



# Rapport

## Klimavennlig snøproduksjon i Olympiaparken

### Forfatter:

Andrine Roska Vallestad

### Oppdragsgiver:

Snow for the Future

# Rapport

## Klimavennlig snøproduksjon i Olympiaparken

EMNEORD	VERSJON	DATO
Temperaturuavhengig snøproduksjon	1.0	2022-12-13
Utnyttelse av overskuddsvarme	<b>FORFATTER(E)</b> Andrine Roska Vallestad	
Fjernvarme	<b>OPPDRAGSGIVER(E)</b> Snow for the Future	<b>OPPDRAGSGIVERS REFERANSE</b> -
Ejektor kjøleteknologi	<b>PROSJEKTNUMMER</b> 502002196	<b>ANTALL SIDER OG VEDLEGG</b> 19
Energieffektivisering Isproduksjon varmepumper	<b>SAMMENDRAG</b>	

Denne rapporten representerer arbeidet som er utført som sommerforsker hos SINTEF Energi, og er en del av prosjektet «Snow for the future - Phase II». Målet med denne arbeidet har vært å gjennomføre en tekno-økonomisk analyse for å konkretisere potensialet ved å utnytte fjernvarme til produksjon av temperaturuavhengig snø på en økonomisk, klimavennlig og effektiv måte.

**UTARBEIDET AV**

SIGNATUR

Andrine Roska Vallestad

**KONTROLLERT AV**

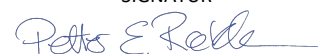
SIGNATUR

Ole Marius Moen

**GODKJENT AV**

SIGNATUR

Petter Røkke



# Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2022-12-13	

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Introduksjon .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Teori .....</b>	<b>4</b>
2.1	Snøproduksjon .....	4
2.2	Varmedreven kjøleteknologi.....	5
2.3	Fjernvarme .....	6
2.4	Studieområdet .....	7
<b>3</b>	<b>Teknisk analyse .....</b>	<b>8</b>
3.1	Klimadata .....	9
3.2	Snøproduksjon i anlegget.....	9
3.3	Casebeskrivelse og resultater .....	10
3.3.1	Case 1: TDS + lager.....	10
3.3.2	Case 2 TDS + lager + TIS .....	11
3.4	klimaavtrykk.....	14
3.5	Resultater .....	15
<b>4</b>	<b>Økonomisk analyse .....</b>	<b>15</b>
4.1	Parametere .....	15
4.2	Resultater .....	17
<b>5</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>18</b>
5.1	Usikkerheter.....	18
<b>6</b>	<b>Videre studie.....</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Referanseliste .....</b>	<b>19</b>

## BILAG/VEDLEGG

Klikk eller trykk her for å skrive inn tekst.

# 1 Introduksjon

Denne rapporten representerer arbeidet som er utført som sommerforsker hos SINTEF Energi, og er en del av prosjektet «Snow for the future - Phase II». I denne rapporten presenteres en tekno-økonomisk analyse for å konkretisere potensialet ved å utnytte fjernvarme til produksjon av temperaturuavhengig snøproduksjon på en økonomisk, klimavennlig og effektiv måte. Hensikten er å se om bruk av fjernvarme til produksjon av snø kan øke sesonglengden og forsyningssikkerheten til Lillehammer Olympiapark.

For å imøtekomme dagens utfordringer knyttet til globale klimaendringer, er det viktig å se på muligheter for bærekraftige løsninger i alle samfunnsområder. Høyere temperaturer fører til kortere vintre, og dette vil blant annet true vintersporten. Dagens snøproduksjon er avhengig av temperaturer under null grader for å produsere snø, og det vil derfor bli vanskelig å produsere tilstrekkelig med snø i fremtiden. Ved bruk av temperaturuavhengig snøproduksjon (TIS) kan dette bidra til å hindre en snøfattig vinter. TIS kan øke forsyningssikkerheten og lengden på skisesongen. TIS har derimot en høy investeringskostnad og er svært energikrevende sammenlignet med temperaturavhengig snøproduksjon (TDS) fra viftekanoner og lanser (Tveten 2020). Det kan derfor være interessant å se på alternative energikilder for å redusere energikostnadene ved bruk av TIS. I rapporten «Heat - driven snow production» er det kartlagt lokaliteter i Norge hvor det er tilgjengelige varmekilder i nærheten av et vintersportanlegg. Ved å erstatte bruk av elektrisitet med varme basert på fornybare energikilder, kan dette legge grunnlaget for et klimavennlig snøproduksjonssystem (Moen 2021).

I dette prosjektet tar jeg for meg Lillehammer Olympiapark som casestudiet. Gjennom møter og epostutveksling har jeg mottatt teknisk informasjon fra ulike representanter fra Lillehammer Olympiaparken og fjernvarmeleverandøren Eidsiva BioEnergi AS. Olympiaparken er interessert i å vite om temperaturuavhengig snøproduksjon kan være et supplement til dagens tradisjonelle snøproduksjon, samt hvilken TIS-teknologi som lønner seg. I denne rapporten skal jeg derfor utføre en teknisk og økonomisk analyse for å undersøke lønnsomheten og potensialet ved å investere i en TIS basert på varme fremfor elektrisitet. I den tekniske analysen tar jeg for meg to forskjellige casestudier. I første case fokuserer jeg på dagens snøproduksjon i Lillehammer Olympiapark. I case to ser jeg på muligheten for å starte sesongen tidligere ved bruk av TIS. I den økonomiske analysen vil jeg undersøke lønnsomheten for to forskjellige TIS teknologier, for å finne ut hvilken teknologi som er mest hensiktsmessig.

## 2 Teori

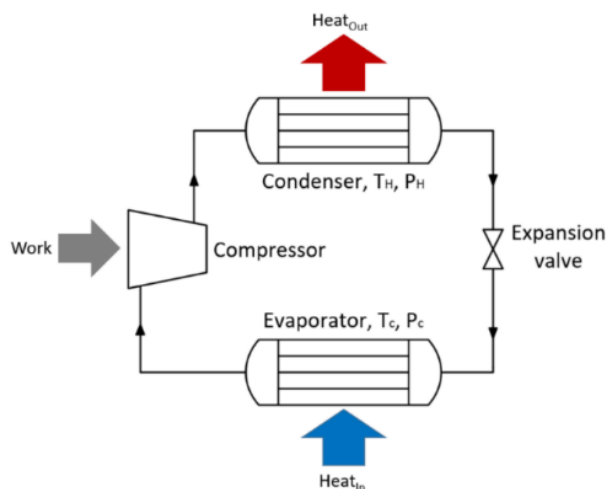
### 2.1 Snøproduksjon

Mange skianlegg er avhengig av kunstsnowproduksjon for å få nok snø i anlegget i løpet av en sesong. Det finnes i dag tre forskjellige metoder for å dekke arealer med snø. Snølagring, TDS og TIS (Aalberg 2022).

TDS er den mest vanlige metoden for produksjon av kunstsnow i dag. Den baserer seg på prinsippet om at atomisert vann, blir presset gjennom en dyse og ut i kald luft. Vanndråpene vil dermed fryse før de treffer bakken, dersom alle betingelsene er oppfylt. For at det skal dannes snø trengs en våtkuletemperatur på  $-2^{\circ}\text{C}$  eller lavere (Trædal 2017). TDS er dermed begrenset værforholdene.

TIS er kommersiell teknologi som allerede er tatt i bruk i flere skianlegg rundt om i verden (Trædal 2017). Teknologien skiller seg fra tradisjonell snøproduksjon ved at den kan produsere snø i varmegrader. TIS trenger tilgang til vann og strøm for å driftes. Det tekniske prinsippet går ut på å produsere små iskorn ved hjelp av en kjølesyklus. En kjølesyklus er en varmepumpe som produserer kulde ved at varmen transporteres fra det som skal avkjøles til omgivelsene. Dette gjøres ved hjelp av å sirkulere et arbeidsmedium som

transporterer varmen ved å fordampe ved lav temperatur og trykk, samt kondensere ved høyt trykk og temperatur. Trykkøkningen oppnås gjennom mekanisk arbeid fra en kompressor. En enkel prinsippskisse er vist i figur 1.



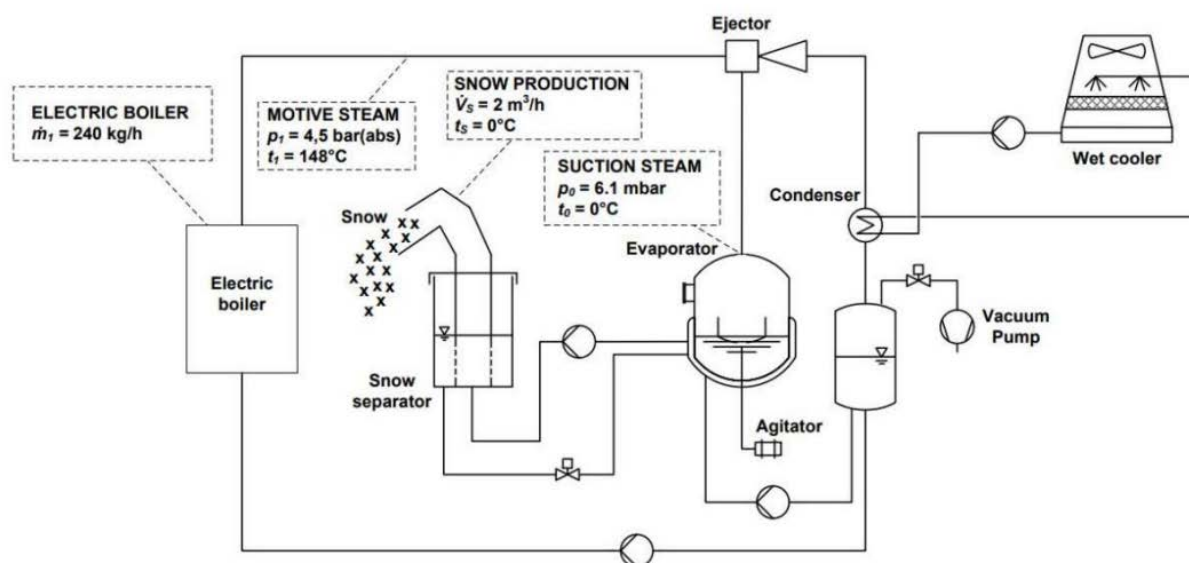
**Figur 1: tradisjonell kjølesyklus**

Det finnes flere varianter av TIS maskiner: Flakis, plateis, is-slurry og vakuum snøproduksjon. Flakismetoden er den mest vanlige, og fungerer ved at vann påføres på den indre eller ytre overflaten til en nedkjølt sylinders trommel. Isen dannes ved at en skrape på utsiden eller innsiden benyttes for å fjerne isen, som videre behandles og transporteres eller blåses ut til lager (Trædal 2017).

## 2.2 Varmedreven kjøleteknologi

TIS er svært energikrevende sammenlignet med tradisjonell snøproduksjon. Kostnadene knyttet til elektrisitetsforbruk vil derfor kunne bli svært høye. Det er derfor interessant å vurdere alternative og potensielt mer rimelige energikilder. Termisk energi kan være et av disse, og kjølesystemer basert på varme er i dag godt tilgjengelig på markedet. En tidligere studie i prosjektet evaluerte ulike teknologier som kan benyttes til å produsere kulde på tilstrekkelig lav temperatur til snøproduksjon. Det ble funnet fire lovende termisk drevne kjølesystem til dette formålet; Absorpsjons- og adsorpsjonsbaserte kjølesystem, organiske rankine syklus- baserte kjølesystem og ejektorbaserte kjølesystem (Moen 2021). De meste egnede, basert på teknologisk og kommersiell modenhet var absorpsjonskjøling og ejektorkjøling.

I dette prosjektet har jeg valgt å ta utgangspunkt i ejektorkjøling som kan benyttes til å produsere snø basert på vakuum-produksjon. Systemet baserer seg på en dampejektor, som i dette tilfellet fungerer som en varmedrevet vakuum-pumpe. Prosessen går ut på å senke trykket i et kammer, ned til vannets trippelpunkt (0°C, 6.1 mbar). Ejektoren fungerer slik den tar inn damp med et visst trykk i den ene inngangen. Dampen akselereres gjennom en dyse i ejektoren til svært høye hastigheter. Dette skaper et sug i den andre inngangen, og den drar med seg dampen i kammeret inntil tilnærmet vakuum betingelser blir oppnådd. Den lave temperaturen i kammeret oppstår fordi vannet som da fordampes pga. lavt trykk, krever energi fra omgivelsene. Dette senker til slutt temperaturen til 0°C. Ved vannoverflaten dannes det en is/snø-slurry, som pumpes til et separasjonskammer hvor vannet fjernes før den gjenværende snøen blåses ut (Aasen, Gabrielli, and Moen 2022). Figur 2 viser en illustrasjon av hvordan en slik produksjonsprosess fungerer.



Figur 2: Illustrasjon av ejektorbasert kjølesyklus (Joemann et al. 2017)

Demacenko er det eneste kjente selskapet som kan levere termisk drevne ejektorkjølesystem til produksjon av snø, så akkurat denne teknologien er ikke særlig kommersielt utbredt. Maskina er basert på prinsippet i figur 2 og kan drives basert på ulike varmekilder, så lenge temperaturen er tilstrekkelig (Aasen, Gabriell, and Moen 2022). Den varmedrevne kjøleteknologien trenger generelt tilgang på en varmekilde med temperatur 80-180 °C og nærliggende kjølevann for å ha mulighet til å produsere snø (Moen 2021).

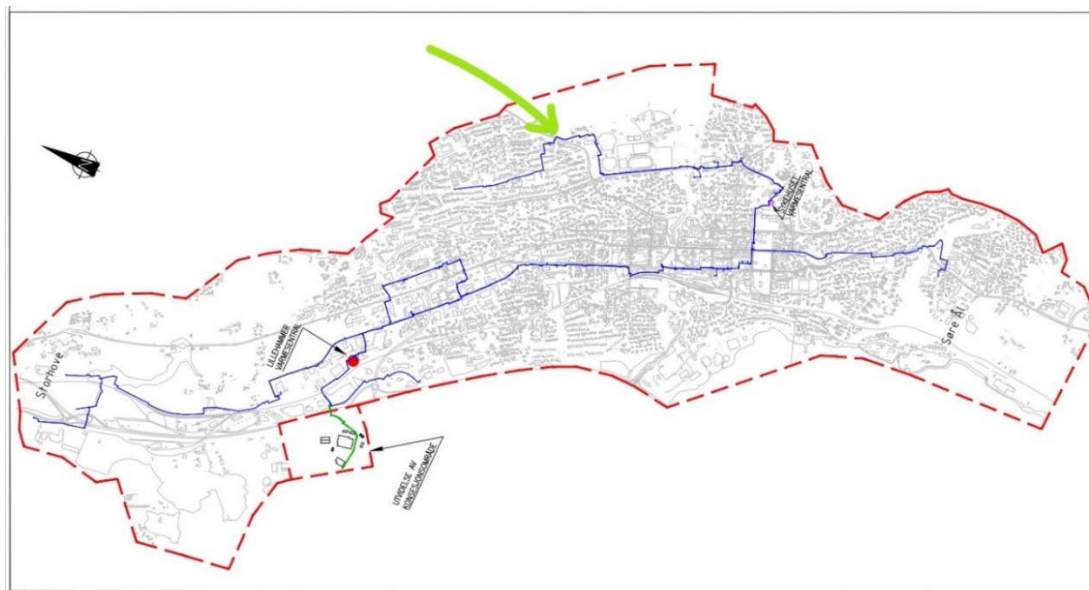
## 2.3 Fjernvarme

En svært aktuell energikilde til varmedreven snøproduksjon er fjernvarme. Dette er et vannbåret system for å levere varme. Energikilden som benyttes avhenger av leverandør; de fleste fjernvarmeanlegg bruker overskuddsvarme fra avfallsforbrenning som grunnlast, men det er også flere fjernvarmeanlegg som kombinerer ulike energikilder. Noen anlegg baserer seg på kun fornybare energikilder som biobrensel og elektrisitet, mens andre benytter seg av fossil energi ("Norsk Fjernvarme, Energikilder," n.d.). Økt utnyttelse av overskuddsvarme, også fra fjernvarme, vil være et viktig bidrag til energieffektivisering i samfunnet. Økt utnyttelse av fjernvarme kan i tillegg være med på å øke forsyningsikkerheten der det elektriske sentralnettet er belastet (Haugerud et al. 2014).

Et fjernvarmeanlegg består av en oppvarmingssentral, rørledninger og konsumenter. Eidsiva Bioenergi AS er en fjernvarmeleverandør i Lillehammer som forsyner 60 GWh årlig til offentlige bygg, skoler, leiligheter og andre bygg i kommunen (Eidsivabioenergi.no 2020). Fjernvarmenettverket strekker seg fra Storhove i nord til Søre Ål, og har en levetid på 25-30 år. Oppvarmingssentralen består av totalt 12 MW biokjeler, to 8 MW gasskjeler, en 15 MW oljekjel, en 2,5MW oljekjel samt røykgass kondensering som er ca. 2-2,5 MW. Totaleffekten er på 26,4 MW. Hovedrøret fra varmesentralen har rørdimensjonen DN130 med en levert temperatur på rundt 85 °C til 115 °C. Returtemperaturen ligger på 40-60 °C, men temperaturen er sesongavhengig.

Kleivbakken har blitt vurdert som et mulig påkoblingspunkt for en forlengelse av fjernvarmenettet til Olympiaparken, illustrert med grønn pil i Figur 3. Her er rørdimensjonen DN80, og turtemperaturen 75-100 °C.

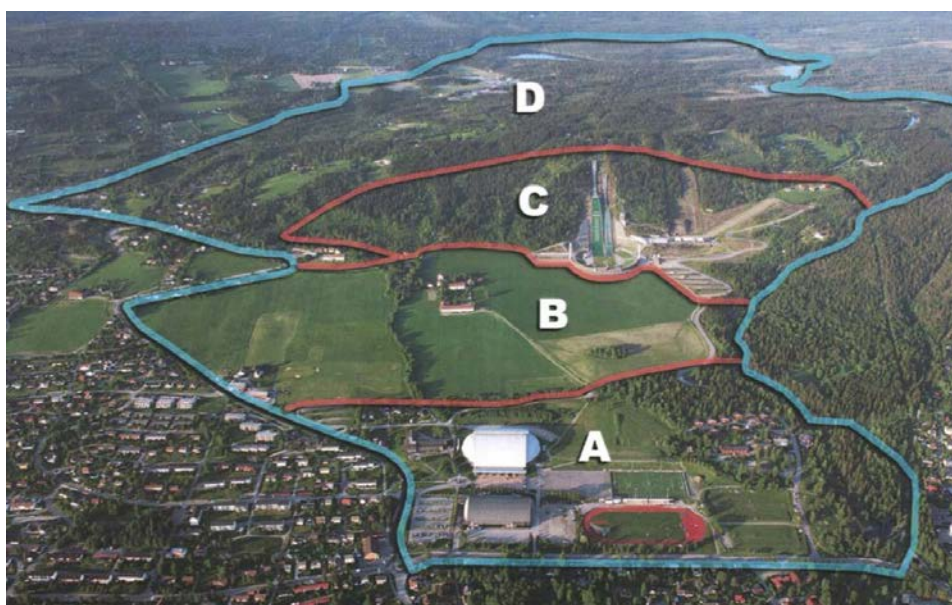




**Figur 3: Fjernvarmenettverket i Lillehammer (Stensby 2019)**

## 2.4 Studieområdet

Lillehammer Olympiapark, vist i figur 4, er studieområdet. Den ble etablert i Innlandet i forbindelse med OL i 1994 og består av fem olympiske arenaer; Lysgårdsbakkene hoppanlegg, Håkons hall, Birkebeineren skistadion, Lillehammer Olympiske bob- akebane og Lillehammer snøpark (Olympiaparken.no 2022b). I dette caset er hoppanlegget, skistadion og Snøparken vurdert, da det er disse anleggene som vil ha mest potensial før økt snøsikkerhet fra evt. TIS produksjon. I disse arenaene er det plassert 14 snøkanoner og 15 lanser totalt. Sesongen til Lillehammer Olympiaparken varer fra desember til ut mars.



**Figur 4 Planområdet, Olympiaparken ("Tematisk Kommunedelplan Olympiaparken" 2009)**



Lysgårdsbakkene hoppanlegg er selve kjennetegnet på Lillehammer. Hoppanlegget består av to hoppbakker på HS140 og HS98, vist i delområde C i figur 4. Før sesongstart tilføres snø til anlegget ved hjelp av viftekanoner. Ved behov distribuerer hoppbakkene snø fra et snølager ved å blåse den ut i bakken gjennom rør. Totalt snøvolum for å dekke bakkene er 4630 m<sup>3</sup>. Snøparken ligger like ved hoppanlegget. Dette er en arena for kjelekjøring og alpint. Ønsket snøvolum er her på ca. 13 000 m<sup>3</sup>. I delområde D, finner man Birkebeineren ski- og skytterstadion. Her arrangeres det idretts- og kommersielle arrangementer gjennom hele året (Olympiaparken.no 2022a). Ønsket er volum 37 000 m<sup>3</sup>. Like ved Birkebeineren er det opparbeidet et snølager, som brukes til å supplere snø ut i løypene ved behov. Snøen lagres over sommeren, slik at det ved sesongstart er minimum 25 000 m<sup>3</sup> snø klart for utkjøring. Snølageret benytter sagflis som tildekkingsmateriale for å redusere avsmeltingen. Det er ressurskrevende og dyrt å fjerne og legge på sagflisen. I tillegg må den skiftes etter to sesonger og dette medfører ekstra kostnader for skianlegget. Tabell 1 oppsummerer ønsket snømengde for alle anleggene.

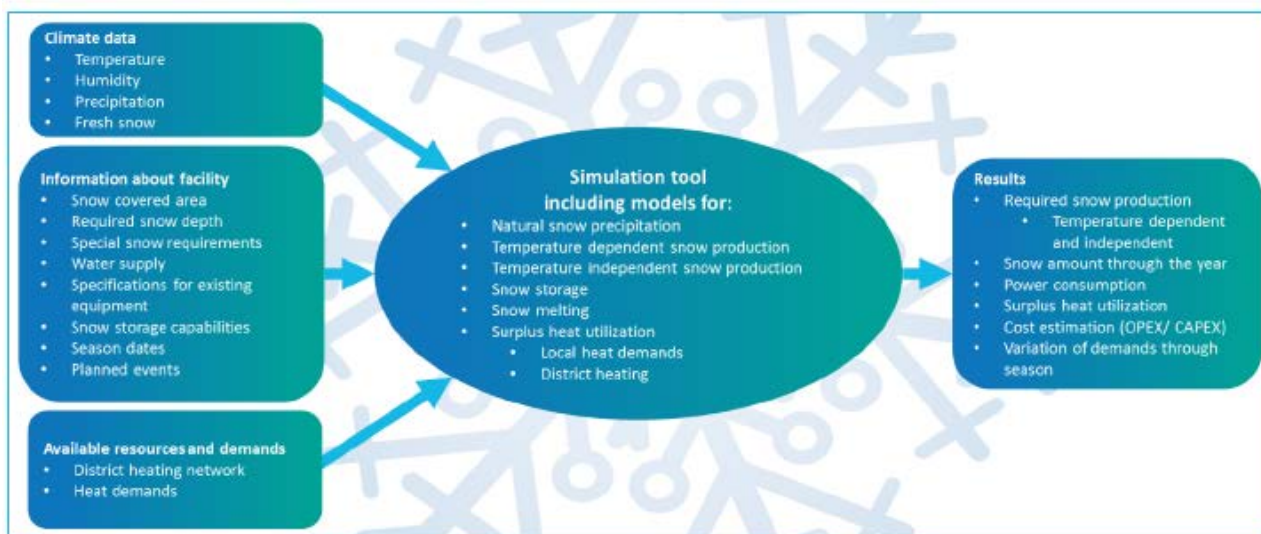
**Tabell 1: Mengde snø i de ulike sektorene**

Lokasjon	Volum
<b>Lysgårdsbakkene hoppanlegg</b>	
HS140	2 447 m <sup>3</sup>
HS98	2 190 m <sup>3</sup>
Totalt	4 637 m <sup>3</sup>
<b>Snøparken</b>	
Snøparken	6 462 m <sup>3</sup>
Snøparken toppen	2 799 m <sup>3</sup>
Snøparken sletta	2 480 m <sup>3</sup>
Totalt	12 861 m <sup>3</sup>
<b>Birkebeineren ski- og skytterstadion</b>	
Skistadion	37 000 m <sup>3</sup>
<b>Snølageret</b>	
Ønsket snømengde, sesongstart	25 000 m <sup>3</sup>
<b>Totalt volum, alle anlegg inkl. lager</b>	<b>79 492 m<sup>3</sup></b>

### 3 Teknisk analyse

I dette kapittelet er det analysert to ulike case scenario. I case 1 analyseres hvordan dagens situasjon mht. snøsikkerhet og sesonglengde ser ut i Lillehammer Olympiapark, basert på eksisterende produksjonskapasitet med lanser og kanoner (TDS), samt bruk av snølageret. I case 2 analyseres hvordan integrasjon av TIS som et tillegg kan bidra til å utvide sesonglengden.

De tekniske utregningene som er gjort i denne rapporten, baserer seg på et verktøy for snøsimulering som er utviklet gjennom prosjektet Snow for the Future. Dette benytter bl.a. anleggsparametere og klimadata for å modellere mengde snø i anlegget, ekstra snøbehov, produksjonskapasitet, strømforbruk og varmeproduksjon for et vintersportanlegg (Trædal 2018b).



**Figur 5: Simuleringsverktøyet for vintersportsanlegg som er benyttet i analysen (Trædal 2018a)**

### 3.1 Klimadata

Klimadata for Lillehammer Olympiaparken er hentet fra ShinyWeatherData (SWD). Denne databasen er basert på ERA5 reanalyse og kan brukes for å gi estimert time for time modeller for ønsket nøyaktig lokasjon (Hersbach et al. 2020). Faktiske målinger fra værstasjoner i nærheten gir i utgangspunktet mer nøyaktig datagrunnlag. Ulempen med dette er dessverre at det ofte er store hull i time for time oppløsningen i måledataene over lengre tidsperioder, for eksempel fordi sensorene ikke fungerer. Dette er krevende å databehandle og medfører at man må gjøre antakelser som fører til store unøyaktigheter. Klimadata innhentet fra SWD, baserer seg på perioden 01.01.2007 - 22.06.2022. Data som er innhentet inkluderer temperatur, relativ luftfuktighet, og nedbør, som er videre brukt i snømodellen.

### 3.2 Snøproduksjon i anlegget

For å produsere snø trengs vann. Tilgang på vann er ifølge Olympiaparken ubegrenset, og er tatt hensyn til i modellen. Lillehammer Olympiapark starter utkjøring av snø fra snølageret i november. I tillegg produseres 12 000 m<sup>3</sup> direkte i løypene i skistadion i november med viftekanoner, 8 000 m<sup>3</sup> i hoppbakkene med viftekanoner, og 15 000 m<sup>3</sup> i traseene i Snøparken i desember, hovedsakelig med lanser og resten med viftekanoner.

For å modellere Olympiaparken er snømodellen delt opp i fire sektorer; Snølager, Birkebeineren, Hoppbakken og Snøparken. Antall snøkanoner og lanser må fordeles på de ulike sektorene. I dag er det åtte viftekanoner av modellen Areco 32A på Birkebeineren ski- og skytterstadion. Det forutsettes at to av disse benyttes for å tilføye snø til snølageret, vist i tabell 3. Hoppanlegget består av fire Areco 63A viftekanoner, som flyttes til Lillehammer snøpark etter bruk. Det forutsettes derfor at snøparken har to Areco 63A i videre beregninger. Snøparken består i tillegg av 15 lanser av modellen Toppteknik TG 3 EVO i heistraseen, to stk. DemacLenko viftekanoner. Olympiaparken opplyser at sesongen starter i desember og varer ut mars. I snømodellen er ønsket sesongstart satt til 1. november mens sesongslutt er satt til 1. april, som tilsvarer 151 dager i et normalår. Det betyr at snøproduksjon fra kanoner og lanser foregår i denne perioden, dersom forholdene ligger til rette for det.

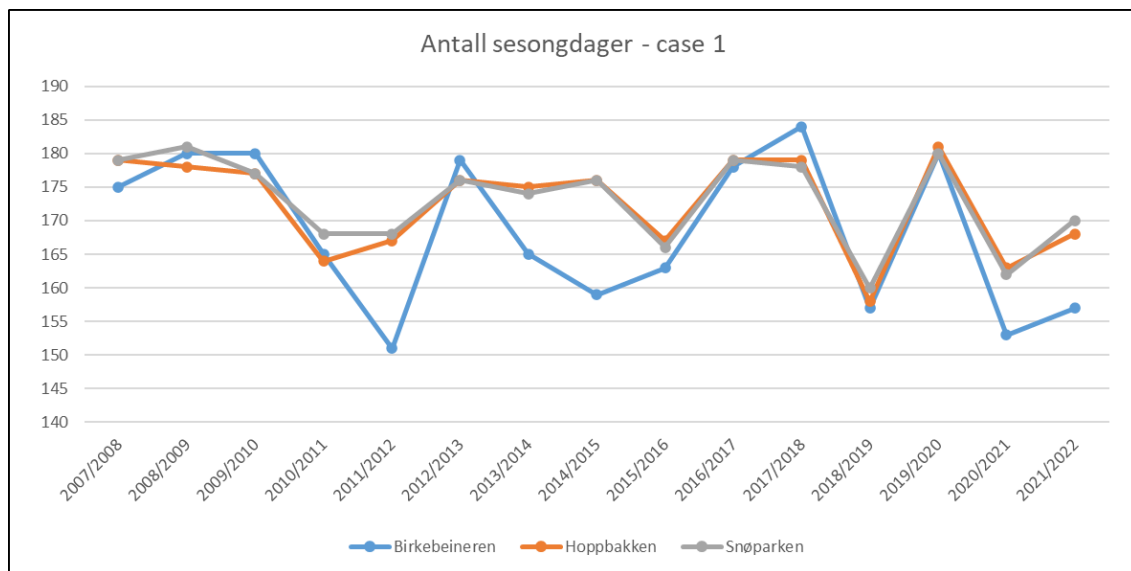
**Tabell 2: Oppsummering av infrastruktur for snøproduksjon og produksjonskapasitet ( $T_w$  angir våtkuletemperatur)**

	<b>Snølageret</b>	<b>Birkebeineren</b>	<b>Hoppbakken</b>	<b>Snøparken</b>
Ønsket snømengde	25 000 m <sup>3</sup>	37 000m <sup>3</sup>	4000 m <sup>3</sup>	12 000 m <sup>3</sup>
Snømodell	Areco 32A	Areco 32A	Areco 63A	Areco 63A & DemacLenko, TG3
Antall snøkanoner	2	6	4	4
Antall lanser	0	0	0	15
Anslått Produksjonskapasitet (m <sup>3</sup> /h)				
$T_w$ : -2°C	22,4	67,1	65,8	106,4
$T_w$ : -7°C	52,9	158,6	170,8	364,1

### 3.3 Casebeskrivelse og resultater

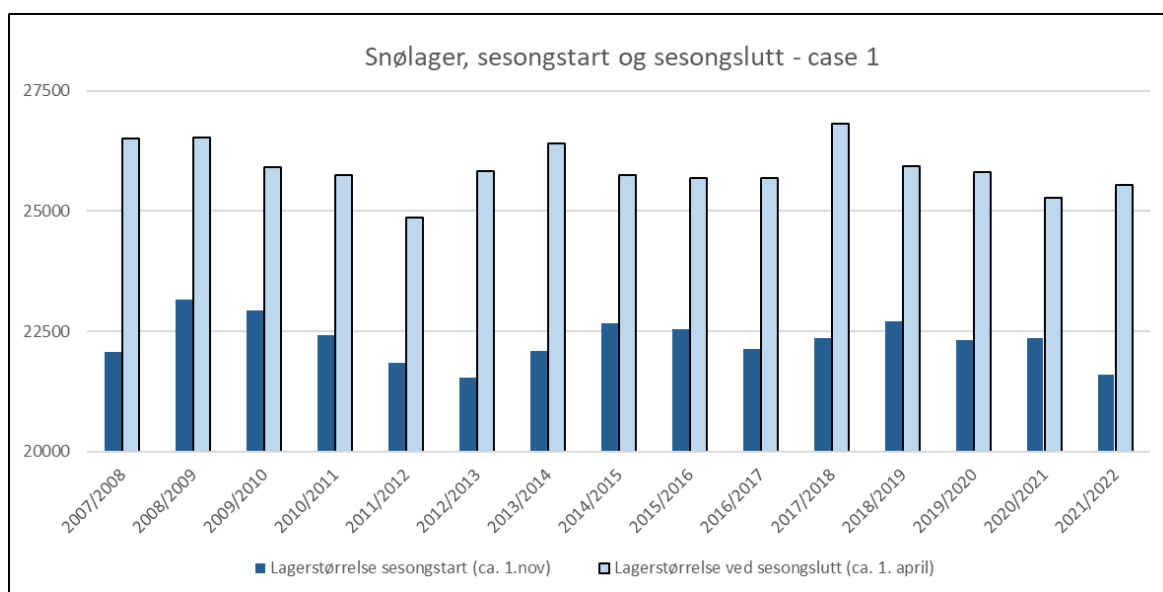
#### 3.3.1 Case 1: TDS + lager

I case 1 er sesongstart satt til 1. november, startdato for distribusjon av snø fra lageret er satt til 25. oktober. Figur 6 angir antall sesongdager for de ulike sektorene. Resultatene viser gjennomsnittlig sesonglengde for Birkebeineren, Hoppbakken og Snøparken på hhv. 168, 172 og 173 dager, altså lenger enn 151 dager som er ønsket sesonglengde. De viser også at det ofte er tilstrekkelig med snø til langt utpå april, og noen ganger så sent som midten av mai. I motsatt enda av sesongen viser resultatene at det kan være utfordringer med å starte sesongen til 1. november. I enkelte år beregnes sesongstart så sent som 22. november. Videre ser det også ut som at det er noe større variasjon i antall dager med sesong for Birkebeineren enn de to andre sektorene, og at i milde sesonger blir snøsikkerheten en del dårligere her. Dette har trolig sammenheng med at det er en større mengde snø som kreves for å dekke denne sektoren.



**Figur 6: Antall sesongdager per sektor for case 1**

Figur 7 viser størrelse på snølageret i kubikk ved sesongstart og sesongslutt fra sesongen 2007/2008 til og med 2021/2022. Ut ifra grafen var snølageret på sitt største i perioden sesongen 2008/2009. Det er lagt til grunn at kapasiteten på snølageret er ca. 25 000 m<sup>3</sup>. Modellen viser at typisk 3 000 m<sup>3</sup> (10-15%) smelter i løpet av sommeren, slik at man står igjen med ca. 22 000 m<sup>3</sup> til sesongstart.



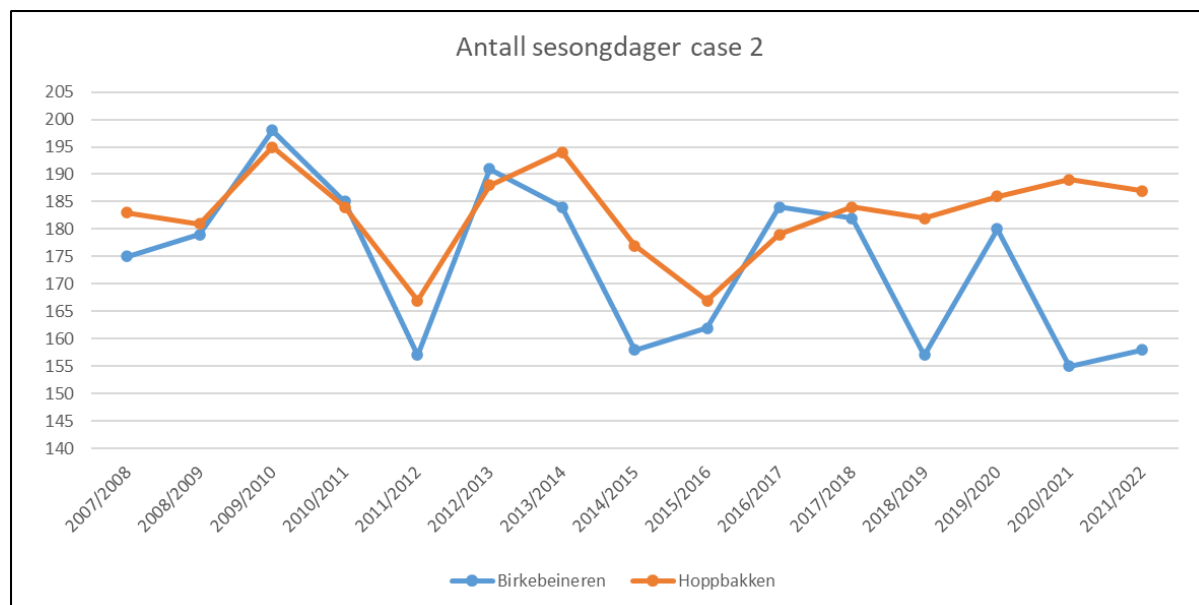
**Figur 7: Mengde snø i snølager ved sesongslutt og sesongstart for case 1**

### 3.3.2 Case 2 TDS + lager + TIS

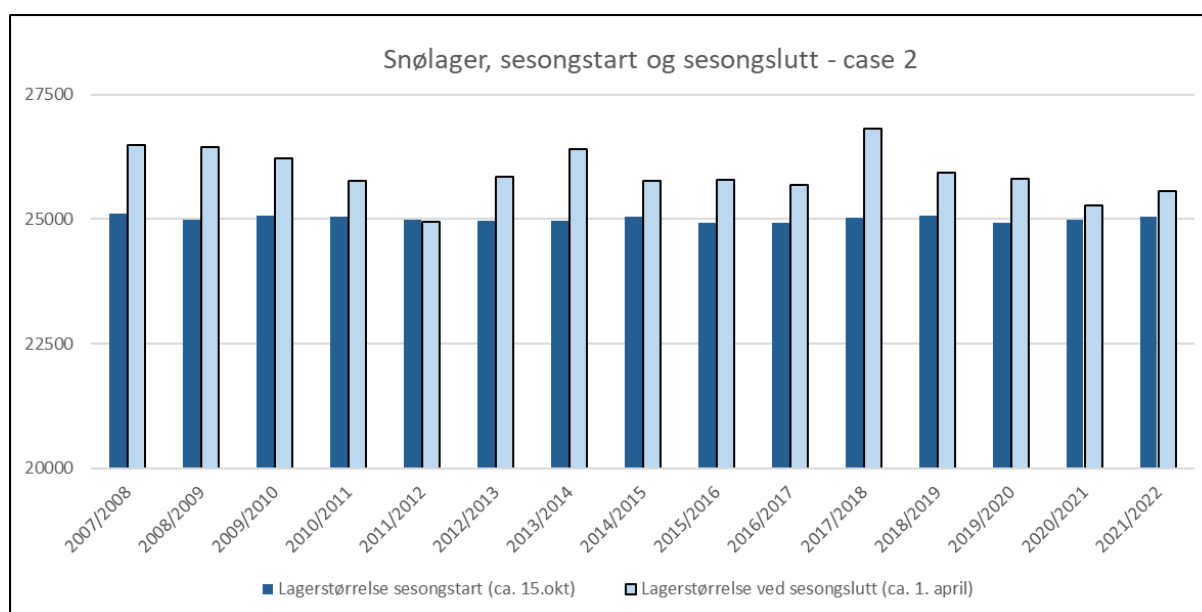
Ved bruk av TIS er det mulig å starte produksjon av snø tidligere. I dette caset er det analysert med en TIS-maskin ved snølageret som produserer snø til lagring. Produksjonen starter fra og med 1. august, mens distribusjon av snø fra lager starter 10. oktober. Sesongstart settes til 15. oktober, altså ca. 2 uker tidligere enn i case 1. Det er vurdert slik at det ikke er realistisk at snølageret supplerer snøparken med snø pga. lange avstander. TIS-produksjon vil ikke ha direkte innvirkning på sesonglengden her, så det er endringen i sesonglengden for Birkebeineren og Hoppbakken som er studert. Rent praktisk så vil etablering av en TIS-maskin kunne frigjøre flere viftekanoner til snøparken, men dette er ikke vurdert i analysen.

Figur 8 viser antall sesongdager for Birkebeineren og Hoppbakken, ift. case 1 så har gjennomsnittlig sesonglengde økt med hhv. 6 og 11 dager. I enkelte sesonger er det en økning på 15-20 dager, mens i andre sesonger er det ingen økning. I modellen så har Birkebeineren førsteprioritet til å motta snø fra lageret. Den begrensede lagerstørrelsen gjør at hoppbakken i mange sesonger ikke mottar snø fra lageret, og den økte sesonglengden her skyldes hovedsakelig at viftekanonene starter opp tidligere ift. case 1.

Selv med TIS-produksjon så er sesonglengden og effekten variabel. Det har sammenheng med lagerstørrelse og produksjonskapasitet. TIS-maskina er i modellen satt til å produsere inntil et volum på 25 000 m<sup>3</sup> snø i lageret er oppnådd. Resultatene viser at ved å øke størrelsen på snølageret kan TIS-maskina utnyttes i enda større grad. Produksjonskapasiteten til TIS-maskina er en annen faktor. I perioder med høye temperaturer så er ikke produksjonskapasiteten tilstrekkelig til å veie opp for mengden snø som smelter, f.eks på høsten. Over lengre perioder kan dette medføre at snødybden minker til under et minimumsnivå (satt til 0.3 m). Figur 9 viser til størrelsen på snølageret ved bruk av en TIS-maskin med kapasitet på 220 m<sup>3</sup>/d. En snømengde på 25 000 m<sup>3</sup> oppnås ved sesongstart for alle sesonger.

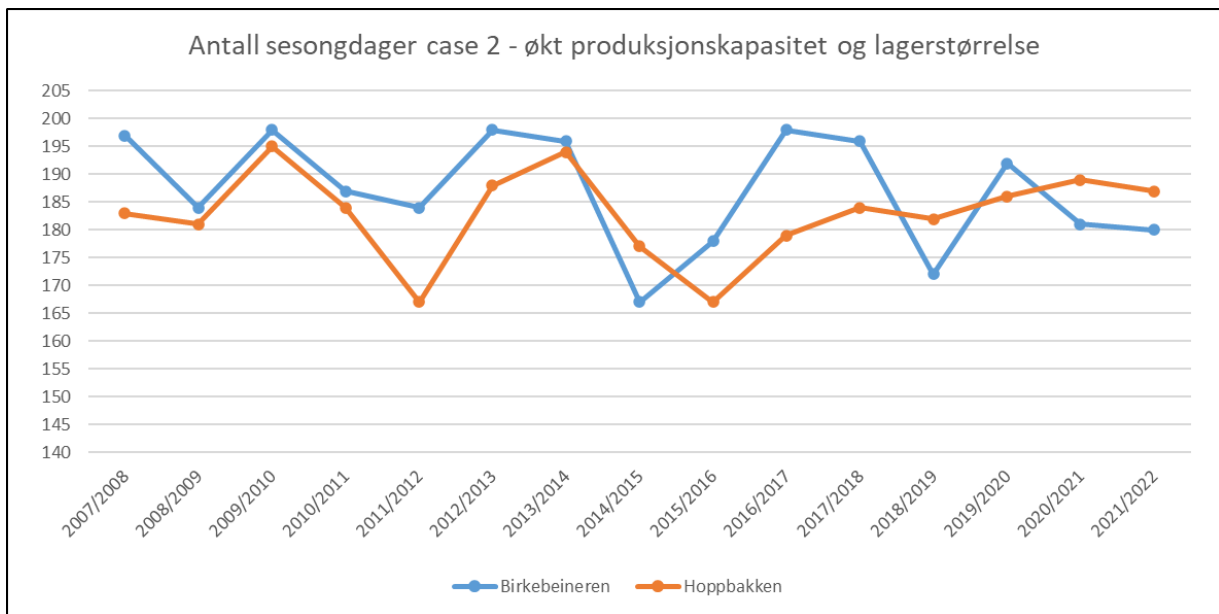


**Figur 8: Antall sesongdager per sektor for case 2**

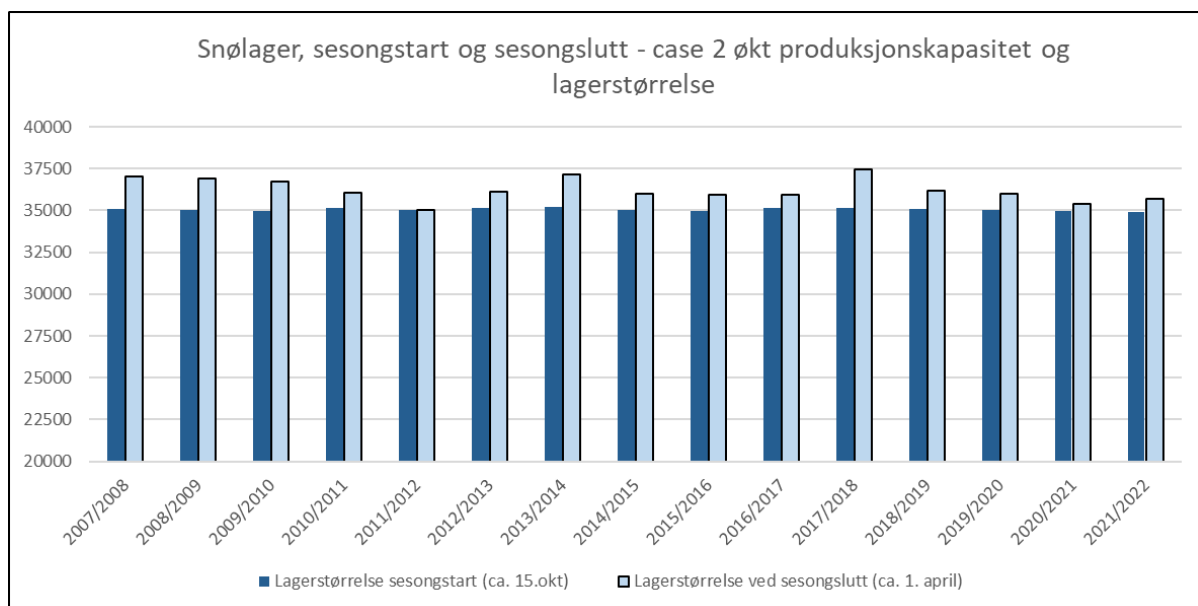


**Figur 9: Mengde snø i snølager ved sesongslutt og sesongstart for case 2**

Som et alternativ i case 2, er det gjennomført samme beregning, men med økt produksjonskapasitet til 400 m<sup>3</sup>/d. I tillegg er maksimal snølagerstørrelse økt med 10 000 m<sup>3</sup> til 35 000 m<sup>3</sup>. Figur 10 viser resultatene på sesonglengde for de ulike sektorene. For Birkebeineren øker sesonglengden med 14 dager ift. case 2. Økt lagerstørrelse og TIS-produksjonskapasitet gir dermed store utslag for Birkebeineren, mens resultatene viser at det ikke gir utslag for hoppbakken. Dette har sammenheng med at total snømengde i lageret inn mot sesong fortsatt er mindre enn ønsket snømengde for Birkebeineren, og det er dermed ikke noe til overs for evt. distribusjon ut mot hoppbakken. Figur 11 viser størrelsen på snølageret ved bruk av en TIS-maskin med kapasitet 400 m<sup>3</sup>/d, og maksimal lagerstørrelse på 35 000 m<sup>3</sup>. En snømengde på 35 000 m<sup>3</sup> oppnås ved sesongstart for alle sesonger.



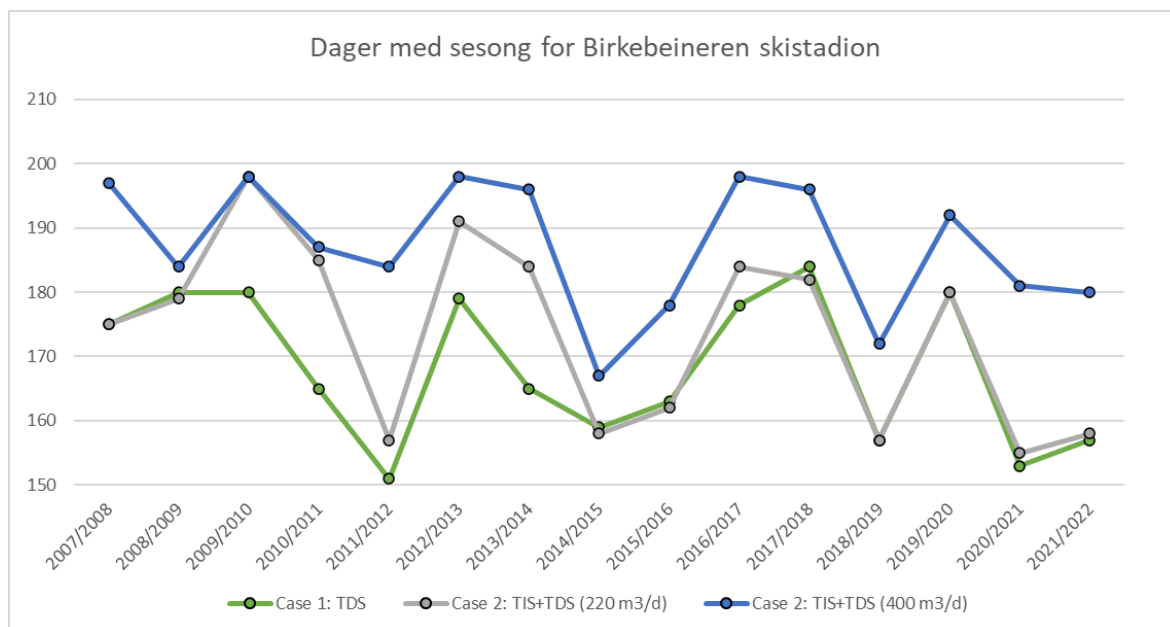
**Figur 10: Antall sesongdager per sektor for case 2 med økt produksjonskapasitet for TIS og lagerstørrelse**



**Figur 11: Mengde snø i snølager ved sesongslutt og sesongstart for case 2 med økt produksjonskapasitet for TIS og lagerstørrelse**

I Figur 12 ser man en sammenligning mellom alle casene på antall sesongdager for Birkebeineren skistadion. Resultatene viser at temperaturuavhengig snøproduksjon i seg selv øker antall sesongdager i enkeltsesonger, men at effekten er markant forbedret dersom dette kombineres med økt produksjonskapasitet og økt størrelse på snølageret.





**Figur 12: Antall sesongdager for alle casene, Birkebeineren**

### 3.4 klimaavtrykk

93% av energikilden som benyttes i Lillehammer fjernvarmenett er skogflis (Cochard 2018). Den anbefalte utslippsfaktoren for skogflis er 9 gCO<sub>2</sub>e/kWh (Belgium Torstensen 2020). For å sikre nok effekt benyttes gasskjeler i kalde perioder. Grunnet nærhet til vannmagasinet for Lillehammer, bruker anlegget den fossile gassen LPG da de ikke får lagre olje på tomten. Siden hensikten med TIS er å produsere snø ved plussgrader, når lanser og kanoner ikke kan, vil et slikt anlegg trolig ikke benyttes i kalde perioder da det er behov for spisslast. Jeg ser derfor vekk ifra denne energikilden. Anbefalt utslippsfaktor for elektrisitet er totalt 18 gCO<sub>2</sub>e/kWh (Belgium Torstensen 2020).

Det er utført en beregning av utslipp i form av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for snøproduksjon for snømaskinen Areco 32A (viftekanon), plassert i Olympiaparken, og to TIS teknologier, flakis og vakuum, vist i tabell 3. Spesifikt kraftforbruk for viftekanon er basert på tall fra Tveten (2020), Snøkompetanse.no, samt Aasen m.flere (2022). Totalt klimaavtrykk baserer seg på en årsproduksjon på 25 000 m<sup>3</sup>.

**Tabell 3: Beregning av klimaavtrykk**

Beregning av CO <sub>2</sub> -ekvivalent	Flakis	Areco 32A	Vakuum
Ønsket snøvolum	25 000m <sup>3</sup>	25 000m <sup>3</sup>	25 000m <sup>3</sup>
Energikilde	Elektrisitet	Elektrisitet	Varme
CO <sub>2</sub> - faktor	18 gramCO <sub>2</sub> e/kWh	18 gramCO <sub>2</sub> e/kWh	9 gramCO <sub>2</sub> e/kWh
Spesifikt energiforbruk	32 kWh/m <sup>3</sup>	0,97 kWh/m <sup>3</sup>	50 kWh/m <sup>3</sup>
Utslipp per kubikk snø	576 gramCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	17,5 gramCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	450 gramCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
<b>Totalt</b>	<b>14,4 tonn CO<sub>2</sub>e</b>	<b>0,43 tonn CO<sub>2</sub>e</b>	<b>11,25 tonn CO<sub>2</sub>e</b>

### 3.5 Resultater

Figur 8 tilsier at bruk av tradisjonell viftekanon basert på elektrisitet gir klart lavest klimagassutslipp. Det vil likevel trolig være et behov for å kombinere dette med snøproduksjon med TIS-teknologi i fremtiden pga. mildere temperaturer. Ved å sammenligne de temperaturuavhengige snøproduksjonsteknologiene, ser man flakisteknologi er energieffektiv og har lavere spesifikt energiforbruk per m<sup>3</sup> snø produsert sammenlignet med vakuumteknologi da denne i dette tilfellet er basert på varme.

Fordelen med å bruke varme er at dette kan baseres på overskuddsvarme, og vil i et slikt tilfelle føre til ingen utslipp. I dette tilfellet så er energikilden skogflis som har en utslippsfaktor lik halvparten av elektrisitet. Det fører til at CO<sub>2</sub>-utslippene ved å bruke vakuum-teknologien likevel er noe lavere enn flakisteknologi på tross av lavere energieffektivitet. Dette tilsier at det i dette tilfellet er mer klimavennlig å produsere TIS basert på varme, enn elektrisitet.

## 4 Økonomisk analyse

Siden varmedrevet snøproduksjonssystemer er relativt ineffektive sammenlignet med elektrisitetsdrevne vil økonomien i et slik investering være avhengig av den relative prisen mellom elektrisitet og varme. I dette kapitlet gjennomføres en økonomisk analyse av kostnadene ved bruk av TIS i Olympiaparken, både ved bruk av elektrisitet og varme.

### 4.1 Parametere

Pris på strøm er hentet fra NordPool sin database. Gjennomsnittlig strømpris for NO1 i perioden 01.01.2008-03.04.2022 er brukt som konstant verdi. Prisen på fjernvarme settes basert på strømprisen ved å ta 25%, 50%, 75% og 100% rabattert pris vist i tabell 4. Årsaken til variasjonen i pris på fjernvarme skyldes både at et prisestimat fra den aktuelle leverandøren ikke er gitt og at prisen på fjernvarme varierer mellom ulike leverandører basert på energikilde og årstid. For eksempel vil fjernvarme produsert fra avfallsforbrenning på sommerstid kunne ha en svært gunstig pris.

**Tabell 4: Strømpris**

Gjennomsnittspris, NO1	Utgangspunkt	Kostnad
El. spot inkl. nettleie		0,564 NOK/kWh
Pris fjernvarme (25% rabatt)	0,564 NOK/kWh x 0,75	0,423 NOK/kWh
Pris fjernvarme (50% rabatt)	0,564 NOK/kWh x 0,50	0,282 NOK/kWh
Pris fjernvarme (75% rabatt)	0,564 NOK/kWh x 0,25	0,141 NOK/kWh
Pris fjernvarme (100% rabatt)	0,564 NOK/kWh x 0,0	0,000 NOK/kWh

*Kilde: Data estimert fra NordPool, 01.01.2018 – 30.04.2022*

Basert på oversikten over de ulike TIS-teknologiene på snøkompetanse.no vil kostnaden for en flakismaskin med en produksjonskapasitet på 220 m<sup>3</sup>/d være ca 7 MNOK. Til sammenligning vil en Vakuummaskin med langt høyere produksjonskapasitet (860 m<sup>3</sup>/d) være opp mot 35 MNOK. For å sammenligne investeringskostnaden basert på lik produksjonskapasitet skaleres disse lineært. Utgangspunktet for sammenligning blir dermed to produksjonskapasiteter per teknologi, 220 m<sup>3</sup>/d og 400 m<sup>3</sup>/d. Dette gir en investeringskostnad som vist i Tabell 6.

Vakuump teknologien er i tillegg avhengig av rørledninger fra fjernvarmenettverket. En pris for legging av rør ved ulike dimensjoner er anslått basert på verdier fra Brødrene Dahl. Pris for grøftegraving er estimert ved bruk av Bioen AS sin rapport om kostnader for utbygging av fjernvarme (Bioen AS 2010). I kommunekart er avstanden fra Kleivbakken til snølageret, målt ved å følge birkebeineren nordover. Kleivbakken har en dimensjon på DN80. Prisen på kundesentral er estimert og inflasjonsjustert ved bruk av Bioen sin rapport. Investeringskostnaden knyttet til fjernvarme er vist i tabell Tabell 5. I den videre økonomiske analysen er denne kostnaden ikke inkludert. Det ville vært lite trolig at Olympiaparken tok denne kostnaden alene, så denne tabellen er ment for å gi en indikasjon av hva en slik fjernvarmeutbygging kan komme til å koste. En sannsynlig løsning vil være at fjernvarmeselskapet står for investeringen mens evt. kunder som knytter seg til et slikt nett måtte betale et anleggsbidrag eller andre fastledd.

**Tabell 5: investeringskostnader fjernvarme**

Element	Verdi
Rørkostnad for DN80	45 kr/m
Arbeidskostnad	2 990 kr/m
Lengde Kleivbakken-snølager	4040 m
Kostnad ved legging av rør	12,3 millioner kr
Kundesentral (200kW)	0,20 millioner kr
Kundesentral (400kW)	0,24 millioner kr
Sum	12,5 millioner kr

Kostnad for vedlikehold av bygninger har anslått til 1% av investeringskostnaden. Et ejektorbasert kjølesystem består av mange ikke-bevegelige komponenter, og det anslås derfor at vedlikeholdskostnadene for en vakuummaskin er noe lavere enn for flakis. Derfor er denne satt til 0,5% av investeringskostnaden for vakuump, og 1% av investeringskostnaden for flakis. Det vil i tillegg være noe elektrisitetsforbruk i en varmedrevet vakuummaskin knyttet til diverse pumper, men dette er neglisjert i analysen. Pris på kundesentral er inflasjonsjustert, og supplert til kostnaden for «diverse/bygninger» for vakuump teknologien. En rente på 4% er satt for å få en realistisk fremtidig pris. Kostnaden for drift vil endre seg ut ifra hvilken teknologi man velger.

Kostnaden for fjernvarme avhenger av den rabatterte prisen man kan oppnå. Det er derfor tatt utgangspunkt i de fire forskjellige scenarioene angitt i Tabell 4 (25%, 50%, 75% og 100% prisrabatt ift. strømpris). Dette resulterer i en energipris for snøproduksjon for vakuump teknologien fra 0 kr/m<sup>3</sup> opp til 21.2 kr/m<sup>3</sup>. Årlig mengde snø som produseres er 25 000 m<sup>3</sup> i alle casene.

**Tabell 6: Kostnadssammenligning ulike TIS-teknologier**

Teknologi	Flakis (220 m <sup>3</sup> /d)	Vakuump (220 m <sup>3</sup> /d)	Flakis (400 m <sup>3</sup> /d)	Vakuump (400 m <sup>3</sup> /d)
Investeringskostnad (kr)	7 000 000	8 953 488	12 727 273	16 279 070
Ønsket snømengde (m <sup>3</sup> )	25 000	25 000	25 000	25 000
Energipris per m3 snø (kr/m <sup>3</sup> )	18.1	0 – 21.2	18.1	0-21.2
	(strøm)	(varme)	(strøm)	(varme)
Diverse/bygninger (kr)	500 000	294 761	500 000	346 697
Årlig vedlikehold, snømaskin (kr)	70 000	44 767	127 273	81 395
Årlig vedlikehold, bygninger (kr)	5 000	2 948	5 000	3 467
Rentekrav (%)	4	4	4	4

## 4.2 Resultater

Tabell 7 viser en oversikt over totale investeringskostnader, årlige kostnader og akkumulerte kostnader for år 5, 10 og 15 for flakis- og vakuumenteknologien ved en kapasitet på 220 m<sup>3</sup>/d. Resultatene viser at varmedrevet snøproduksjon basert på vakuumenteknologi vil ha en høyere investeringskostnad enn en flakismaskin. De årlige utgiftene er hovedsakelig drevet av energikostnaden for å produsere snø. Fordi den varmedrevne maskina er mer energikrevende, viser sensitivitetsanalysen at prisrabatten på fjernvarme ift. strømpris må være godt over 25% for at de årlige energikostnadene skal være lavere for vakuum enn for flakis.

Resultatene for akkumulerte kostnader viser at 50% prisrabatt er nødvendig for at vakuum over tid kan lønne seg sammenlignet med flakis. Selv da er forskjellen marginal – kun 300 kNOK spart over en periode på 15 år. Ved 75% prisrabatt blir lønnsomheten betraktelig høyere. Da beregnes lik akkumulert kostnad ved 5 år, mens over 15 år beregnes besparelsen til 3.1 MNOK.

**Tabell 7: kostnadssammenligning mellom TIS produksjon (220 m<sup>3</sup>/d) basert på flakis og vakuum ved ulike prisrabatter på fjernvarme ift. strøm, alle priser i millioner kroner**

Teknologi	Flakis (El.)		Vakuum (varmedrevet)		
Prisrabatt fjernvarme ift. strømpris	-	25%	50%	75%	100%
Investeringskostnad	7.5	9.2	9.2	9.2	9.2
Inkl. diverse/bygninger					
Faste utgifter (+ 4% årlig rente)	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05
Årlig energikostnad	0.45	0.53	0.35	0.18	0
Akkumulert kostnad år 5	10.6	12.7	11.6	10.6	9.5
Akkumulert kostnad år 10	13.3	15.6	13.6	11.7	9.7
Akkumulert kostnad år 15	15.9	18.5	15.6	12.8	10.0

Tabell 8 viser samme oversikt som Tabell 7 men her er daglig produksjonskapasitet på 400 m<sup>3</sup>/d. Fordi årlig snøproduksjon er den samme som i forrige tabell forblir årlig energikostnad og den samme. Den økte investeringskostnad utgjør dermed en høyere andel av de akkumulerte kostnadene, og fordi vakuumenteknologien er dyrere i innkjøp er en enda høyere prisrabatt nødvendig for at dette skal lønne seg. Resultatene viser at en vakuum-maskin først blir marginalt lønnsomt ved 75% prisrabatt, med en akkumulert besparelse på 500 kNOK over en periode på 15 år. For å oppnå høyere lønnsomhet må årlig snøproduksjon økes.

**Tabell 8: kostnadssammenligning mellom TIS produksjon (400 m<sup>3</sup>/d) basert på flakis og vakuum ved ulike prisrabatter på fjernvarme ift. strøm, alle priser i millioner kroner**

Teknologi	Flakis (El.)		Vakuum (varmedrevet)		
Prisrabatt fjernvarme ift. strømpris	-	25 %	50 %	75 %	100 %
Investeringskostnad	13.2	16.6	16.6	16.6	16.6
Inkl. diverse/bygninger					
Faste utgifter (+ 4% årlig rente)	0.13	0.08	0.08	0.08	0.08
Årlig energikostnad	0.45	0.56	0.35	0.18	0.00
Akkumulert kostnad år 5	16.6	20.1	19.0	18.0	16.9
Akkumulert kostnad år 10	19.6	23.0	21.1	19.1	17.2
Akkumulert kostnad år 15	22.5	25.9	23.1	20.3	17.4

## 5 Konklusjon

I denne rapporten er det gjennomført en tekno-økonomisk analyse for å konkretisere potensialet ved å utnytte fjernvarme til temperaturuavhengig snøproduksjon (TIS) på en økonomisk, klimavennlig og effektiv måte. Hensikten er å se om bruk av fjernvarme til produksjon av snø kan øke sesonglengden og forsyningssikkerheten til Lillehammer Olympiapark. Teknologien som er vurdert er en varmedrevet vakuum-maskin basert på ejektorteknologi. Denne er sammenlignet med en elektrisitetsdrevne flakismaskin.

Analysen på snøsikkerhet viser at anleggene Birkebeineren, Lysgårdsbakkene og snøparken allerede er relativt snøsikre. Dette skyldes at det er god kapasitet på kunstsnowproduksjon fra viftekanoner og lanser, samt gode klimaforhold for snøproduksjon. I tillegg benyttes et snølager for sikre skiforhold tidlig på sesongen.

Analysen viste at TIS produksjon øker sesonglengden med 6 og 11 dager for hhv. Birkebeineren og Hoppbakken gitt en produksjonskapasitet på 220 m<sup>3</sup>/d. I enkelte sesonger øker sesonglengden med 15-20 dager, mens i andre er det ingen forskjell. Ved å øke størrelsen på snølageret fra 25 000 m<sup>3</sup> til 35 000 m<sup>3</sup>, samt øke produksjonskapasiteten til 400 m<sup>3</sup>/d økte gjennomsnittlig sesonglengde for Birkebeineren med ytterligere 14 dager. TIS produksjon vil kunne være et fremtidig supplement til den eksisterende snøproduksjonen, samt være en garanti i milde vintre. Analysen viste at TIS produksjon sikrer også at ønsket størrelse på snølageret oppnås inn mot sesong i alle sesonger, noe som gjør det forutsigbart å planlegge for tidlig sesongstart.

Den økonomiske analysen viste at en varmedreven vakuum-maskin er både dyrere i innkjøp, og har lavere energieffektivitet enn en elektrisitetsdrevne flakismaskin. Det betyr at det er prisen på fjernvarme som avgjør om en slik investering kan være lønnsom. Med en produksjonskapasitet på 220 m<sup>3</sup>/d, samt et årsvolum på 25 000 m<sup>3</sup> snø viste analysen at en prisrabatt på 50% vil være nødvendig, og aller helst bør prisrabatten ligge nærmere 75% for at det skal utgjøre en signifikant forskjell.

En analyse på klimaavtrykk fra tradisjonell kunstsnowproduksjon fra viftekanon, samt de to TIS-teknologiene vakuum og flakis viste at produksjon av tradisjonell kunstsnow som ventet har et mye lavere klimaavtrykk. Siden energikilden til vakuum-maskina er skogsflis, som har halvparten av utslippsfaktoren til strøm, så fører dette til at varmedreven snøproduksjon får 22% lavere klimautslipp enn temperaturuavhengig snøproduksjon basert på elektrisitet. Dersom energikilden hadde vært overskuddsvarme, for eksempel fra avfallsforbrenning, ville det ført til 0 i utslipp.

### 5.1 Usikkerheter

Det er flere usikkerheter i datagrunnlaget for denne analysen. Investeringskostnaden for TIS, særlig for vakuumteknologien er usikker fordi den ikke er utbredt i dag. Den lineære skaleringen av investeringskostnader basert på produksjonskapasitet er også et estimat med høye usikkerheter. Strømprisen er et annet usikkerhetsmoment. Basert på den økte strømprisen det siste året kan det medføre at alternative oppvarmingskilder til strøm, som f.eks. fjernvarme blir mer gunstige i fremtiden. Samtidig vil prisen på fjernvarme også variere med strømprisen, og evt. fastsettelse av pris må gjøres sammen med fjernvarmeleverandør. Investeringskostnadene for utbygging av fjernvarme er som forklart ikke inkludert i den økonomiske analysen. Et mer nøyaktig resultat forutsetter både en mer detaljert prosjektering av kostnader samt prissetting av et evt. anleggsbidrag fra Olympiaparken.

## 6 Videre studie

I et videre studie anbefales det å innhente mer kostnadsdetaljer for å konkretisere lønnsomheten til en varmedrevet TIS-maskin, sammenlignet med en elektrisitetsdrevet TIS-maskin. Det forutsetter at innkjøps- og installasjonskostnader innhentes fra de aktuelle leverandørene av de TIS systemene som sammenlignes. I tillegg må konkret energipris og evt. anleggsbidrag for fjernvarme beregnes. Det bør også vurderes om det finnes oppvarmingsbehov i Olympiaparken som kan realiseres ved bruk av en elektrisitetsdrevet TIS-maskin. I så fall så bør dette inkluderes i analysen, da dette kan føre til at dette alternativet blir mer attraktivt.

## 7 Referanseliste

- Aalberg, John. 2022. "Snøproduksjon." Snøkompetanse.No. 2022.  
<https://snøkompetanse.no/snoproduksjon/2/>.
- Aasen, Ailo, Cecilia Gabriell, and Ole Marius Moen. 2022. "Heat-Driven Snow Production Applying Ejector and Natural Refrigerant." In *15th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants*.  
<https://doi.org/10.18462/iir.gl2022.0031>.
- Belgium Torstensen, Stine. 2020. "Klimaregnskap for Fjernvarme 2020."  
[https://www.fjernkontrollen.no/uploaded/files/2020\\_06\\_01\\_klimaregnskap\\_for\\_fjernvarme\\_2020.pdf](https://www.fjernkontrollen.no/uploaded/files/2020_06_01_klimaregnskap_for_fjernvarme_2020.pdf).
- Bioen AS. 2010. "Kostnader for Fjernvarmeutbygging."
- Cochard, Karin. 2018. "Klimaregnskap Og NOx Utslipp Eidsiva Fjernvarmenett." [www.sweco.no](http://www.sweco.no).
- Eidsivabioenergi.no. 2020. "Eidsiva Bioenergi - Lillehammer." 2020. <https://www.eidsivabioenergi.no/om-oss/vare-lokasjoner/lillehammer/>.
- Haugerud, Linda Pedersen, Anders Etterstøl, Kristine Fiksen, and Magnus Solli Haukaas. 2014. "Fjernvarmens Rolle i Energisystemet."
- Hersbach, Hans, Bill Bell, Paul Berrisford, Shoji Hirahara, András Horányi, Joaquín Muñoz-Sabater, Julien Nicolas, et al. 2020. "The ERA5 Global Reanalysis." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146 (730): 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/QJ.3803>.
- Joemann, Michael, René Völkel, Clemens Pollerberg, Lorenzo Podesta, and Francesco Besana. 2017. "All-Weather Snow Machine Driven by Solar Energy." <https://doi.org/10.18086/swc.2017.17.03>.
- Moen, Ole Marius. 2021. *Heat-Driven Snow Production*. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2753731>.
- "Norsk Fjernvarme, Energikilder." n.d.
- Olympiaparken.no. 2022a. "Birkebeineren Ski- Og Skiskytterstadion." 2022.  
<https://olympiaparken.no/arenaene/birkebeineren-ski-og-skiskytterstadion/>.
- . 2022b. "Historien Til Lillehammer Olympiapark." 2022. <https://olympiaparken.no/var-historie/>.
- Stensby, J.E. 2019. "Revidert Konsesjonskart Lillehammer."  
<https://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201906627/2825626>.
- "Tematisk Kommunedelplan Olympiaparken." 2009.
- Trædal, Stian. 2017. "Temperature Independent Snow Production."
- . 2018a. "Case Studies for Snow in Granåsen Ski Facility."
- . 2018b. "Description of Simulation Tool for Snow in Winter Sports Facilities."
- Tveten, Ingrid. 2020. "Project Memo Climate Friendly Snow Production," no. 7465: 1–34.