

Andel %	Frostsikkerhet	Økt vannmengde nødvendig	Økt trykkfall %
10%	-5°C	+2%	+6%
20%	-10°C	+4%	+12%
30%	-17°C	+8%	+18%

Tabell 1. Korrigering for etylenglykol. (Novema Kulde AS, 2014c)

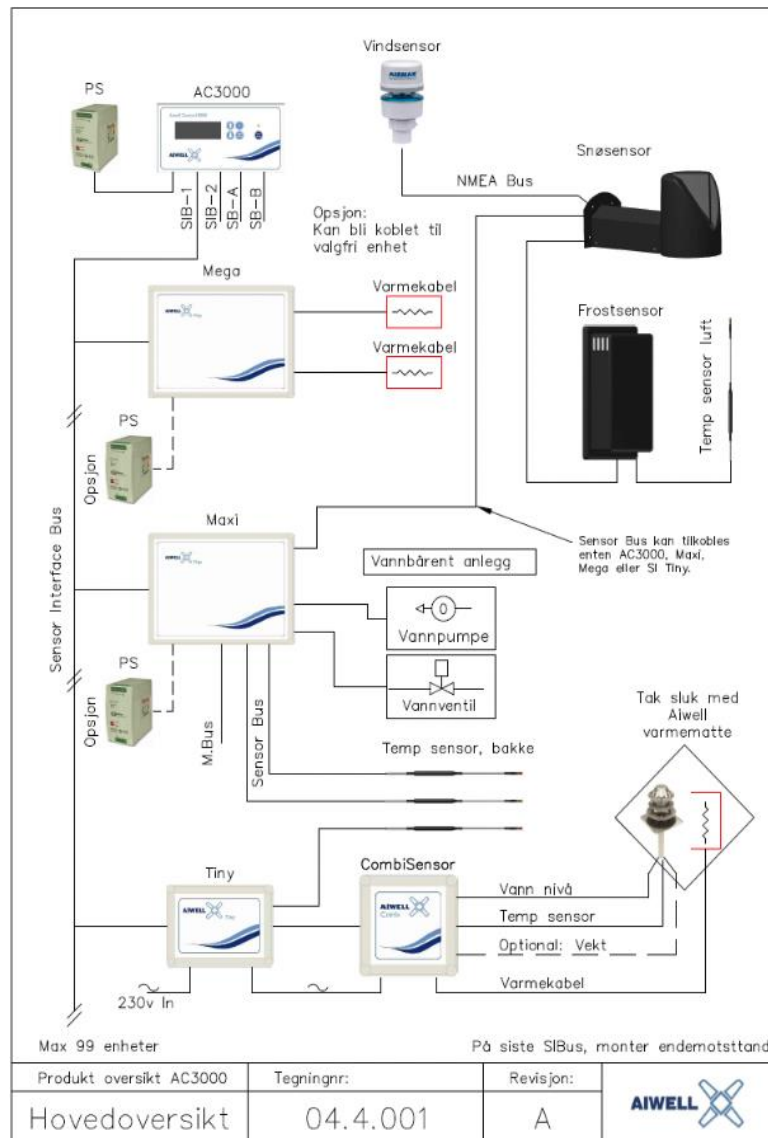
2.3 Regulering

2.4.1 Aiwell - sensor system

“Aiwell AS (etablert i 1992) er et målrettet norsk firma som tilstreber å bruke minimalt med energi for å løse is- og snø-problemer som på flate tak, takrenner/nedløp, gatevarme og undervarme på kunstgressbaner for å nevne noe.” (Aiwell, u. å.a)

Aiwell leverer sensorer og komplette løsninger for regulering av for eksempel et gatevarmeanlegg. Ved hjelp av sensorer og snø sniffer styres anlegget på en slik måte at bakken blir varmet opp ved behov. Det er denne løsningen, med Aiwell Control 3000 som blir benyttet på torget i Harstad. De kan enten starte anlegget på bakgrunn av preaksepterte temperaturer eller manuelt av operatør. Pådraget kan endres etter forholdene. Kommer det mye snø og det allerede er is på bakken vil det være nødvendig med et større prosentvis pådrag, slik at man får fjernet snø og is. (Aiwell, u. å b) Anlegget i Harstad styres som sagt med informasjon fra sensorer og følere. Det vil si at hvis det kommer store mengder nedbør i form av snø, så vil det ta noen timer, og i enkelte tilfeller en til en og en halv dag før torget igjen er snøfritt. (Pedersen, L, B. Personlig kommunikasjon. Mars 2022)

Figur 9 viser de ulike komponentene som omfattes av Aiwell sin reguleringsløsning. Vindsensor, snø sensor, frostsensoren og temperatursensoren er essensielle komponenter for drift av anlegget. Alt styres av kontrollenheten ved navn AC3000. (Nordahl, J, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022)



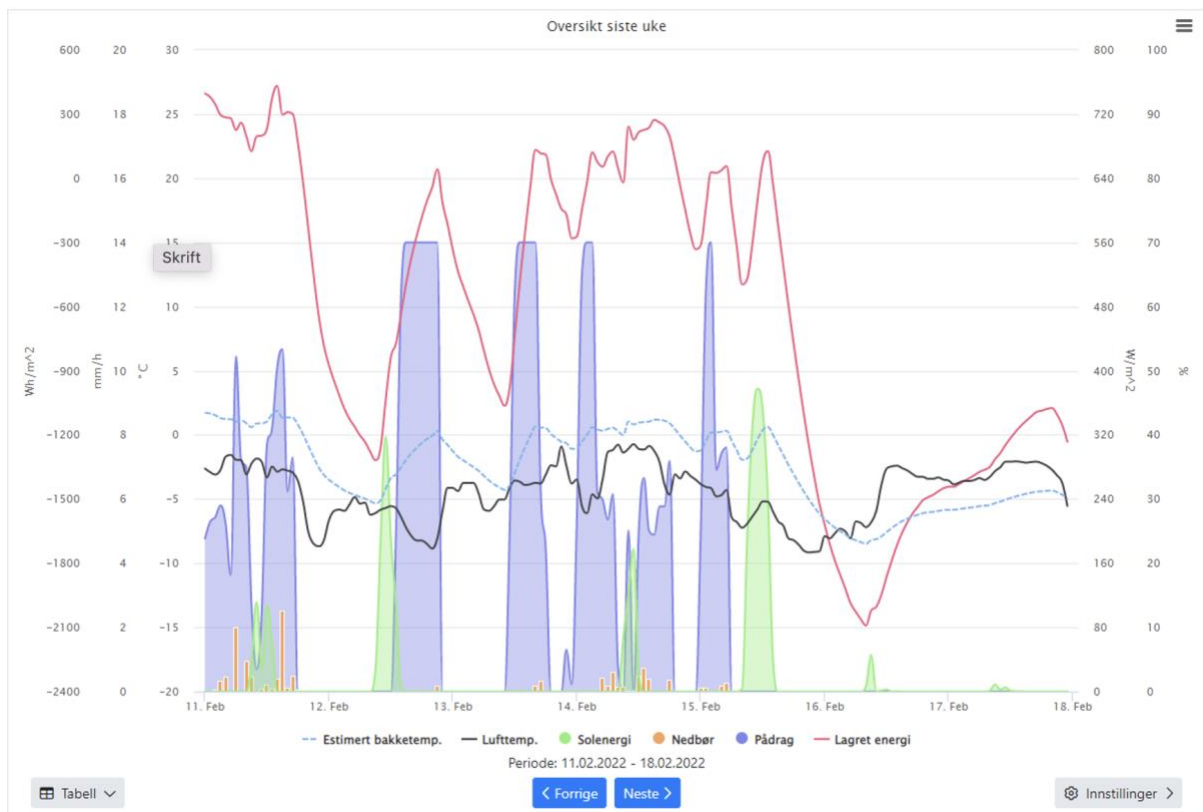
Figur 9.

Produktoversikt Aiwell 3000. (Nordahl, J, personlig kommunikasjon, 01. mars 2022)

2.4.2 Guard Automation- StreetSmart

Guard Automation er et norsk selskap som har utviklet en programvare ved navn Street Smart. “Street Smart er en sky basert tjeneste som beregner det til enhver tid mest energieffektive varmepådraget til ditt snøsmelteanlegg. Beregningen baserer seg på nøyaktig lokasjon, nåværende og fremtidig værforhold samt en digital tvilling av anleggets termodynamiske egenskaper. Street Smart inkluderer en lokal styringsenhet som omsetter skytjenestens anbefaling til et signal tilpasset det aktuelle varmesystemet.” (Guard, u. å.). Med denne informasjonen kan de styre pådraget av varme i et gatevarmeanlegg. De bruker værmelding som et verktøy for å starte forvarming av bakken, slik at når snøen faller holder bakken en temperatur på pluss grader celsius. Dette fører til færre energitopper, og heller et jevnt pådrag. Det positive med en slik måte å styre et gatevarmeanlegg på er at man ikke behøver sensorer på det aktuelle arealet. Man vil også ved hjelp av internett kunne sitte hvor som helst i verden og styre anlegget. Monterer man i tillegg kamera kan man overvåke og følge med at snøen smelter som planlagt. (Bøe. N. Personlig kommunikasjon mars, 2022)

Figur 10 er et utklipp fra Guard Automation sin simulering med bruk av StreetSmart. Utklippet er for en uke, mellom 11 og 18 februar. Her kan vi lese av forskjellige parametre som inngår i den helhetlige vurderingen av hvordan systemet skal styres. Blå stiplet linje viser den estimerte bakketemperaturen. Svart heltrukket linje viser lufttemperatur. Grønn graf viser hvor mye solenergi bidrar til snøsmelting. Oransje graf viser nedbør som er forventet. Blå graf er pådraget, altså når gatevarme anlegget er i drift. Rød heltrukket linje viser den lagrede energien i bakken. Vertikalt på høyre og venstre side kan man lese av hvor mange kW de ulike parameterne bidrar til det totale forbruket i anlegget. Alle disse verdiene er viktige for en mest mulig økonomisk og best mulig drift av anlegget. Det skal nevnes at dette kun er en simulering, som av Guard Automation er gjennomført basert på de opplysninger de har mottatt fra forfatterne av oppgaven. Det tas forbehold om at simuleringene kunne sett annerledes ut dersom StreetSmart skulle blitt benyttet som styring av anlegget på Rikard Kaarbøs plass. (Bøe. N. Personlig kommunikasjon mars, 2022)



Figur 10. Skjerm bilde fra StreetSmart (Bøe. N. Personlig kommunikasjon mars, 2022)

2.4.3 Hastighet og delta T for varme

Beregning av varmestrøm

$$Q = V \cdot \times \rho \times cp \times \Delta T [W]$$

Q	Varmestrøm	[W]
$V \cdot$	Volumstrøm	[m ³ /s]
ρ	Massetetthet	[kg/m ³]
cp	Spesifikk varmekapasitet	[J/kg·K]
ΔT	Temperaturdifferanse Tur-Retur	[K]

For å få best mulig benyttelse av varme er det viktig å se hvor mye arbeid som tilføres og hvor mye varme som forlater systemet. Dette kalles en COP - Coefficient of performance. Formelen for COP kan skrives slik:

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Q = varme [kW]

W = arbeid [kW]

Ved høyere hastigheter vil vi trenge mer arbeid for å flytte fluidet i rørene. Vi må derfor ha mer arbeid for å gi samme varmemengde sammenlignet med lavere hastigheter. Ved lavere hastigheter får vi et problem med fordeling av varme. Ved lave hastigheter vil mye av varmen bli gitt i starten av sløyfen mens man i slutten vil få lavere varmegivning.

2.5 Økonomisk teori

2.5.1 Nytte-kostnadsanalyse

I en nytte-kostnadsanalyse vil man prøve å tallfeste nytte effektene av å benytte gatevarme for snøsmelting. I denne analysen vil man ta for seg alle kostnader ved utbygging og drift. Man vil så regne ut nytteverdien gatevarme anlegget vil tilføre. Det vil være et poeng å også gjennomføre en nytte-kostnadsanalyse av å benytte tradisjonelle metoder for fjerning av snø. Dette for å forme et sammenlignings grunnlag for drøfting. (Sirnes, Stoltz, Nilsen, 2021)

2.5.2 Kostnader behandling

Ved fall på is og snø vil man kunne pådra seg ulike typer brudd skader som behøver behandling og/eller operasjon.

Et hoftebrudd kan ha en pris på mellom 800 000,- NOK og 1 000 000,- NOK to år etter skaden. Kostnadene er knyttet til hjemmebasert omsorg, rehabilitering og sykehjem. Dette er ofte en skade som forekommer hos eldre som faller. (Hektoen, 2014a. s.25)

Kostnadene man kan forvente er knyttet til følgende instanser:

Sykehusopphold

- Operasjonskostnader
- Kostnader ved kontroll på poliklinikk
- Nye innleggelser
- Rehabilitering i spesialhelsetjenesten
- Etterbehandling ved mindre lokalsykehus og/eller medisinsk senter

Kommune

- Korttids- og langtidsopphold på sykehjem
- Hjemmebaserte tjenester inkludert hjemmesykepleie, praktisk bistand og innsatsteam
- Rehabilitering i kommunehelsetjenesten v/sykehjem med rehabiliteringsenhet
- Fysioterapi – og ergoterapitjenester i hjemmet, samt treningsgrupper

Andre

- Visitt hos fastlege
- Fysioterapi på privat fysikalsk institutt
- Matombringing og trygghetsalarm

(Hektoen, 2014b. s.25)

Det ble i 2011 utgitt en artikkel i Bergens Tidende som satte søkelys på kostnader ved vanlige brudd. I 2011 var kostnader for et underarmsbrudd ca. 20 000 kroner og et ankelbrudd ca. 35 000 kroner. I artikkel ble det nevnt kostnader for overtid og kostnader på grunn av utsetting av andre operasjoner. I denne oppgaven ser vi vekk fra disse kostnadene, og tar for oss kostnader knyttet til operasjon av bruddet og sykepenger fra NAV. (Lindberg, 2011)

2.5.3 Kostnader sykemelding

Etter et brudd i ankelen sier helsedirektoratet følgende:

- En uke sykmelding er nødvendig uavhengig av arbeidets art, på grunn av smerter og medikamentbruk, men alle tilstander må vurderes individuelt.
- Fire uker er tilstrekkelig for mange ved ukomplisert forløp og godt tilrettelagt arbeid.
- 12 uker ved fysisk krevende arbeid.

(Helsedirektoratet, 2016)

Lengde på sykemelding vil variere basert på pasientens type arbeid og yrke. Fysisk krevende arbeid der ankelen er en viktig del av kroppens funksjon til å utføre arbeidet vil føre til lengre sykemeldingsperiode. En person som jobber på hjemmekontor vil trenge mindre, og i noen tilfeller ingen sykemeldingsperiode. (Helsedirektoratet, 2016)

Når man er sykemeldt, mottar man sykepenger. Arbeidsgiver vil betale de første 16 kalenderdagene fra og med første sykefraværsdag. Etter dette vil NAV utbetale sykepengene. Sykepenger betales som dagpenger, der man tar utgangspunkt i gjennomsnitt av lønnen de siste tre årene og ganger med 1/260. Denne summen er summen man mottar pr. dag man er syk. Helg regnes ikke med. (Lov om folketrygd, 1997. §8-12)

I tabell 2 er det illustrert hvem som betaler for hva, og til hvilke tidspunkt. Utgangspunktet for sykepenger beregninger basert på ulike årslønner. Videre benyttes gjennomsnittslønnen i Norge som er 609 480 kroner i året. (Statistisk sentralbyrå, 2022a)

	300 000,-		500 000,-		609 480,-		6 G = 638394,-	
DAG	Arbeidsgiver	NAV	Arbeidsgiver	NAV	Arbeidsgiver	NAV	Arbeidsgiver	NAV
1-16	1153,-	0	1923,-	0	2344,-	0	2455,-	0
17-260	0	1153,-	0	1923,-	0	2344,-	0	2455,-

Tabell 2. Kostnader ved sykemelding. (Statistisk sentralbyrå, 2022b)

2.5.4 Fall på glatt føre som fører til skader

De fleste fall skader skjer i boliger. Ser vi på fall knyttet til utvendig ferdsel ser vi at 14,8 prosent av alle fall skjer på vei, gate, fortau, gang og sykkelvei. Dette er ulykker som ikke klassifiseres som trafikkulykker. Tabell 3 viser ulykker i denne kategorien fordelt på ulike aldersgrupper. (Helsedirektoratet, 2021a, s.12)

Alder	>20	20-39	40-59	60-79	80+	Total prosent	Antall
Ulykker prosent	8,7	20	18,9	18,9	8,6	14,8	10 149

Tabell 3. Fallulykker fordelt på aldersgrupper. (Helsedirektoratet, 2021b, s.12)

Det er dobbelt så mange fallulykker på gangfelt om vinteren enn sommeren. Hele syv av ti ulykker skjer i vinterhalvåret, og seks av ti ulykker kommer av at personen sklir på glatt føre. Dette er en analyse fra Oslo, det kan derfor variere noe, men er fortsatt et godt utgangspunkt for videre beregninger. (Sundfør, Bjørnskau, 2016, s.2)

Prosentvis årsak knyttet til fallulykker av fotgjengere er illustrert i tabell 4 under.

Årsaker til fallulykke	Prosent
Snø og is	74,0
Fortauskanter	9,5
Hull, asfaltkanter, grus	6,2
Hinder	6,1
Hunder	1,2
Annet	3,0
Totalt	100

Tabell 4. Årsaker til fallulykke. (Øvstedal, Brembu, 2021a)

Det ble i en undersøkelse regnet ut til at samfunnskostnadene av fallulykker for personer over 65 år tilsvarer rundt 250 millioner kroner. Ved en reduksjon på 10 prosent vil tiltaket spare 25 millioner kroner. (Øvstedal, Brembu, 2021b)

2.5.5 Andre økonomiske konsekvenser

I en nytte-kostnadsanalyse vil det være mange ulike poster man skal ta med. I denne analysen er det flere som ikke kommer til å bli benyttet eller prioritert grunnet begrenset ressurser og mangel på reliabel data. Noen av de kostnadene er nevnt i avsnitt her.

2.5.6 Økt ferdsel på torget

Når det blir glatt antar vi at det er flere som holder seg hjemme. Dette gjelder spesielt eldre eller andre med nedsatt funksjonsevne. Dette ettersom sannsynligheten for fall og konsekvensene er for store til at de er villig til å ta risikoen og benytte torget. Ved at man investerer i et snøsmelteanlegg vil man kunne fjerne all snø, noe som fører til et mer brukervennlig torg. Dette kan igjen føre til økt benyttelse av torget i vinterhalvåret. Dette er vanskelig å regne seg frem til og vil derfor ikke bli inkludert i analysen.

2.5.7 Universell utforming

“Universell utforming er en langsiktig nasjonal strategi som skal bidra til å gjøre samfunnet tilgjengelig for alle og forhindre diskriminering. Universell utforming bidrar til likeverd og like muligheter.” (Universellutforming.no, 2019. s.2). Vi antar at økt søkelys på universell utforming sammen med flere gode argumenter vil bidra til positiv tankegang rundt investering av et gatevarmeanlegg. Ved å kunne tilby et is og snøfritt offentlig areal i bykjernen er det rimelig å anta at dette er positivt for personer med mobilitetsvansker og personer som benytter seg av både elektriske og manuelle rullestoler.

2.5.8 Ekstra kostnader knyttet til vedlikehold i vinterhalvåret

Ved snøfall vil personer dra med seg snø og mer skitt inn i bygninger. Dette antar vi vil føre til ekstra kostnader for vasking for å opprettholde rensligheten. Denne ekstra kostnaden er vanskelig å tallfeste og vil være veldig forskjellig i de ulike byggene. Det ble i møter med Statkraft uttrykt av de ansatte på kontoret deres i Trondheim at på vinterstid blir det dratt med mye salt og møkk inn i kontorlokalene. (Nordahl J, Personlig kommunikasjon. mars 2022) Ved et tørt, is- og saltfritt område utenfor kontorlokalene antas det at dette ikke ville vært et like stort problem. På grunn av for stor variasjon er det ikke hensiktsmessig å inkludere denne kostnaden i regnestykket. Denne kostnaden gjelder også for hver enkelt leietaker og ikke som en samfunnskostnad.

Kapittel 3: Metode

3.1 Varme

Varmeberegninger vil bli utført med bakgrunn i tabeller og formler. Ettersom teori ikke alltid samsvarer med praksis, vil det være noe feilmarginer i utregningene. Vi ser også at forskjellige kilder har litt variasjon i de ulike tallene. Dette er normalt, og vi vil derfor oppgi hvilken tall vi benytter. Forskjellene er som oftest små og vil være forsvarlig å benytte i denne rapporten.

I analysen regner vi ut varmebehovet for å smelte snøen som faller. Dataene er innhentet av Norsk Klimaservicesenter som viser snødybde og andre historisk vær data. Vi velger å benytte snødybde for å beregne variasjon dag for dag for å finne snøfallet i den perioden. En alternativ periode ville vært å se på nedbør i perioder temperaturen er mindre enn 2 grader og deretter regnet nedbørsmengden om til snømengde. Vi velger å benytte variasjon i snødybde ettersom det er vanskelig å definere om det er snø eller regn som faller ved temperaturer rett over null grader. Vi mener at variasjonen av snødybde på grunn av dette vil være mer nøyaktig for å finne snømengden som har falt og lagt seg. Det er viktig å være bevisst på at det i løpet av en dag kan variere snødybde og at over tid kan den nederste snøen bli komprimert og gi oss mindre snøfall enn det som reelt var. Vår oppfatning er fortsatt at det å benytte variasjon av snødybde er et bedre alternativ for beregninger i denne oppgaven.

Grunnen til at vi velger å benytte teoretisk utregningsmetoder er på grunn av vanskeligheter med å gjøre eksakte målinger. Vi er lokalisert i Trondheim, men ser på snøsmelteanlegg i Harstad. Grunnet begrenset ressurser er det ikke mulig å reise opp til Harstad for å utføre målinger, vi ser heller ikke på det som nødvendig ettersom vi har mottatt god data fra Statkraft om systemet.

All informasjon fra det faktiske anlegget er hentet fra energiguiden, som er Statkraft sin egen oversikt over forbruk på alle sine anlegg.

Snøsmelteanlegget i Harstad benytter sensorer og et Aiwell system. Vi sammenligner dette med en simulering fra Guard Automation som er basert på informasjon vi har funnet gjennom kontakt med Statkraft som er ansvarlig for drift av systemet. Ettersom det er en simulering, vil den være noe annerledes enn det som hadde vært regulering i praksis. Vi velger å fortsatt bruke simulering ettersom det er den metoden for å kunne se forskjeller over samme tidsperiode

I optimaliserings beregningene våre, når vi lager følsomhetsanalyse over hvor mye varme som blir benyttet ved variasjon i delta t og hastighet benytter vi antagelser om forholdet. I et varmerør vil man ved en økning i hastigheten få en reduksjon i delta t.

3.1.1 Gatevarme

For best mulig benyttelse av varme vil oppbyggingen av bakken være viktig. Vi ser på ulike hastigheter for å se hvordan man best mulig kan benytte varmen i systemet. Forskjell i tur og returtemperatur på gate anlegget gir et bilde av hvor mye varme som går fra væsken i røret og for å være systemet. Men på grunn av systemet størrelse vil vi måtte ha høyere hastighet for å kunne distribuere varmen over arealet. Ved høyere hastighet vil delta t være lavere. Simulering av systemet vil bli benyttet for å se på best mulig hastighet for å oppnå god nok distribuering og få høyest mulig delta t.

3.1.2 Regulering

Når vi sammenlignet de to ulike formene for regulering, ble det benyttet mye informasjon. Informasjon om energibruk, tidsbruk, kapasitet ol fikk vi fra Statkraft, da spesielt mye informasjon gjennom tilgang til energiguident. Energiguident er en nettside som loggfører hvor mye energi som brukes på de ulike fjernvarmeanleggene som Statkraft leverer fjernvarme til. Det ble også gitt informasjon som gjelder kapasitet på anlegget. Dette ble også levert av Statkraft.

Guard Automation gjennomførte en simulering for denne oppgaven. Den ble gjennomført på bakgrunn av informasjon de mottok fra gruppen. Følgende data ble tatt i betraktning under utarbeidelse av simuleringen.

- Navn og lokasjon for anlegget
- Størrelse på oppvarmet flate
- Størrelse på varmeveksler
- Estimat på oppvarmingstid
- Feiltoleranse
- Energieffektivitet
- Eventuelle andre spesielle krav

Ved hjelp av denne informasjonen ble det gjennomført en simulering som estimerte hvor mye energi anlegget ville brukt dersom den ble driftet av Guard Automation med StreetSmart. For å finne ut hvordan disse to ulike metodene for regulering fungerer i forhold til hverandre ble det valgt ut en uke med drift. Her kunne det fra energiguiden leses av når anlegget var i bruk, og hvor mange kWh som ble brukt. På samme måte ble samme uke fra Guard Automation tatt som utgangspunkt og verdier avlest. Disse dataene ble brukt, da de enkelt kan leses av og kontrolleres opp mot hverandre. Deretter ble det satt opp en tabell som viser kWh brukt, og prisen dette ville medføre gitt 0,75 kr/kWh. Avslutningsvis ble det også satt opp grafer for å grafisk fremstille resultatene på en fin måte.

3.1.3 Økonomi

For at smelting av snø med gatevarme skal være en godt alternativ må vi analysere kostnader for å manuelt fjerne snøen, dette innebærer brøyting, strøing og andre utgifter tilknyttet dette. Dette vil være viktig for sammenligning med å smelte snøen. Vi vil også måtte gjøre en analyse av kostnader for et system. Når man bygger er et gatevarmeanlegg med egenskaper for å smelte snø får vi en stor engangs kostnad, deretter en løpende kostnad som går til drift av anlegget.

Etter beregninger av kostnader ved et snøsmelteanlegg tar man for seg nytte verdien et slikt anlegg gir. Det å momentant fjerne snø før den for lagt seg på bakken vil ha flere forskjellige positive fordeler som gjennom beregninger og anslag man kan gi en tallverdi på. Kostnad og nytte vil bli analysert for å se om nytten systemet gir til samfunnet kan rettferdiggjøre eventuelle merkostnader enn å benytte tradisjonelle metoder for å fjerne snø.

3.1.4 Samfunn

Vi vil i denne analysen ta for oss samfunnets påvirkning av snø og glatt føre. Vi vil basere oss på data fra ulike statistikk sentraler samt noe artikler og meninger. I samfunns beregningen er det vanskelig å finne presis og utfyllende informasjon. Denne delen av analysen vil derfor inneholde mer antagelser basert på artikler og offentlig informasjon. Det vil være større feilmarginer ettersom verifisering av informasjonen er vanskelig å oppdrive. Grunnet dette kan vi ikke gi et klart svar på de ulike tall verdiene, men vi ønsker å gi et anslag innenfor rimelighetens grenser. Når vi ser disse anslagene mot de økonomiske kostnadene, vil det derfor ikke være et klart svar.

Det er også vanskeligheter med å innhente data om omfanget av fallulykker, spesielt når man sammenligner brøyting med snøsmelteanlegg. Vi velger derfor å ikke gjøre en slik sammenligning. Men heller gi et anslag på fordelene med å fjerne snø og forhindre glatte gater.

Kapittel 4: Analyse

4.1 Varmebehov

4.1.1 Varme for å smelte snø

Vann har tre forskjellige former, fast, flytende og gass. Ved 1 ATM har vann frysepunkt på 0°C og kokepunkt på 100°C. For å smelte snø må vi få temperaturen over 0°C. Beregningene tar utgangspunkt i at snøen har 6 ulike temperaturer:

- -10°C
- -8°C
- -6°C
- -4°C
- -2°C
- 0°C

Deretter skal snøen varmes opp til 1°C.

I tabell 5 viser verdiene som er blitt benyttet i beregningene.

	Koking ved 1 ATM		Frysing ved 1 ATM		Veske ved 1 ATM		
	Normal koketemperatur (°C)	hfg (kJ/kg)	Normal frysepunkt	hif (kJ/kg)	Temperatur	Massetetthet kg/m ³	Cp (kJ/kg*K)
Vann	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22

Tabell 5. Faseoverganger og energi. (Cengel, Boles, 2015, s. 902)

Formelen som benyttes for å regne ut varmebehovet for å smelte 1 m^3 , gitt en massetetthet på 1000 kg/m^3 .

Vi regner ut varmebehovet for en faseovergang ved å benytte formelen for latent varme.

$$L = \frac{Q}{m_c} \Rightarrow Q = L \cdot m_c$$

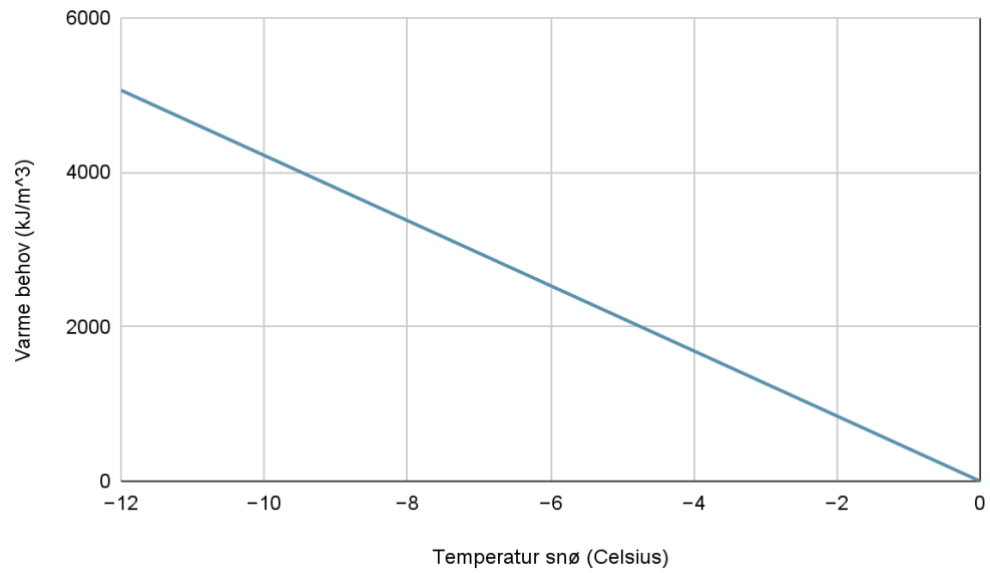
$$Q = 333.7 \frac{kJ}{kg} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} = 333.7 \cdot 10^3 \frac{kJ}{m^3}$$

Basert på beregningen må det en varme på 333 700 kJ/m^3 . Tilsvarende 92,694 kWh/m^3 . Dette er varmen som er nødvendig for å gjøre snøen om til vann.

Når vi regner ut energien for å varme opp snøen til 0 °C benytter vi formelen

$$Q = C_p \cdot m \cdot \Delta T$$

Figur 11 illustrerer varmen som er nødvendig for å øke temperaturen på snøen til 0°C.



Figur 11. Graf over nødvendig varme for å varme snø til 0 °C.

Omgjøring fra kJ til kWh:

$$J \cdot \frac{h}{s} = Wh$$

Tabell 6 er varmebehovet i kWh per m³ som trengs for å øke temperaturen fra temperaturen i kolonnen til 1°C.

Temperatur (°C)	kWh/m ³
0	0
-2	0,1172
-4	0,3516
-6	0,5861
-8	0,8205
-10	1,055
-12	1,5238

Tabell 6. Varmebehov for økning av temperatur.

Tabell 7 viser nødvendig varme for å varme snøen til smeltepunktet, 0 °C.

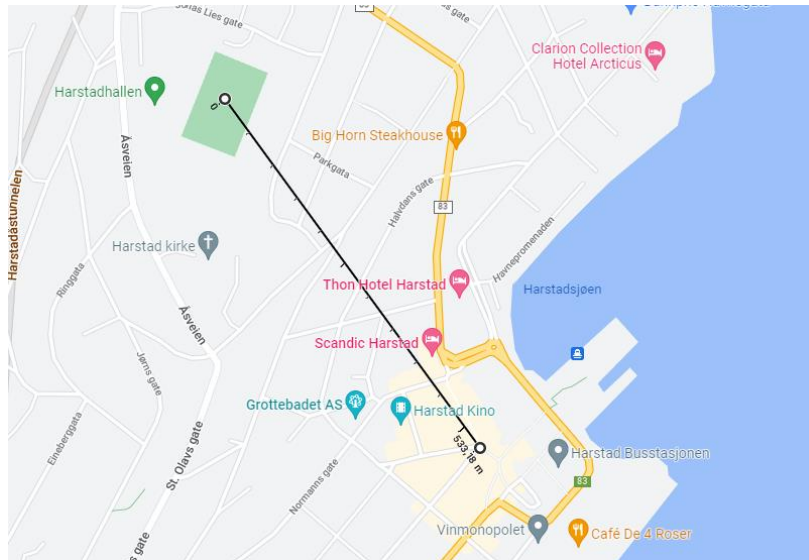
Når vi legger sammen de to tidligere beregningene vil man finne varmebehovet for å varme opp og smelte snøen. Varmebehovet for å smelte snøen er derfor gitt i tabell 7.

Temperatur	Varme til frysepunkt	Varme for faseovergang	Totalt varmebehov (kWh/m ³)
0°C	0	92,694	92,694
-2°C	0,1172	92,694	92,8112
-4°C	0,3516	92,694	93,0456
-6°C	0,5861	92,694	93,2801
-8°C	0,8205	92,694	93,5145
-10°C	1,055	92,694	93,749
-12°C	1,5238	92,694	94,2178

Tabell 7. Oppvarmingsbehov for smelting av snø.

4.1.2 Snømengde på Rikard Kaarbøs plass

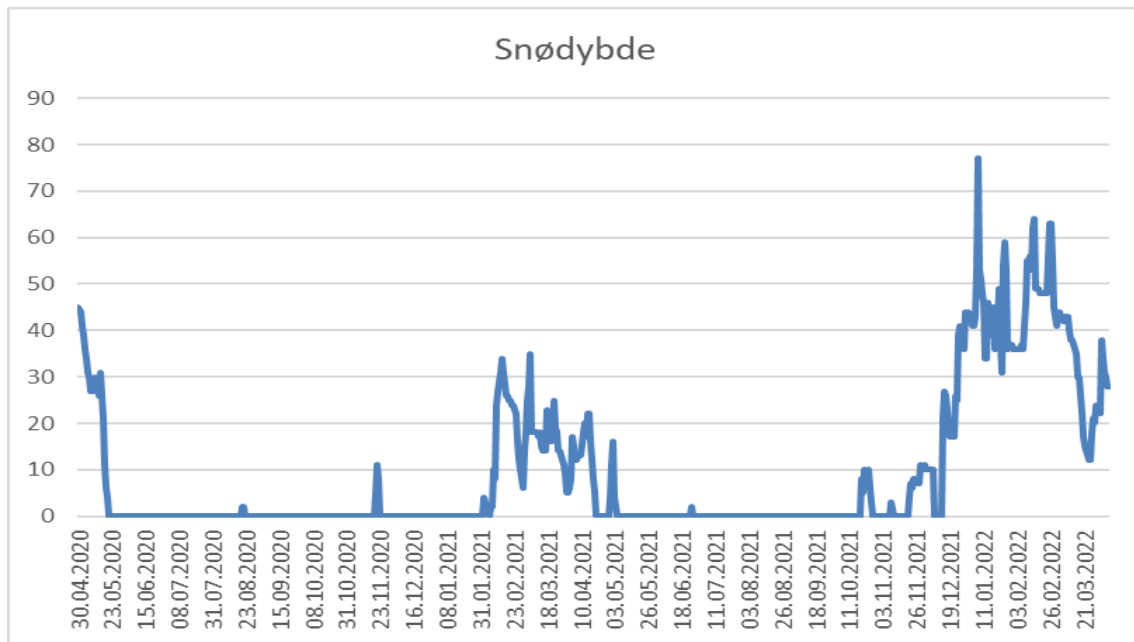
Hos norsk klimaservicesenter kan man finne data fra historisk vær på Harstad stadion. Harstad stadion ligger 533 meter i luftlinje fra Rikard Kaarbøs plass. Det antas da at været vil være tilsvarende på begge steder. Figur 12 er en visuell fremstilling av avstanden mellom værstasjonen på Harstad stadion og Rikard Kaarbøs plass.



Figur 12. Avstand mellom Harstad stadion og Rikard Kaarbøs plass. (Google maps, Mai. 2022)

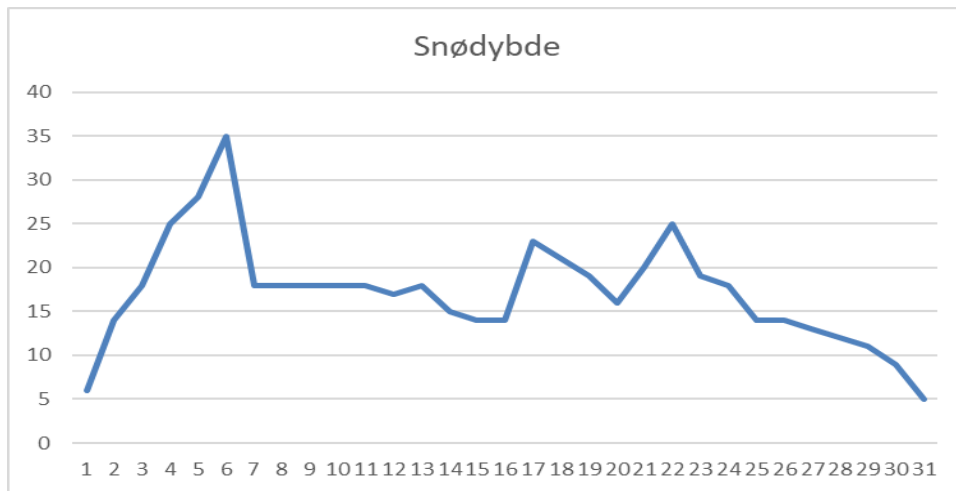
4.1.3 Varmebehov for å smelte snøen

Figur 13 illustrerer snødybde i Harstad mellom 2020 og 2022. Data er hentet fra norsk klimaservicesenter.

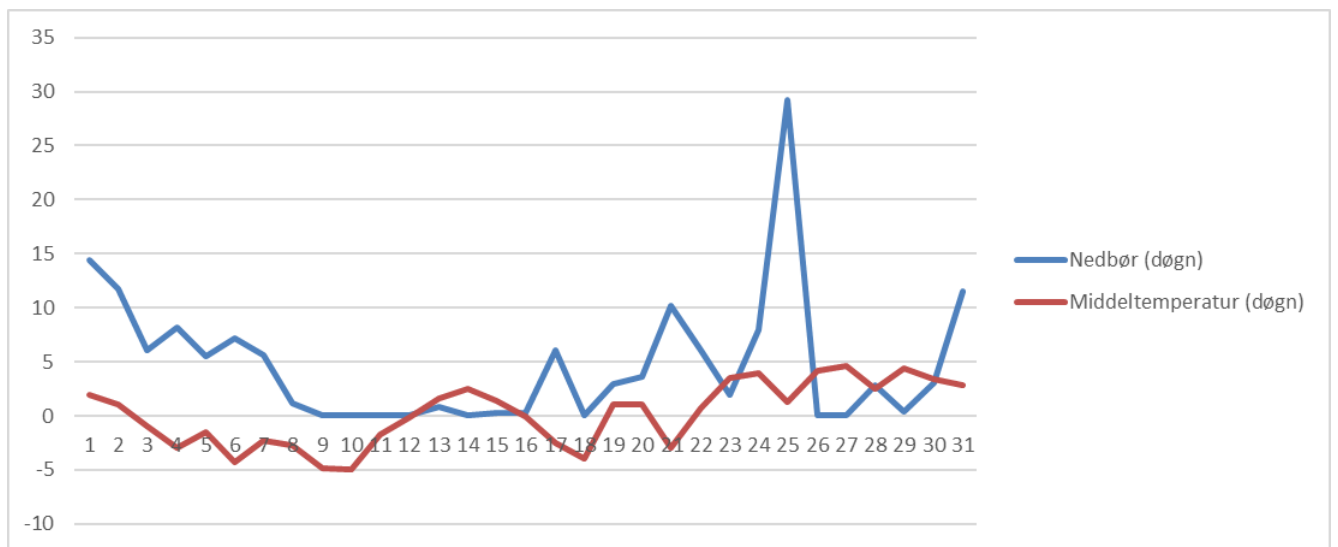


Figur 13. Snødybde (Norsk klimaservicesenter, u.å.)

Basert på tallene som er gitt fra norsk klimaservicesenter kan man regne ut varmebehovet for å smelte snøen en gitt måned. I figur 14 er snødybden i mars 2021 illustrert. I figur 15 har vi nedbørsmengden og middeltemperaturen.

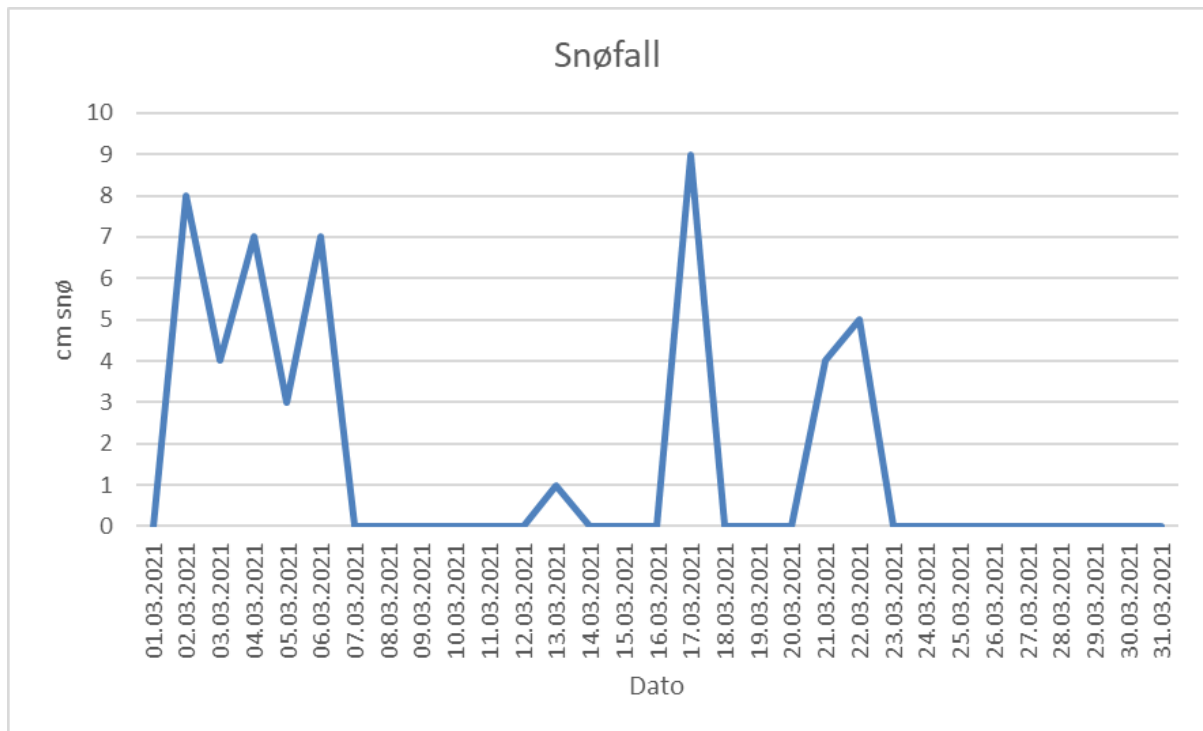


Figur 14. Snødybde mars 2021. (Norsk klimaservicesenter (u.å.))



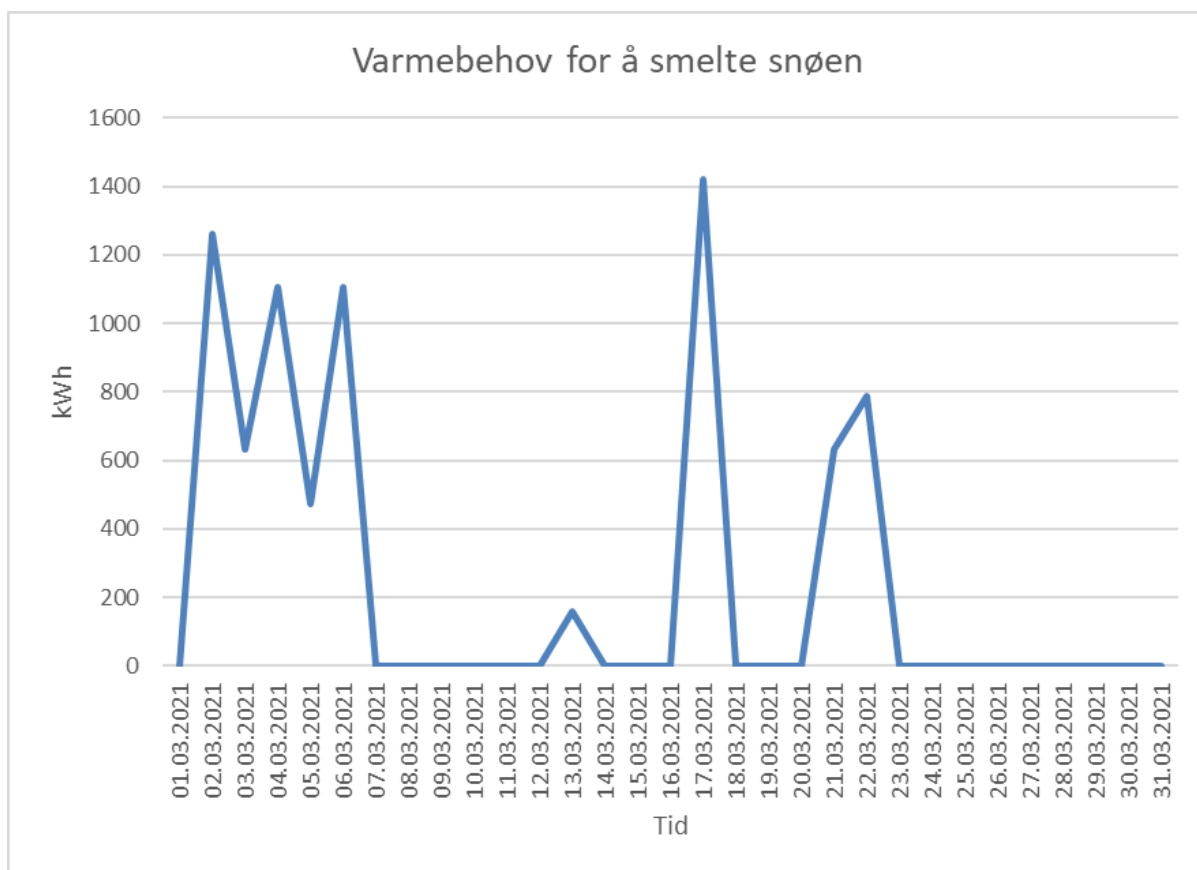
Figur 15. Middeltemperatur og nedbør (Norsk klimaservicesenter (u.å.))

Som vi ser illustrert i figur 16, er dybden snø målt i centimeter på Harstad stadion. Ved å bruke denne informasjonen kan man finne hvor mye snø som falt hver dag i mars måned ettersom snødybde er akkumulert over 1 måned.



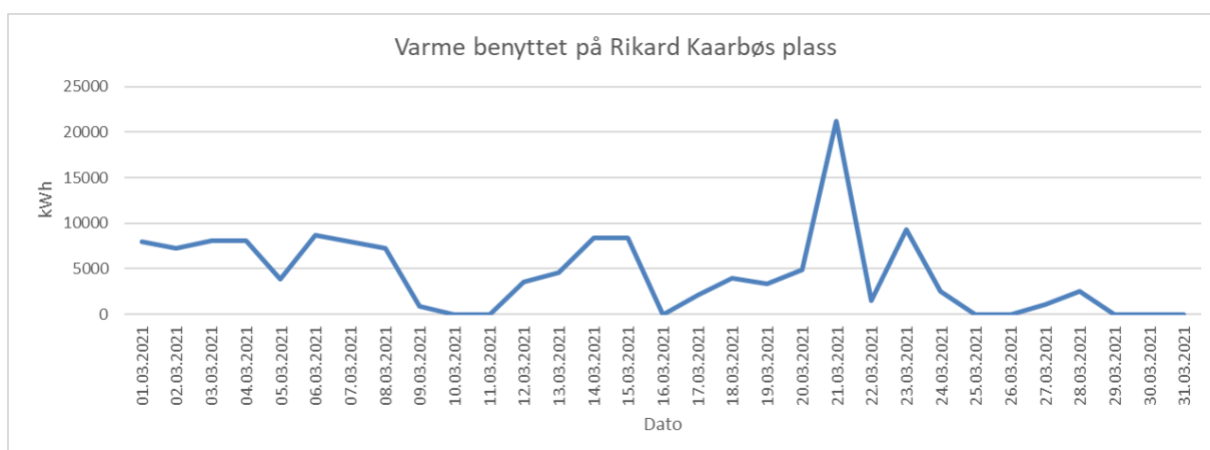
Figur 16. Utreget snøfall (Vedlegg 1)

Rikard Kaarbøs plass er 1700 kvadratmeter stor, og vi kan da regne ut hvor mange kubikk som falt av snø i mars måned. Basert på dagens gjennomsnittstemperatur har vi regnet ut varmebehovet for å smelte en kubikk. Denne informasjonen bruker vi til å regne ut dagsbehovet for varme for å smelte all snø som dette. Varmebehovet pr dag er illustrert i figur 17.



Figur 17. (Vedlegg 1)

I energiguiden kan vi finne hvor mye varme som faktisk ble benyttet. Dataen er illustrert i figur 18. Dette er kWh som ble benyttet dagene i mars 2021.



Figur 18. kWh benyttet ved Rikard Kaarbøs plass mars 2021. (Energiguiden, april. 2022)
(Vedlegg 4)

4.2 Sammenligning mellom styresystemer

4.2.1 Streetsmart simulering

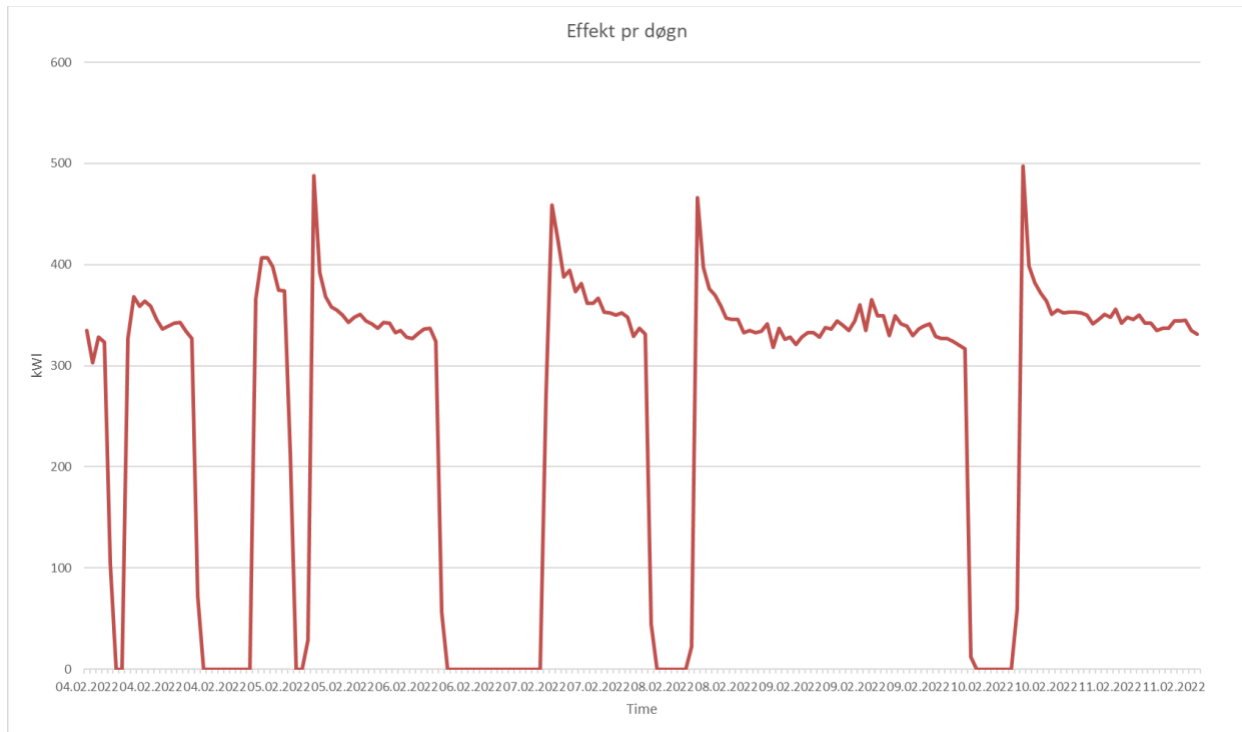
I figur 19 har Guard Automation gjennomført en simulering av varmen hvis man benyttet Streetsmart for regulering. Figur 19 illustrerer regulering med streetsmart i tidsperioden 4. februar 2022 til 11. februar 2022. Data for alle verdier ble mottatt fra Guard Automation. Disse ble benyttet under beregninger.



Figur 19. Skjerm bilde fra StreetSmart. (Bøe, N. Personlig kommunikasjon. 2022)

4.2.2 Regulering på Rikard Kaarbøs plass

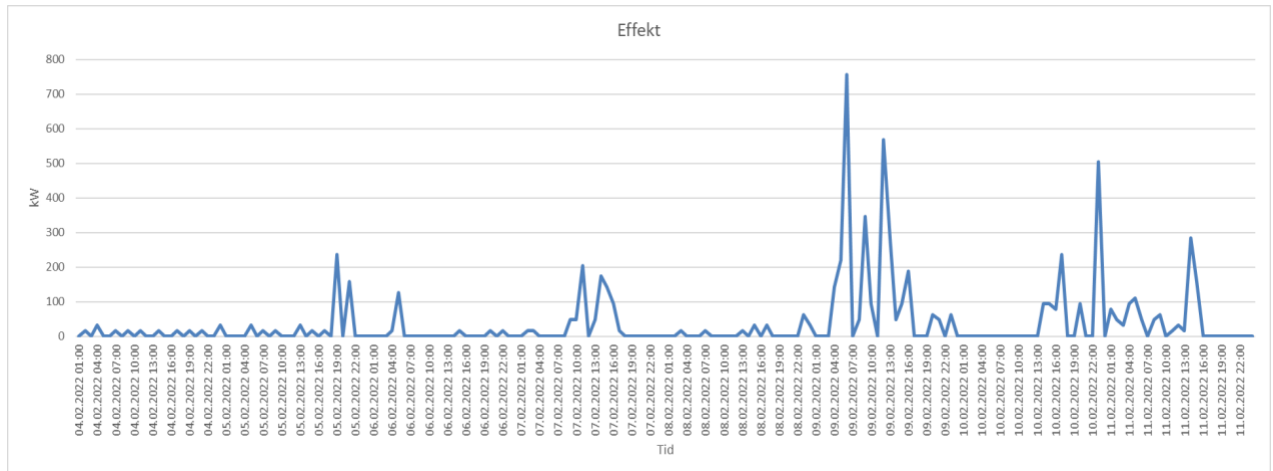
På Rikard Kaarbøs plass benyttes det Aiwell Control 3000 system med sensorer og snø sniffer for å regulere systemet. I figur 20 viser varme gitt fra systemet fra 4. februar 2022 til 11. februar 2022.



Figur 20. Effekt per. døgn. (Energiguident, april. 2022)

4.2.3 Varmebehovet basert på snømengde

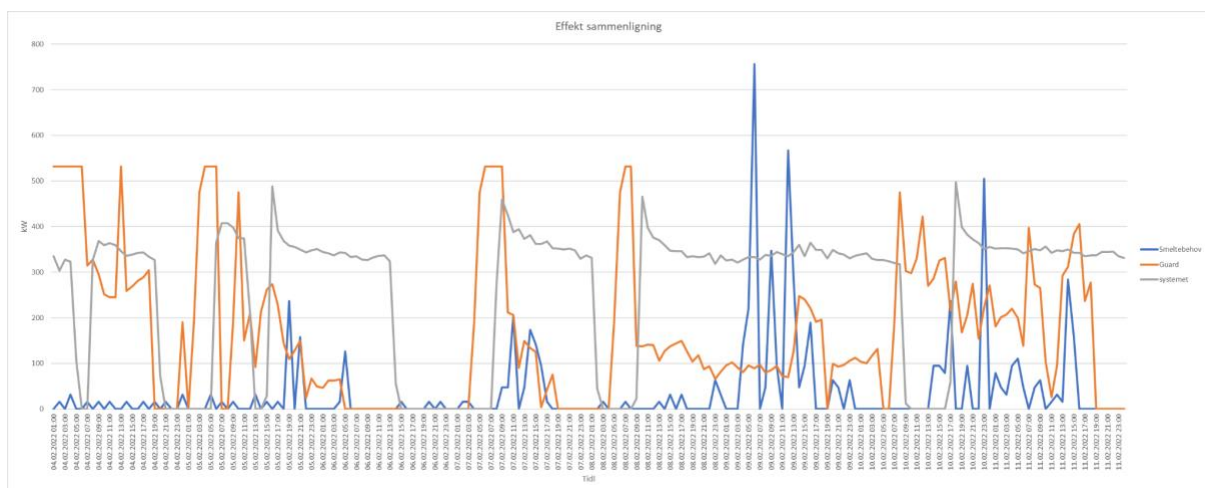
I figur 11 er det regnet ut effekten nødvendig pr. time for å smelte snøen som faller. Snø er utregnet ved å benytte forskjeller i snødybde.



Figur 21. Nødvendig effekt for å smelte dagens snøfall (Vedlegg 3)

4.2.4 Sammenligning

I figur 22 er det illustrert varmebehovet, simulering av regulering med streetsmart og faktisk forbruk på Rikard Kaarbøs plass der regulering blir praktisert med Aiwell Control 3000. Grafen er fra perioden 4. februar 2022 til 11 februar 2022. Blå graf viser beregnet smeltebehov. Oransje graf viser simulering med StreetSmart og grå graf viser den faktiske effekten som er benyttet.



Figur 22. Nødvendig effekt, Faktisk brukt effekt og StreetSmart estimert effekt (Vedlegg 6)

Det totale forbruket over den perioden er i tabell 8.

	Varme (kWh)
Varmebehov	6 997 kWh
Simulering Streetsmart	32 189 kWh
Rikard Kaarbøs plass forbruk	46 699 kWh

Tabell 8. Forbruk i kWh for gatevarmeanlegg.

Tabell 9 viser pris fra 4.februar til 11. februar, gitt en pris på 0,75 kr/kWh.

	Pris (kr)
Minimum	5248,-
Simulering Streetsmart	24 592,-
Rikard Kaarbøs plass	42 524,-

Tabell 9. Pris gatevarmeanlegg gitt 0,75 kr/kWh.

4.2.5 Beregninger varmemstrøm

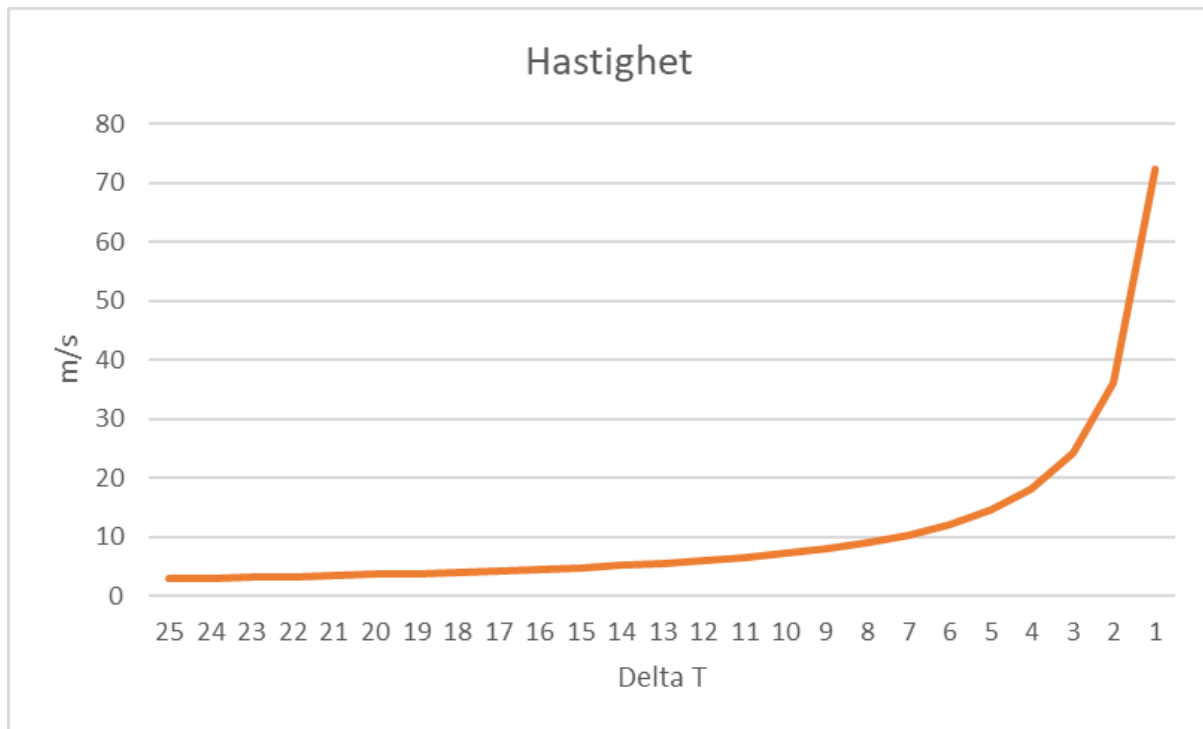
Beregning av varmemstrøm

$$Q = A \times u \times \rho \times cp \times \Delta T \text{ [kW]}$$

Q	Varmemstrøm	[kW]
A	Areal tverrsnitt	[m ²]
u	Hastighet	[m/s]
ρ	Massetetthet	[kg/m ³]
cp	Spesifikk varmekapasitet	[kJ/kg·K]
ΔT	Temperaturdifferanse Tur-Retur	[K]

I beregningene våre har vi et varmebehov på 360 kW, massetettheten er 1020 kg/m³, cp er 3,8856 og arealet er 0,13 m². Figur 23 viser forholdet mellom hastighet i rørene i forhold til delta T vi ønsker å oppnå. For å oppnå høyest mulig COP, ønsker vi mest mulig varme for minst mulig arbeid. I et snøsmelleanlegg vil COP bli definert av varmen ut og arbeidet vi legger til grunn. I denne beregningen er varmemstrømmen konstant på 760 kW. Mengde arbeid som kreves vil variere etter hvilken delta T. Høyere hastighet krever mer arbeid fra pumpen, mens lavere hastigheter krever mindre.

Basert på dette ønsker vi å oppnå høyest mulig delta T og lavest mulig hastighet i rørene.



Figur 23 - Hastigheten nødvendig ved ulike delta t for å oppnå en effekt på 760kW (Vedlegg 5)

4.2.6 Hva kan hindre en høyere delta T

Selv om vi i utgangspunktet ønsker høyest mulig delta T for høyest mulig COP er det andre faktorer som sier vi ønsker en lavere delta T. Dette enten i forhold til fordeling av varme i sløyfene, men også begrensninger i varmen vi kan få ut av systemet. Vi skal se på fordeling av varme.

Ettersom vi har et relativt stort areal med snøsmelleanlegg vil man trenge en lavere delta T for å forsikre oss om at nok varme rekker ut i slutten av sløyfene. Ved stor delta T vil forskjellene i sløyfen være store, vi må da enten ha for lite varme i slutten av sløyfen, eller for store varmemengder i starten. Vi får altså enten et utilstrekkelig varmestrøm eller lite effektiv bruk av varmen. En amerikansk leverandør sier at et delta T større enn 25 fahrenheit ofte resulterer

i ujevn fordeling av varme (Taco, INC (2015)). Det er viktig å presisere at dette kommer fra en leverandør og vil være basert på erfaringer.

For å gjøre fahrenheit til celsius brukes følgende formel;

$$(F - 32) \times \frac{5}{9} = C$$

$F = \text{fahrenheit}$

$C = \text{Celsius}$

Siden vi opererer med delta T, vil vi formelen bli omgjort til;

$$\frac{5}{9} \times \Delta F = \Delta C$$

I Celsius blir delta T = 13,9, eller rundt 14 grader. Basert på denne informasjonen burde hastigheten gitt kriteriene brukt en hastighet på 5,2 m/s.

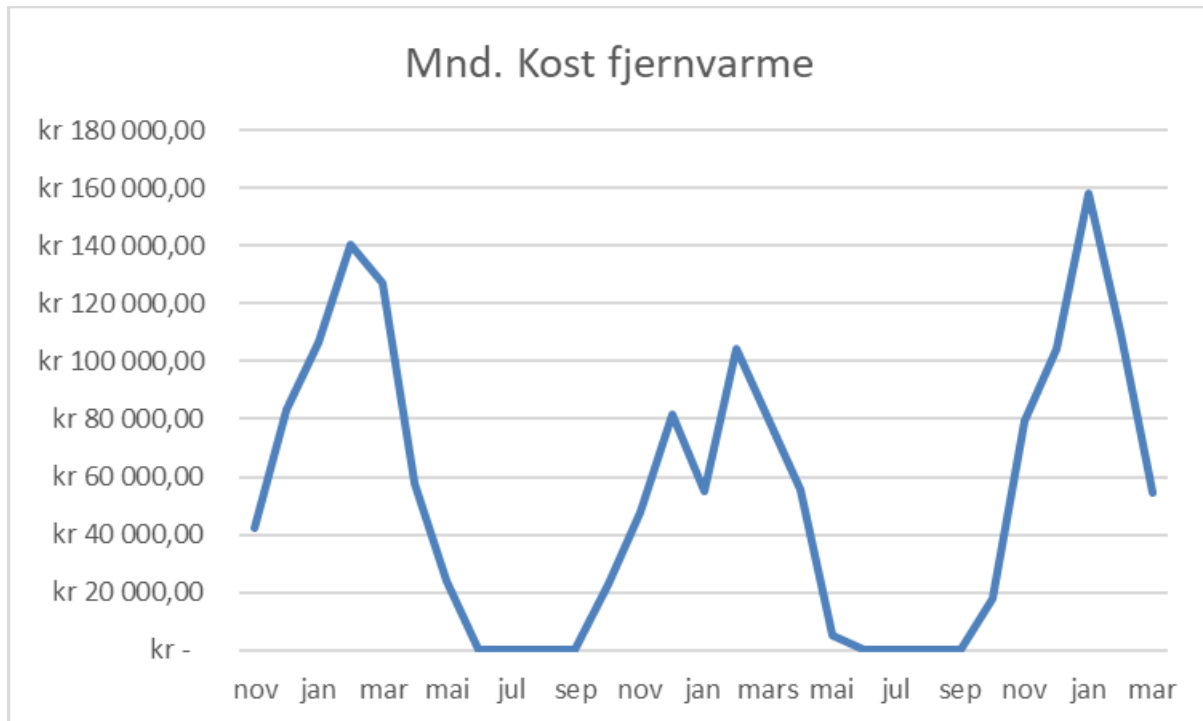
4.3 Beregninger økonomi

4.3.2 Engangskostnad for gatevarmeanlegg

Etter kommunikasjon med prosjektleder i Harstad kommune fikk vi oppgitt av utbygging i Harstad hadde en ramme på 35,4 millioner kroner. Innen denne prisen var det inkludert fjerning av eksisterende gatebelegg, fjernvarmesentral og teknisk rom. Sluttsummen for prosjektet ble 38,4 millioner. Videre benytter vi 38,4 millioner kroner som grunnlag for beregningene. (Fredly. F. E. personlig kommunikasjon, 11.mai 2022).

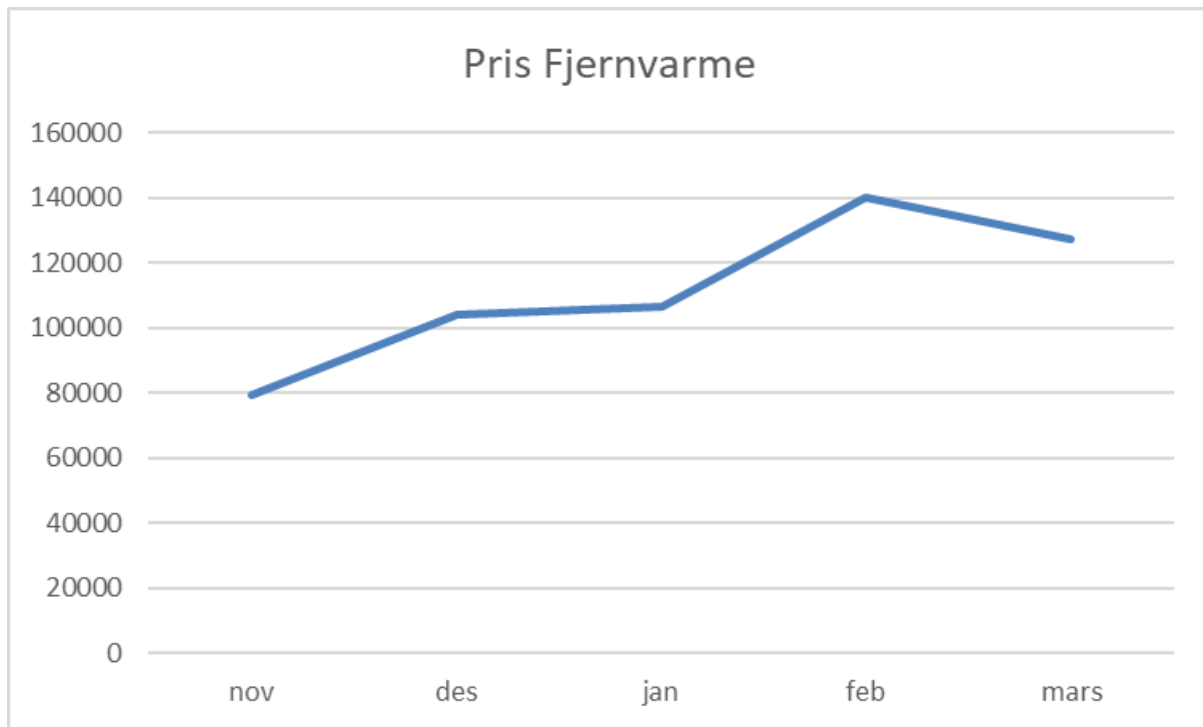
4.3.3 Kostnad drift

Kostnader til driften av anlegget er kostnader som varme fra fjernvarme og vedlikeholdskostnader. For gatevarme har Statkraft en fastpris på 0,75 kr/kWh, denne justeres årlig. Pris per. måned fra november 2019 til mars 2022 er illustrert i figur 27.



Figur 24. Månedlig kostnad fjernvarme

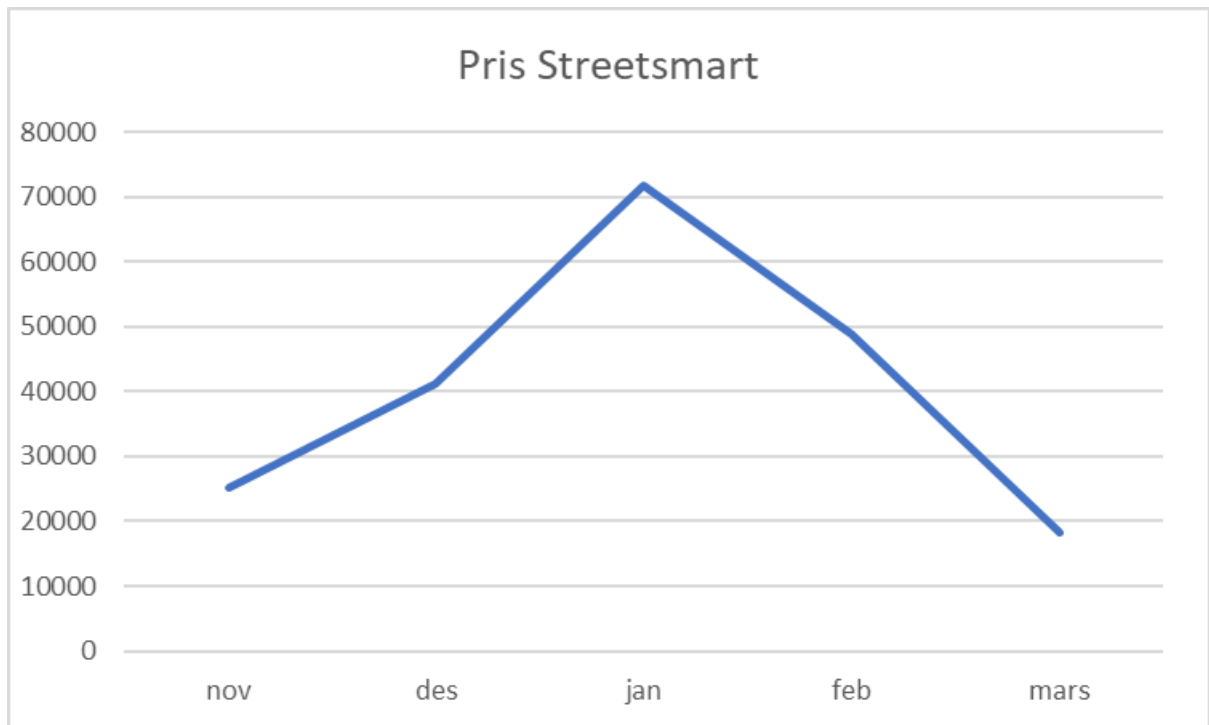
En sesong defineres fra november til mars. I figur 28 er prisen pr måned i perioden november 2021 til mars 2022. Totalt for perioden er 557 379 kroner.



Figur 25. Pris for varmen fra Rikard Kaarbøs plass (Vedlegg 4)

4.3.4 Kostnad med Streetsmart

I figur 29 er det illustrert kostnader basert på den simulerte varme bruken fra november 2021 til mars 2022. Totalt for perioden vil prisen for varmen være 205 318 kroner.



Figur 26. Estimert kostnader ved Streetsmart regulering (Vedlegg 10)

4.3.5 Kostnader brøyting, strøing, salting etc.

4.3.6 Direkte kostnader

Harstad kommune hadde i forbindelse med bygging av gatevarmeanlegg gjennomført en gjennomgang om kostnader knyttet til den tidligere løsning med brøyting. I tabell 10 er oversikten Harstad kommune hadde utarbeidet. I tabellen ser vi de ulike kostnadene knyttet til snørydding, strøing og feiing av Rikard Kaarbøs plass. Det som ikke kommer fram av denne oversikten er de kostnader som kommunen vil få når våren kommer, og all snø er borte. Det er vanlig at brøytebiler er årsak til skader på offentlig eiendom. Gjennom vinteren er det mye snø, og ikke alltid like lett å få øye på benker, blomsterpotter og fortauskanter når bakken er dekket i snø. Som følger av dette blir mye ødelagt. Dette fører med seg en del kostnader i utskiftning, reparering og arbeidstimer for kommunen. Det er ikke lett å tallfeste eksakt hva dette koster kommunen hvert år, men det er en sum som kommer på toppen av de vanlige driftskostnader. (Pedersen. L. B. Personlig kommunikasjon. 08. mars. 2022)

Tekst	Maskintype	enh	Ant enh	Enhetskostnad (kr.eks.mva)	Antall enh per sesong	Kostn per sesong	Merknad
Snørydding	Hjulmaskin	tv	3	1475	30	132 750	
Snørydding	Wille	tv	3	1475	30	132 750	
Snørydding	Lastebil	tv	3	1475	30	132 750	
Strøing	Wille	tv	1	1475	20	29 500	
Strøing	Wille	RS				15 000	Strøsand, stipulert
Grov Feiing	Wille	tv	2	1475	2	5 900	Mann og maskin

							inkl. natt tillegg
Fin Feiing	Sugebil	tv	2	3000	2	12 000	Sugebil, mann og maskin inkl. natt tillegg
SUM						460 650	

Tabell 10. Kostnader ved brøyting. (Fredly. F. E. Personlig kommunikasjon. 01.april.2022)

Ettersom denne kostnaden er gjeldende for et areal på 1 700 m² kan vi regne ut at kostnad pr. kvadratmeter er 270 kroner hver sesong.

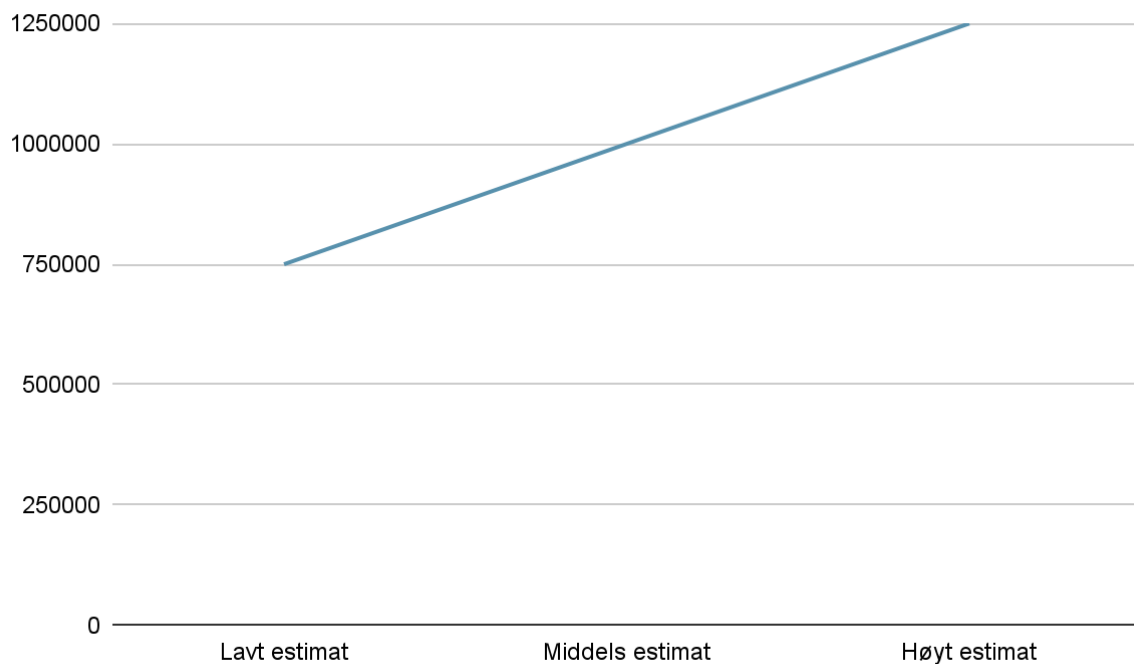
4.3.7 Snø behandling

Snø vil fungere som en svamp og ta opp forurensning. Trondheim og Oslo har derfor startet SMELT prosjektet som har som formål og finne nye gode løsninger for behandling av snø. Dette er et forskningsprosjekt som kan finne ny informasjon som kan være relevant å benytte i denne analysen. Da prosjektet er i en tidlig fase og ikke ferdig vil det dog ikke være mye informasjon å finne på dette tidspunktet.

I denne analysen vil vi gjøre et anslag for kostnadene som går til snø behandling. I tabellen under er det illustrert kostnader ved vannrensning av overvann ulike steder. Det er ikke tall for snø behandling. Men vi kommer til å gjøre et anslag basert på kostnadene i denne tabellen. Det vil derfor ikke være helt reelt, men ettersom formålet med begge rense metodene er å fjerne forurensninger fra samme stoff vil de kunne benyttes for å lage et anslag.

I ulike artikler har det blitt nevnt ulike kostnader knyttet til renseanlegg for snø. NRK skriver at renseanlegg for snø i Oslo koster i overkant av 20 millioner. (Klausen, D.A. & Andreassen, H. L. 17. april, 2018). Mens avisen Fremover sier at løsningen i Oslo har en modell som koster i hvert fall 30 millioner kroner. (Solstad, N. 02, februar, 2022) Begge disse utsagnene er kommentarer fra personer i bransjen, men som ikke direkte har noe med renseanlegg for snø i Oslo å gjøre. Tallene vil derfor ikke være reelle, men gir en pekepinn på hva fagpersoner i bransjen ser for seg kostnadene for et snøsmelteanlegg ligger på.

For å ta høyde for denne usikkerheten velger vi å benytte et intervall for kostnader. Intervallene blir mellom 15 og 35 millioner kroner. I figur 27 ser vi de ulike nivåene for kostnader som kan være den årlige driftskostnaden og etableringskostnaden fordelt på en levetid på 20 år.



Figur 27 - Estimert årlig kostnad for snø renseanlegg (Vedlegg 7)

4.3.8 Vedlikeholdskostnader

Ved tradisjonell snø fjerning påføres det skader på veier og infrastrukturen. Dette grunnet benyttelse av tunge kjøretøy som traktor og lastebil for å brøyte og fjerne snøen. Ved å benytte snøsmelteanlegg vil man ikke behøve å benytte slike kjøretøy og vi vil derfor få minimalt med vedlikeholds kostnader.

Harstad kommune har ikke konkrete tall på selve vedlikeholdskostnadene for Rikard Kaarbøs plass. I e-post korrespondanse sier Harstad kommune at de mener at vedlikeholdskostnadene for Rikard Kaarbøs plass er halvert. Ettersom dette ikke er utregnet verdi og man mangler data for å finne nøyaktig besparelse i vedlikeholds kostnadene vil det være stor usikkerhet til dette.

I Harstad kommune sin rapport har de illustrert en utgift på 95 kroner pr. kvadratmeter i vedlikeholdsutgifter knyttet til bolig drift. Ved å benytte 95 kroner pr. kvadratmeter får vi en total pris for Rikard Kaarbøs plass på 161 500 kroner i vedlikeholdskostnader. (Harstad kommune. 2022, 31. Mars) Selv om rapporten primært setter søkelys på boliger, er dette det mest relevante tallet som er mulig å oppdrive. Vi kommer til å benytte denne summen videre i oppgaven.

Ved å bruke denne kostnaden og deretter sier en 50 % besparelse ved å bruke fjernvarme. Får vi en besparelse på 81 700 kroner pr år.

Bildet under viser en typisk skade som kan oppstå ved brøyting. Bildet er tatt på Gløshaugen mellom lerkendalsbygget og realfagsbygget. Brøytebilen skyver unna snøen, og ødelegger samtidig denne risten som skal føre vann vekk fra gangfeltet. Dette er ingen stor skade og kan ganske enkelt fikses. Det man imidlertid må tenke over er kostnader knyttet til denne typer skader. Det krever at fagfolk kommer og gjennomfører en jobb, og vil antageligvis koste noen tusen kroner. Har man mange slike tilfeller og skader på uteområdet vil det føre til store kostnader på sikt.



Foto 1. Skade på uteområde som følge av brøyting. (Aas, B. Personlig kommunikasjon 2022)

4.4 Beregninger Samfunn

4.4.1 Skader og ulykker som følge av glatt føre

Det vil være vanskelig å definere hvor mange som faller og skader seg på torget som direkte konsekvens av glatt føre. Tabellen under viser stipulerte kostnader ved tre ulike skader som kan forekomme ved fall på glatt føre.

Skade	Operasjon/behandling	Sykepenger	Totalt	Merknad
Brudd underarm	ca. 20 000,-	11 530,- (to uker)	31 530,-	
Brudd ankel	ca. 35 000,-	11 530,- (to uker)	46 530,-	
Brudd lårhals	ca. 1 000 000,-		+1 000 000,-	Eldre dør ofte i løpet av to år etter en slik operasjon

Tabell 11. Kostnader ved ulike brudd.

Vi ser betydelige kostnader knyttet til ulike skader ved glatt føre. Ved å fjerne snø når den faller med gatevarme vil man kunne forhindre fall ulykker knyttet til glatt føre. Hvor mye som kan bli spart i løpet av et år er vanskelig å beregne og man ville trenge mer detaljert data om ulykker på Rikard Kaarbøs plass.

4.4.2 Benyttelse av torget

Rikard Kaarbøs plass har lenge blitt kritisert for dårlig fremkommelighet og for svak universell utforming. (Arvola, 2020) Ved å benytte gatevarmeanlegg vil benyttelsen av Rikard Kaarbøs plass mest sannsynlig øke. I denne rapporten vil vi ikke ta inn i beregningene den økt omsetningen og samfunnsøkonomiske fordelene denne økte pågangen fører til.

4.5 Kost-nytte analyse

4.5.1 Total kostnad snøsmelleanlegg

Utbygging av snøsmelleanlegget kostet 38,4 millioner kroner. Et snøsmelleanlegg vil ha en lang levetid, vi velger å sette 20 år for å gjøre beregninger. I realiteten kan et anlegg være lenger. 38,4 millioner fordelt over de 20 årene gir en årlig kostnad på 1,92 millioner kroner.

Drift av systemet kostet med en fjernvarmepris på 0,75 kroner/kWh var i 2020 607 765,5 kroner. I 2021 var kostnadene 501 099 kroner. Dette som følger av at mindre varme ble benyttet i 2021 kontra 2020. Det kan være flere grunner til at det ble brukt mindre varme i 2021. En av årsakene kan være at innregulering av anlegget tar lang tid. Når anlegget er ferdig innregulert vil man mest sannsynlig få en mer økonomisk drift, både arbeidsøkonomisk og kostnader for brukt varme. Det kan også skyldes forskjell i snømengde som kom de to årene. Vi velger å benytte den største kostnaden i denne analysen.

Totalt får vi da en årlig kostnad på 2 527 765 kroner. Gitt en levetid på 20 år for snøsmelleanlegget og samme årlig varme forbruk som i 2020. Dette er også med forbehold om at prisen på varmen holder seg konstant på 0,75 kroner pr. kWh.

4.5.2 Total kostnad tradisjonell fjerning av snø

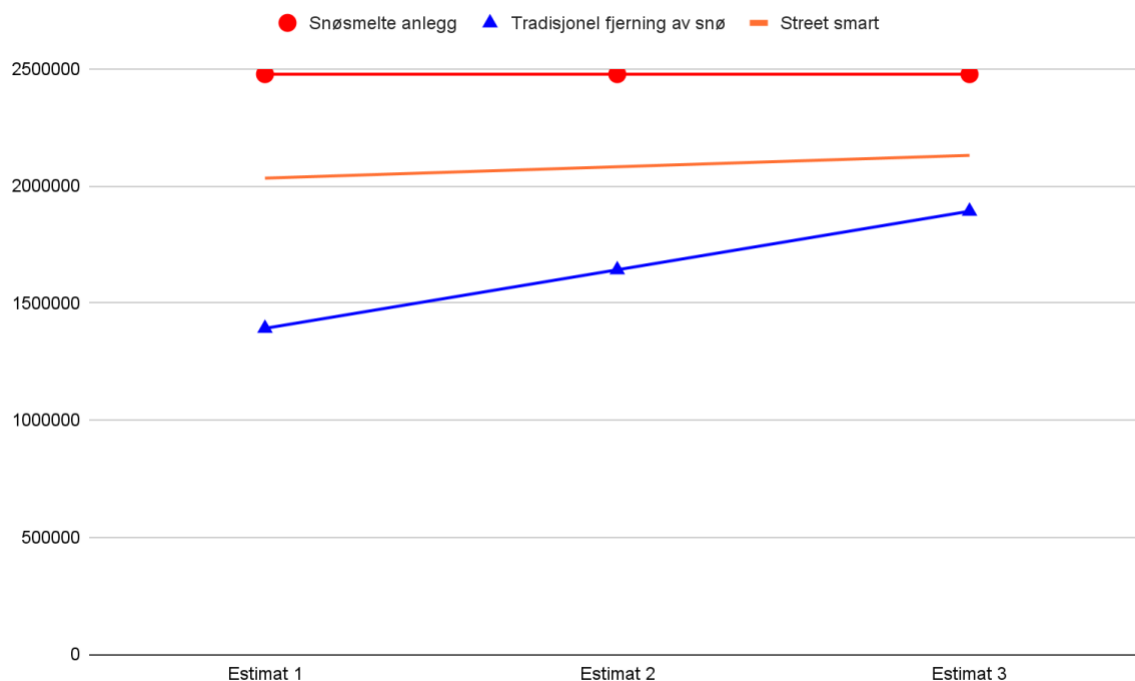
Årlig kostnad for brøyting ble illustrert over i tabell 6, der totale kostnader for brøyting, strøing og feing ble 460 650 kroner pr. sesong. Kostnadene for vedlikehold på Rikard Kaarbøs plass på 81 700 kroner pr. sesong. For vannrensing og behandling, grunnet usikkerheten benytter vi et intervall med tre ulike estimater. Vi benytter intervallet mellom 800 000 kroner og 3 000 000 kroner. Dette er kostnad pr år, og inkluderer driften og etablering av systemet.

I figur 28 er det laget en oversikt over kostnader for snøsmelteanlegget, estimerte verdier for tradisjonell fjerning av snø og estimert kostnad med Streetsmart. Kostnadene drift fra Street smart inkluderer etablering av snøsmelteanlegget og drift av anlegget. Kostnadene for snøsmelteanlegget og Streetsmart benyttet som referanse er fra tidligere beregnet verdien (kapittel 4.3.3 og 4.3.4).

Vi ser at tradisjonell fjerning av snø blir dyrere enn snøsmelteanlegget når kostnadene for rensing av snøen overstiger 1 935 029 kroner. Streetsmart har lavere driftskostnader, vi ser at streetsmart blir et billigere alternativ enn tradisjonell fjerning av snø når kostnadene for rensing er 1 539 743 kroner, dette ved å benytte driftskostnader for snøsmelteanlegget på 162 093 kroner.

I figur 28 er det gjort en fremstilling av de kostnader man kan forvente når man etablerer et gatevarmeanlegg, et renseanlegg for snø og gatevarmeanlegg ved bruk av Streetsmart. Det er blitt tatt tre ulike kostnader som estimat. Estimat 1 er 30% lavere enn den kostnaden vi tidligere har regnet ut, mens estimat 3 er 30% høyere. Dette for å vise forskjeller da vi ikke har konkrete tall å forholde oss til.

- Estimat 1: - 30%
- Estimat 2: 0
- Estimat 3: + 30%



Figur 28 - Sammenligning mellom snøsmelting og tradisjonell fjerning ved ulike kostnader for snø rensing, inkludert etableringskostnad av snøsmelteanlegg og renseanlegg for snø (Vedlegg 8)

Grunnen til at vi tar med flere estimater på disse kostnadene er at det er veldig vanskelig å fastsette akkurat hvor mye et renseanlegg for snø vil koste. Vi mener det er rimelig å anta at det vil være tilstrekkelig med et noe mindre anlegg i Harstad kontra i Oslo, der vi har noen estimater som nevnt tidligere. Selv om historiske data for nedbør viser at det er opp mot fire ganger så mye nedbør i Harstad som Oslo i 2022 vil det være snakk om mye mindre snø som må behandles i Harstad. Det er dog likevel viktig å se på en slik investeringskostnad på det

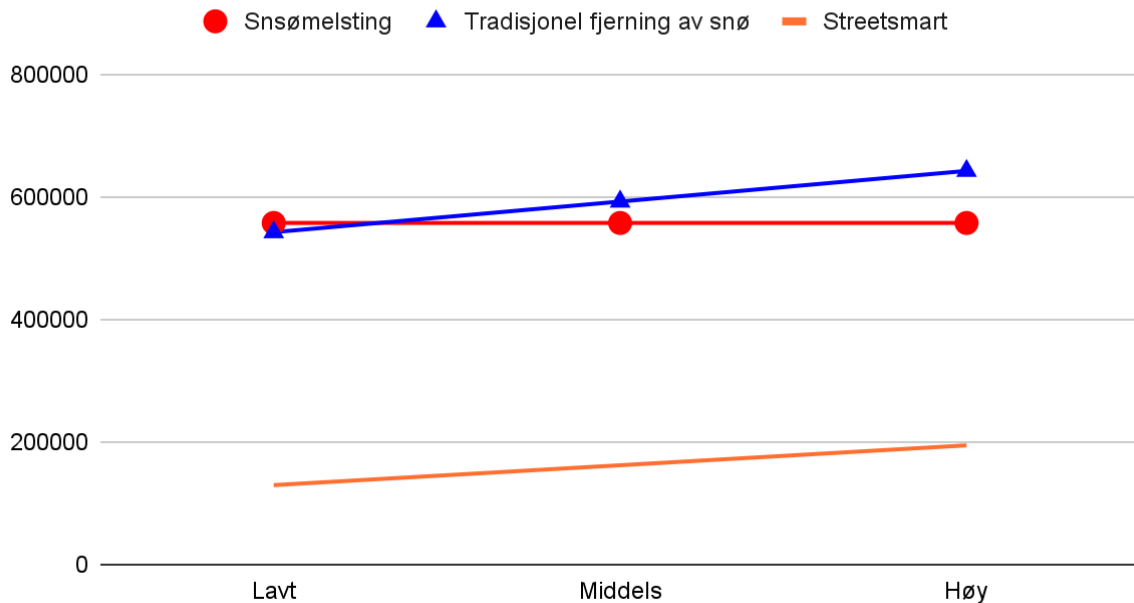
totale regnestykket. Historiske data for nedbør i Harstad og Oslo i 2021/2022 er fremstilt i tabell 14.

Måned	Harstad	Oslo
November	66,9 mm	43,5 mm
Desember	90,9 mm	33,5 mm
Januar	265 mm	23,7 mm
Februar	63,5 mm	67,5 mm
Mars	83,8 mm	3,6 mm

Tabell 12. Historisk nedbørsmengde. (yr.no, 2021)

Det er i figur 29 fremstilt et resultat. Her er kostnadene for etablering av renseanlegg og kostnadene for etablering av snøsmelteanlegget ignorert. Vi ser kun på tre forskjellige estimat for driftskostnader. Følsomhetsanalysen tar for seg snø rensing i et intervall på 0 - 100 000 NOK. Det vi da kan se av grafene er at tradisjonell fjerning av snø vil overgå driftskostnadene for snøsmelteanlegg når kostnaden for rensing av snøen overstiger 15 029kr. Dette er der blå graf krysser oransje graf.

Driftskostnader



Figur 29 - Kostnader for drift av snøsmelteanlegg, tradisjonell snø fjerning og Streetsmart

4.5.3 Nytte av snøsmelteanlegg

Et snøsmelteanlegg har flere fordeler fremfor tradisjonell brøyting. Ved tradisjonell brøyting vil man måtte benytte tungtransport som lastebiler og brøytebiler. Det stilles også krav til vannbehandling der snøen skal renses for forurensning. Ved å benytte snøsmelting vil man ikke trenge å bygge ut renseanlegg for snø som vil ha en betydelig kostnad. Ser man på referanse estimat som tidligere nevnt, kan et renseanlegg for snø koste mellom 20 og 30 millioner. (Solstad, N. 02, februar, 2022) Dette er da estimater på et anlegg som ville vært lokalisert i Oslo, noe som betyr at estimatet på mellom 20 og 30 millioner er basert på en stor by med mange kubikk mer med snø enn Harstad. Vi antar likevel at selv om et renseanlegg for snø i Harstad ville vært mindre, så er det fortsatt knyttet en betydelig kostnad til etableringen. På bakgrunn av dette vil vi anta at ved opprettelse av renseanlegg vil dette komme med en prislapp på rundt 15 millioner kr.

Når man brøyter vil det legge seg snø imellom brøytingen som kan forårsake glatt føre. Vi vil ikke definere hvor mange ulykker og skader som man forhindrer ved å benytte snøsmeltingsanlegg kontra brøyting. Årsaken til 74% av alle fallulykker på vei, gate, fortau, gang og sykkelvei er grunnet snø og is. Ved å forhindre et lårhalsbrudd vil man spare ca. en million kroner i behandling av skaden. Ankel og underarmsbrudd vil koste samfunnet mellom 30.000 og 40.000 kroner.

4.5.4 Andre nytte av snøsmelleanlegg som ikke er inkludert i analysen

Når det er glatt, holder flere seg hjemme grunnet redsel for å skade seg på glatten. Ved å benytte snøsmelleanlegg forsikrer man at snøen ikke får lagt seg. Dette kan resultere i flere mennesker som benytter torget i løpet av vinterhalvåret. Vi har ikke inkludert dette tallet i vår analyse grunnet vanskeligheter med å gi et anslag på verdien som oppnås.

Det er gjennomført beregninger for varmemestrøm med ulik delta T og ulike hastigheter i form av kubikk per time. Beregningene er gjennomført ved bruk av formel for varmemestrøm over. Delta T og hastighet for beregningene er hentet fra energiguide hos Statkraft. Vi ser av utregningene at vi ved en delta T på 14 K og hastighet på 21 m^3 per time får vi høyest varmemestrøm.

Her er det i første utkast tatt densitet til kun vann som utgangspunkt for utregning. Forventer endring ved blanding av 30% glykol og 70% vann. Resterende verdier er hentet fra figur (xx) i teoridel, samt fra utregning xx over.

Kapittel 5: Drøfting

5.1 Er fjernvarme et godt alternativ for snø håndtering

Etter å ha gjennomført bacheloroppgaven vår har vi dannet oss et bilde av problemstillingen. Det er ingen hemmelighet at bærekraft og økonomi er noe som står sentralt. Vi ser av vår analyse at bruken av fjernvarme til smelting av snø er noe man burde vurdere for håndtering av snø i sentrums områder.

I vår analyse har vi sett flere estimater med kostnader knyttet til snøsmelteanlegg og brøyting. I utgangspunktet vil brøyting, strøing og feiing være et rimeligere alternativ enn et snø smelte anlegg. Men dette er forbeholdt at kostnadene for rensing og snø håndtering holder seg under en årlig kostnad 1 935 029 kroner. Det vil inkludere etableringskostnadene delt på forventet levetid pluss årlige driftskostnader. Grunnet usikkerheten til gode tall på kostnader for snø rensing vil det derfor ikke være grunnlag for å konkludere med hva som er det rimeligste alternativet.

Hvis vi sammenligner driftskostnader uten etableringskostnader ser vi at driftskostnadene fra snø rensing ikke kan overstige 15 000 kroner for at brøyting, strøing og feiing skal være det rimeligste alternativet. I dette tallet er etablering av snøsmelteanlegget og snø renseanlegg ikke inkludert.

Vi kan som sagt ikke konkludere med hvilket alternativ rent økonomisk er mest gunstig. Men vi ser at etableringskostnadene av de to systemene vil ha stor påvirkning og være en av de mest relevante faktorene for hva som er det økonomisk mest gunstige alternativet.

Men på grunn av at man ved et snøsmelteanlegg fjerner snøen raskt etter eller helst mens det faller, får vi flere fordeler over brøyting, strøing og feiing. Det kan derfor argumenteres for at snøsmelteanlegg kan fortjene en høyere kostnad grunnet fordelene systemet gir over brøyting, strøing og feiing.

En fordel er brukervennlighet for de som benytter seg av området. Ved å bruke fjernvarme til å smelte snøen vil kommunen kunne tilby et torg som er snø og isfritt for sine innbyggere og besøkende. Dette vil kunne føre til at flere benytter seg av området vinterstid. I tillegg er det meget positivt for individer med mobilitetsvansker. Snø og is er vanskelig å manøvrere i for personer i rullestol, personer med nedsatt syn og eldre. Ett snø og isfritt torg vil kunne gjøre at disse personene kan bevege seg vinterstid, som de ville gjort en varm sommerdag i juli.

Vi har også sett litt på fall skader som forekommer grunnet snø og is. Vi fant at 14,8 prosent av fall ulykker forekommer på vei, gate, fortau, gang og sykkelvei. Av de var 74 prosent grunnet snø og is. Fall ulykker som resulterer i skadde kan ha store kostnader for samfunnet. Både i utgifter til operasjon og behandling, men også til sykepenge og redusert livskvalitet. I denne oppgaven så vi på tre vanlige skader som kan forekomme av fall på snø og is. Underarmsbrudd gir en kostnad for samfunnet på ca. 31 500 kroner, ankel brudd gir en kostnad på ca. 46 500 kroner og lårhalsbrudd gir en kostnad på rundt en million kroner. Underarmsbrudd og ankelbrudd forekommer som oftest blant yngre personer, mens lårhalsbrudd forekommer ofte hos eldre. Ved å begrense slike skader vil samfunnet spare betraktelige summer. Vi kan ikke gi et eksakt tall på skadebegrensingen som snø smelte anlegget vil gi.

Alt tatt i betraktning vil snøsmelteanlegg være et aktuelt alternativ som burde bli vurdert på sentrumsnære områder. Det er en god måte å forenkle ferdsel på vinterstid, og kommer innbyggere og turister til gode. Det er imidlertid viktig å ha oversikt over kostnadene knyttet til etablering av et slikt anlegg. Det må gjennomføres av kompetente prosjektledere og entreprenører for at det skal kunne fungere best mulig under alle forhold. Hvis man har økonomi og kunnskap til å foreta en slik investering vil man få et område som i teorien vil være snøfritt 365 dager i året. Dette til fordel for alle som måtte ønske å bruke de offentlige arealene året rundt.

5.1.2 Hvilket reguleringsystem burde bli benyttet

Vi har gjennom bacheloroppgaven vår sett på to forskjellige måter å regulere et gatevarmeanlegg på. Aiwell og Guard Automation. Begge disse aktørene har to forskjellige måter å drifte anlegget på. Gjennom bruk av sensorer og følere drifter Aiwell anlegget på en måte som sørger for at Rikard Kaarbøs plass står snøfritt de aller fleste dager av året. Det er noen unntak, de dagene det kommer ekstra store mengder med snø. Guard Automation med sin programvare Streetsmart lager en digital tvilling av anleggets termodynamiske egenskaper, og styrer pådrag ut fra været som er meldt, på et prediktivt vis. Vi har gjennom våre beregninger sett at et prediktivt styresystem vil føre til færre energitopper og lavere energibruk. Dette er noe som kommer kunden til gode i form av kostnader per mnd.

Når det kommer til å ta en beslutning av hvilket system som er det beste, er det mange faktorer som kommer inn i det store bildet. Vi skal ikke si at noe er bedre enn det andre, men lar vår fremstilling av de ulike produktene tale for seg.

Begge reguleringsformene er gode metoder som tilsynelatende fungerer tiltenkt. Skal det tas en beslutning på hvilket system som burde benyttes må man gjøre en grundig analyse av det begge aktørene leverer, og hvordan de lokale forholdene påvirker resultatet for driften, samt de økonomiske kostnadene disse fører med seg.

5.1.3 Forholdet mellom hastighet og delta T

I oppgaven har vi sett på forholdet mellom hastigheten i rørene mot delta T vi oppnår. Grafen vi illustrerte i figur 23 viser at forholdet mellom delta T vi har, og hastigheten vi oppnår er eksponentiell. Der økning i retur temperaturen gir en økning i hastigheten nødvendig for å gi ønskelig varme mengde. Høy hastighet gir høyere pumpe arbeid og vi får en lavere COP. Vi ønsker derfor lavest mulig delta T for best mulig effekt av varmen i systemet.

Ved høye delta T kan vi få problemer med å fordele varmen likt over flaten. Større områder vil kreve lavere delta T for en jevn fordeling av varme. Vi kom frem til at rundt en delta T på 13,9 grader celsius og en hastighet på 5,2 m/s vil være riktig for systemet. Vi har valgt en forenklet metode for å finne riktig delta T og hastighet og vil derfor presisere at det ikke nødvendigvis er det best mulige for anlegget. Ved en høyere delta T vil man ha mindre pumpe arbeid som igjen gir en høyere COP verdi. Videre burde det bli sett nærmere på hvordan fordelingen av varme endre seg ved endring i hastighet i en snøsmelleanlegg.

Kapittel 6: Avslutning

6.1 Konklusjons

I denne oppgaven har vi gjort en analyse om snøsmelteanlegg er et bra alternativ for snø håndtering. I denne oppgaven har vi begrenset oss til sentrumsnære områder. I vårt arbeid fant vi at etableringskostnadene hadde stor påvirkning på om snøsmelteanlegg økonomisk gunstigere enn brøyting, strøing og feiing. Vi ser også at det kan argumenteres for at en eventuell høyere pris er verdt fordelene et snøsmelteanlegg har over brøyting, strøing og feiing.

Vi har også sett på to ulike reguleringssystemer for snøsmelteanlegg. Et som benytter sensorer og snø sniffere for å regulere systemet, og et reguleringssystem som lager en digital tvilling og benytter værmelding for å predikere snøfall. Basert på simulering fra Guard Automation sitt Streetsmart og data fra Rikard Kaarbøs plass så vi en stor forskjell i benyttet varme som kan indikere at høyteknologiske reguleringssystemer som benytter en digital tvilling og prediktiv analyse er en meget godt alternativ for regulering av snøsmelteanlegg.

Tilslutt så vi også på ulike delta T vi kan ha i systemet og hvilken hastigheter som man måtte ha for å tilfredsstille kravet for varmestrøm i anlegget. Her ser vi en tydelig korrelasjon med at lav delta t ga høy hastighet i systemet, men at man på grunn av ujevn fordeling av varme må begrense delta T til rundt 14 grader celsius.

6.2 Videre arbeid

6.2.1 Hvor mange skader unngås

I denne oppgaven er vi innom skader som kan bli forhindret av snøsmelteanlegget. Grunnet begrensede ressurser ser vi at det er nødvendig for en større utbedring av denne type ulykker og skadeomfanget som kan unngås.

6.2.2 Kostnader for rensing av snø

I denne oppgaven benyttet vi estimerer på kostnader for etablering og drift av renseanlegg for snø. Dette er et område som trenger mer arbeid. I dag er det et pågående prosjekt kalt SMELT, som er et samarbeid mellom Trondheim og Oslo kommune. Vi ser at funnene fra dette prosjektet vil være svært relevante for å kunne avdekke mer om kostnadene for brøyting, strøing og feiing.

6.2.3 Sammenheng mellom fordeling av varme og delta T i et snøsmelteanlegg

Som nevnt tidligere utførte vi en enklere metode for å finne en god hastighet for anlegget. Men vi ser det burde arbeides videre med å finne sammenhengen mellom fordeling av varme og delta T i smelte anlegg for snø. Dette arbeidet vil være meget relevant for å kunne optimalisere hastigheten som benyttes i snøsmelteanlegg.

Kapittel 7: Vedlegg

Vedlegg 1 - Varmebehov basert på snø, 4-11feb - Side 71-72

Vedlegg 2 -Fjernvarme 4-11feb Energiguide - Side 73

Vedlegg 3 - Fjernvarme mars 2021, Energiguide - Side 74

Vedlegg 4 - Pris fjernvarme på Rikard Kaarbøs plass - Side 75

Vedlegg 5 - Hastighetsberegninger basert på delta t - Side 76

Vedlegg 6 - Sammenligning utregning - Side 77

Vedlegg 7 - Estimat snø rensing - Side 78

Vedlegg 8 - Prissammenligning brøyting, Rikard Kaarbøs plass og streetsmart - Side 79

Vedlegg 9 - Driftskostnader sammenligning brøyting, Rikard Kaarbøs plass og streetsmart - Side 80

(Vedlegg 10 - Oversikt guard)

(Vedlegg 11 - Pris Streetsmart nov-2021 - mars. 2022)

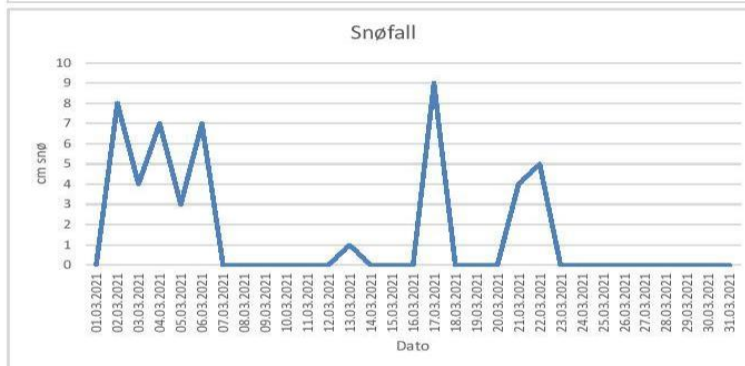
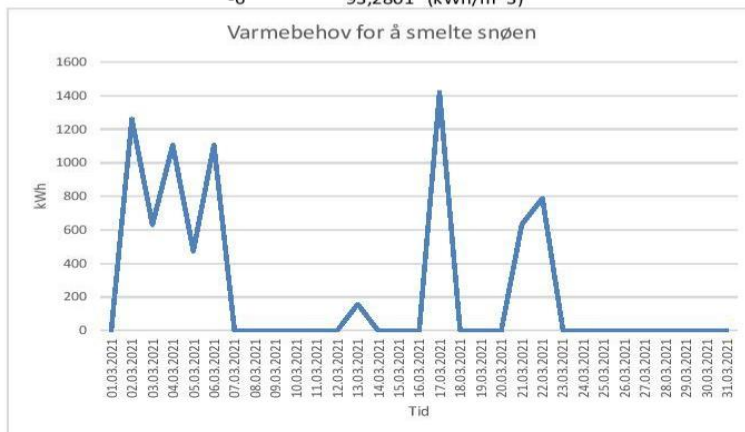
Navn	Stasjon	Tid/norsk non-Sneddybde	Middeltemperatur (°Cgrn)	5	2	-2	Snefall (cm)	Varme behov (kWh/m ³)	Sne (m ⁻³)	Varme behov (kWh)
Harstadv Stadi SNB7640		28.02.2021	8	6	2	-2	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		01.03.2021		1,1	1,1	8	8	92,694	13,6	1260,6384
Harstadv Stadi SNB7640		02.03.2021	14	18	-1	4	4	92,7526	6,8	630,71768
Harstadv Stadi SNB7640		03.03.2021	18	25	-3	7	7	92,9284	11,9	1105,84796
Harstadv Stadi SNB7640		04.03.2021	25	28	-1,5	3	3	92,7819	5,1	473,18769
Harstadv Stadi SNB7640		05.03.2021	28	35	-4,3	7	7	93,080775	11,9	1107,661223
Harstadv Stadi SNB7640		06.03.2021	35	38	-2,3	-17	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		07.03.2021	38	38	-2,7	0	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		08.03.2021	38	38	-4,8	0	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		09.03.2021	38	38	-4,9	0	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		10.03.2021	18	18	-1,7	0	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		11.03.2021	18	17	-0,2	0	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		12.03.2021	17	18	-1,6	-1	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		13.03.2021	18	18	1,6	1	1	92,694	1,7	157,5798
Harstadv Stadi SNB7640		14.03.2021	15	15	2,5	-3	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		15.03.2021	14	14	1,4	-1	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		16.03.2021	14	14	-0,1	0	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		17.03.2021	23	23	-2,5	9	9	92,8698	15,3	1420,90794
Harstadv Stadi SNB7640		18.03.2021	21	21	-4	-2	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		19.03.2021	19	19	1,1	0	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		20.03.2021	16	16	1,1	-3	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		21.03.2021	20	20	-3	4	4	92,9284	6,8	631,91312
Harstadv Stadi SNB7640		22.03.2021	25	25	0,7	5	5	92,694	8,5	787,899
Harstadv Stadi SNB7640		23.03.2021	19	19	3,5	-6	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		24.03.2021	18	18	3,9	-1	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		25.03.2021	14	14	1,3	-4	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		26.03.2021	14	14	4,2	0	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		27.03.2021	13	13	4,6	-1	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		28.03.2021	12	12	2,5	-1	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		29.03.2021	11	11	4,4	-1	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		30.03.2021	9	9	3,4	0	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		31.03.2021	5	5	2,8	-4	0	0	0	0
Harstadv Stadi SNB7640		01.04.2021	5	5	2,6	0	0	0	0	0

Data er gyldig per 20.04.2022 (CC BY 4.0), Meteorologisk institutt (MET)

7576,352813

Areal harstad 1700 m²

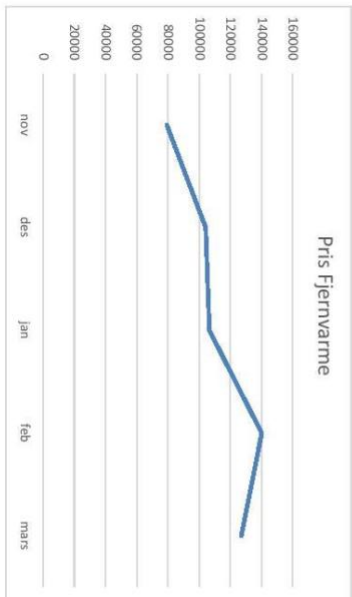
Temperatur	Totalt varmebehov
0	92,694 (kWh/m ³)
-2	92,8112 (kWh/m ³)
-4	93,0456 (kWh/m ³)
-6	93,2801 (kWh/m ³)



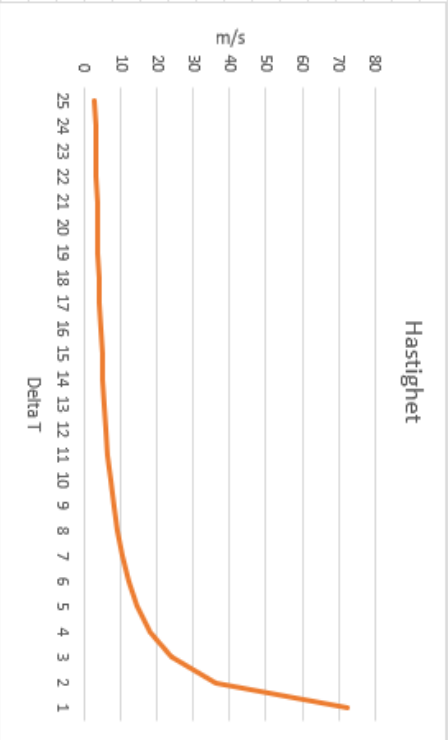
År	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sept	okt	nov	des	Totalt
2020	142148	186923	169397	77385	32019	0	0	0	0	30188	63789	108505	810354
2021	73066	139156	106395	74409	6473	85	81	126	85	23553	105720	138984	668133
2022	210786	146675	72956	33169									463586

2021	nov	105720	79290
	des	138984	104238
2022	jan	142148	106611
	feb	186923	140192,25
	mars	169397	127047,75
	totalt		557379

pris 0,75 kr/kWh



Varmer (Q)	360 kW				
Indre diameter	0,02 m				
Areal	0,00125664 m ²				
Inn Temperatur	35 C				
Massetethet	1020 kg/m ³				
Cp	3,8856 kJ/kg*K				
Ut temperatur @ Delta T		Hastighet(m/s)	Volumstrøm (m ³ /s)	volumstrøm m ³ /h	
10	25	2,89130805	0,003633325	13,07996948	
11	24	3,01177922	0,003784713	13,62496821	
12	23	3,14272614	0,003949266	14,21735813	
13	22	3,28577733	0,004128778	14,86360168	
14	21	3,4420334	0,004325387	15,57139224	
15	20	3,61413507	0,004541656	16,34996185	
16	19	3,8043527	0,004780691	17,21048616	
17	18	4,01570563	0,005046285	18,16662428	
18	17	4,25192361	0,005343125	19,23524924	
19	16	4,51766883	0,00567707	20,43745231	
20	15	4,81884676	0,006055541	21,79994913	
21	14	5,16305009	0,00648808	23,35708836	
22	13	5,56020779	0,006987163	25,15378746	
23	12	6,02355844	0,007569427	27,24993642	
24	11	6,57115467	0,008257556	29,72720336	
25	10	7,22827013	0,009088312	32,6999237	
26	9	8,03141126	0,010092569	36,33324856	
27	8	9,03533767	0,01135414	40,87490463	
28	7	10,3261002	0,01297616	46,71417671	
29	6	12,0471169	0,015138854	54,49987283	
30	5	14,4565403	0,018166624	65,3998474	
31	4	18,0706753	0,02270828	81,74980925	
32	3	24,0942338	0,030277707	108,9997457	
33	2	36,1413507	0,045416561	163,4996185	
34	1	72,2827013	0,090833121	326,999237	



Kapittel 8: Referanser

Aiwell. (u. å.) *Om Aiwell AS*. Tilgjengelig fra:

<https://www.aiwell.no/om-aiwell.html>

(Hentet: 4. mai 2022)

Aiwell. (u. å.) *Våre produkter, Aiwell Controller 3000*. Tilgjengelig fram

<https://www.aiwell.no/aiwell-controller-3000.html>

(Hentet: 16. mai 2022)

Arenson, L. U., Colgan, W., & Marshall, H. P. (2015). *Physical, Thermal, and Mechanical Properties of Snow, Ice, and Permafrost* (pp. 35–75). Tilgjengelig fra:

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394849-6.00002-0>

(Hentet: 27.mars 2022)

Arvola, Ø. (2020, 14. januar) *Oppgradering av torget*. Tilgjengelig fra:

<https://www.harstad.kommune.no/oppgradering-av-torget.475640.no.html>

(Hentet: 2.mai 2022)

Austbø, B. 2017. Forelesning Varmetransport. *MAST2015*. 17. desember 2017.

Tilgjengelig fra:

https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_23234_1/cl/outline

Hentet: 8. mars (2022)

Cengel Y. A, Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An engineering Approach* (8.).

McGraw-Hill Education

Folketrygdloven (1997) *Lov om folketrygd (LOV 1997-02-28-2019)*. Tilgjengelig fra:

<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1997-02-28-19/kap8#kap8>

(Hentet: 10.mai 2022)

Google maps. (2022). *Kart Harstad.* Tilgjengelig fra:

<https://www.google.no/maps/place/Harstad/@68.8033135,16.5319448,13.69z/data=!4m5!3m4!1s0x45db804dc860ae21:0xc4a8e28ca39355fe!8m2!3d68.9126078!4d16.5819381>

(Hentet: 2.mai 2022)

Guard. (u. å.). *Street Smart.* Tilgjengelig fra:

https://guard.no/produkter-og-tjenester/street-smart-2/?gclid=Cj0KCQjwg_iTBhDrARIsAD3Ib5hFom3FygbxRepCgrClfG3-v-LE5WOIBx2qduFJL0V_1nX4yd8Q9OEaAgtDEALw_wcB

(Hentet 27. april 2022)

Harstad kommune. (2022). *Årsrapport 2021.* (DOK03020) Tilgjengelig fra:

<https://harstad.kommune.no/eknet/docs/dok/DOK03020.pdf>

(Hentet: 17 april 2022)

Hektoen, L, F. (2014) *Kostnader ved hoftebrudd hos eldre. S.25.* Tilgjengelig fra:

<https://skriftserien.oslomet.no/index.php/skriftserien/article/view/18>

(Hentet: 28. april 2022)

Helsedirektoratet (2018, 3. mars) *Sykmelderveileder. Brudd i ankel.* Tilgjengelig fra:

<https://www.helsedirektoratet.no/veiledere/sykmelderveileder/diagnosespesifikke-anbefalinger-for-sykmelding/muskel-og-skjelettsystemet-l/leggankelhael/brudd-i-ankel-l73-brudd-leggankel#null-sammendrag>

(Hentet: 8.mai 2022)

Helsedirektoratet. (2021). *Personskadedata 2021, Norsk pasientregister.* (IS-3032).

Helsedirektoratet. Tilgjengelig fra:

https://www.helsedirektoratet.no/rapporter/personskadedata-arsrapporter/%C3%85rsrapport%20personskadedata%202021.pdf/_attachment/inline/d5a29

[d12-9a72-46ef-8928-2dc0ae71281e:29a98fd5636b2e97e05bc56b925430c241dcf185/%C3%85rsrapport%20personskadedata%202021.pdf](https://doi.org/10.1111/d12-9a72-46ef-8928-2dc0ae71281e:29a98fd5636b2e97e05bc56b925430c241dcf185/%C3%85rsrapport%20personskadedata%202021.pdf)

(Hentet: 8.mai 2022)

Helseth, L. E. (2022b) *Fourierloven* Tilgjengelig fra:

<https://snl.no/Fourierloven>

(Hentet 10. april 2022)

Helseth, L. E. (2022a) *Ulike strømningsregimer*. Tilgjengelig fra:

<https://snl.no/turbulens>

(Hentet: 18.mars 2022)

Inspirit. (u.å.) *Phase diagram for Water* Tilgjengelig fra:

<https://www.inspiritvr.com/chemistry/human-biology/phase-diagram-for-water-study-guide>

(Hentet: 7.april 2022)

Klausen, D.A. Andreassen, H. L. (2018). NRK, Dumper snø på sjøen: Har ikke sjekket miljøfaren. *NRK*. Tilgjengelig fra:

<https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/dumper-sno-pa-sjoen--har-ikke-sjekket-miljofaren-1.14010430>

(Hentet: 13. april 2022)

Lindberg, P. (2011) Bruddskader koster over 10.mill kr. *Bergens Tidene*. Tilgjengelig fra:

<https://www.bt.no/nyheter/lokalt/i/pdPO6/bruddskader-koster-over-10-mill-kr>

(Hentet: 18. april 2022)

MetOffice, (u. å.) *How does snow form?* Tilgjengelig fra:

<https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/types-of-weather/snow/how-does-snow-form>

(Hentet: 19.mars 2022)

Nemitek. (2018). *Frysepunkt for glykolblandet vann.* Tilgjengelig fra:

<https://vannbaserte.nemitek.no/711-artikkel-vannbaserte-oppvarmings-og-kjolesystemer-2014/passiv-ventilasjonsvarmegjenvinning/163937>

(Hentet 17.mars. 2022)

Nemitek. (2018). *Spesifikk varmekapasitet.* Tilgjengelig fra:

<https://vannbaserte.nemitek.no/711-artikkel-vannbaserte-oppvarmings-og-kjolesystemer-2014/passiv-ventilasjonsvarmegjenvinning/163937>

(Hentet: 17.mars 2022)

Norsk klimaservicesenter, (u.å) *Seklima observasjoner og værstatistikk.* Tilgjengelig fra:

<https://seklima.met.no/>

(Hentet: 1. mai 2022)

Novema kulde AS. (2014) *Korrigerings for etylenglykol (tabell)* Tilgjengelig fra:

https://www.novemakulde.no/02/2014_tbl.pdf

(Hentet: 11.april 2022)

Pedersen, B. (2019) *varmekapasitet.* Tilgjengelig fra:

<https://snl.no/varmekapasitet>

(Hentet: 5. mai 2022)

Rosvold, K, A. (2021) *fjernvarme* Tilgjengelig fra:

<https://snl.no/fjernvarme>

(Hentet 30. april 2022)

Sirnes, E. Stoltz, G. Rapp H, N. (2021) *Nytte-kostnadsanalyse*. Tilgjengelig fra:

<https://snl.no/nytte-kostnadsanalyse>

(Hentet 15.mars 2022)

Solstad, N. (2022, 02. Februar). Snø, plastflasker og søppel går rett i sjøen: – Vi vurderer å ta prøver *Fremover*. Tilgjengelig fra:

https://www.fremover.no/sno-plastflasker-og-soppel-gar-rett-i-sjoen-vi-vurderer-a-ta-prover/s/5-17-943842?onboarding_mode=true

(Hentet: 13. april 2022)

Statistisk sentralbyrå (2022) *Gjennomsnittlig månedslønn for kvinner og menn i ulike sektorer*. Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra:

<https://www.ssb.no/arbeid-og-lonn/lonn-og-arbeidskraftkostnader/statistikk/lonn>

(Hentet: 28. april 2022)

Statkraft Varme. (u.å.) *Undervisning*. Tilgjengelig fra:

<https://www.statkraftvarme.no/kunnskapssenter/fjernvarme/undervisning/>

(Hentet 27. april. 2022)

Sturm, M., & Johnson, J. B.. (1992). *Thermal conductivity measurements of depth hoar*.

Journal of Geophysical Research, 97(B2), 2129–2139. Tilgjengelig fra:

<https://doi.org/10.1029/91jb02685>

(Hentet: 18. mars 2022)

Sundfør, H, Bjørnskau, T. (2016). *Fotgjengerskader i Oslo i 2016*. (1609/2017)

Transportøkonomisk institutt (TØI) Tilgjengelig fra:

<https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=47567>

(Hentet: 3.april 2022)

Taco, INC (2015). *Smart Products for Hydronic Snowmelting*. Tilgjengelig fra:

<http://www.taco-hvac.com/uploads/FileLibrary/Snowmelting.pdf>

(Hentet 18.Mai 2022)

UIO. (u. å) *Øvelse 1 Faseoverganger, FYS2160.* (s.3) Tilgjengelig fra:

<https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS2160/h04/diverse/Faseoverganger.pdf>

(Hentet: 5.mai 2022)

Universell utforming AS. (2019, oktober) *Universell utforming av uteområder. s.2.*

Tilgjengelig fra:

https://universellutforming.no/uploads/s6zs3bpT/Uteomrder_krav-og-anbefalinger_WEB.pdf

(Hentet 5. mai 2022)

Yr.no, (2021). *Historikk. Siste 13 månedar.* Tilgjengelig fra:

<https://www.yr.no/nn/historikk/graf/5-87640/Noreg/Troms%20og%20Finmark/Harstad/Harstad>

(Hentet 16. mai 2022)

Yr.no, (2021). *Historikk. Siste 13 månedar.* Tilgjengelig fra:

[https://www.yr.no/nn/historikk/graf/5-18700/Noreg/Oslo/Oslo/Oslo%20\(Blindern\)](https://www.yr.no/nn/historikk/graf/5-18700/Noreg/Oslo/Oslo/Oslo%20(Blindern))

(Hentet 16. mai 2022)

Øvstedal, L. Brembu, S. (2021) *Drift og vedlikehold av gangveger, fortau og gangfelt.*

Tilgjengelig fra:

<https://www.tiltak.no/b-endre-transportmiddelfordeling/b-4-tilrettelegging-gange/b-4-3/>

(Hentet: 28. april 2022)

