

Ole Jørgen Bogen Arenth

Bærekraftig produksjons- og distribusjonsstrategi – Snøproduksjon

Masteroppgave i Global Produksjonsledelse

Veileder: Jan Ola Strandhagen

Juni 2023

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon



Ole Jørgen Bogen Arenth

Bærekraftig produksjons- og distribusjonsstrategi – Snøproduksjon



Masteroppgave i Global Produksjonsledelse
Veileder: Jan Ola Strandhagen
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Kjære leser,

Jeg har nå vært elev på skolen siden jeg var seks år gammel i 2007. Når jeg kom hjem fra Skoger skole var det sjakk og lekser hos mine besteforeldre rett over gata på tidsplanen, der spiste jeg næringsrik puffa ris og hadde det helt fortreffelig! Jeg vil derfor rette en stor takk til min bestemor, Solveig Arenth, for å ha lært meg navn på fugler, samt kjenne dem igjen på lyder, noe jeg forlengst har glemt, og mye mer. Jeg vil også rette en stor takk til min bestefar, Egil Arenth, for å ha lært meg sjakk, noe jeg også har hatt glede av den dag i dag, samt en delt interesse for det tekniske. Ikke alle er like heldige som jeg har vært, med tanke på å ha noen til å hjelpe seg gjennom livet. De gikk bort høsten jeg startet på NTNU, i Trondheim, i 2018.

I min tid på NTNU har jeg vært heldig å få jobbe på Senter for idrettsanlegg og teknologi, med prosjektet godeidrettsanlegg.no. Dette har både vært lærerrikt og morsomt. Takk for god støtte og et fint arbeidsmiljø ved siden av studiene!

I mitt arbeid med hovedoppgave på Institutt for maskinteknikk og produksjon har jeg blitt bistått av min veileder Ola Strandhagen. Han er ikke bare en professor, men også en skientusiast, så veiledningsmøtene har ikke bare vært av den kjedelige sorten. En takk rettes også til orienteringsløper Heidi Arnesen, i Trondheim bydrift, for å ha vært behjelpelig med formulering av oppgave og for å ha stilt Granåsen Skiarena til disposisjon for en studie. Takk til stipendiat Sondre Auganæs, for gode diskusjoner og aspekter tilknyttet snøproduksjon. Takk til alle som stilte opp til intervju, og særlig takk til dere som lot meg komme på besøk for å fysisk se på anlegget. Stor takk til John Aalberg for å sette av tid til å gi meg en oppstartsdytt og dele informasjon rundt snøproduksjon, og takk til alle andre som tidligere har bidratt og fortsatt bidrar med kunnskap på fagfeltet!

Trondheim, Ole Jørgen Bogen Arenth



Sammendrag

Formålet med dette arbeidet har vært å kartlegge hva en bærekraftig snøproduksjons og distribusjonsstrategi innebærer. Målet var å vise til hvordan en kunne bruke teori fra produksjons- og distribusjonsstrategi til å finne ideelle løsninger for skianlegg med snøproduksjon.

Arbeidet ble begrenset ved at en kun så på langrennsanlegg, og det ble valgt å bruke Granåsen Skiarena som case. Dette for å vise til hvordan det praktisk kunne implementeres.

Metodene som ble brukt for å finne frem til resultatet var:

- Intervju med fagpersoner, anleggseiere og leverandører av utstyr
- Litteratursøk
- Analyse av værdata og produksjonskapasitet

Intervju og litteratur skulle bidra med kvalitativ kunnskap, mens værdataanalysen skulle kunne si noe med en viss sikkerhet basert på en kvantitativ analyse.

Resultatene som foreligger viser hvordan et skianlegg kan karakteriseres med en omdømmefaktor. Denne er bygd opp av følgende hovedelementer – som igjen er bygd opp av ulike avhengige og uavhengige parametere:

- Anlegg tilgjengelig (åpent)
- Løypedesign
- Miljøkostnad
- Snøkvalitet
- Økonomiske kostnader

Det ble også vist at ved å bruke måledata fra værstasjoner, så var det mulig å si noe om når anlegget ville åpne – gitt produksjonsstrategi.

Å sammenligne nytten av å ha anlegget åpent tidlig på senhøsten med kostnadene det medfører vil være viktig i en vurdering av produksjons- og distribusjonsstrategi. Økt folkehelse gir mindre helserelaterte utgifter for samfunnet [1],[2]. Å kunne utsette arrangementer til desember-januar vil ha noe å si med tanke på sannsynligheten for at anlegget vil være dekt med snø, som vist i resultatene.

Abstract

The purpose of this study has been to explore what a sustainable snow production and distribution strategy entails. The goal was to demonstrate how theories from production and distribution strategy can be applied to identify optimal solutions for ski facilities making their own snow.

The study was limited to cross-country skiing facilities, and Granåsen Ski Arena was chosen as a case study to illustrate practical implementation.

The methods used to achieve the results were:

- Interviews with experts, facility owners, and equipment suppliers
- Literature review
- Analysis of weather data and production capacity

Interviews and literature aimed to provide qualitative knowledge, while the analysis of weather data allowed for quantitative assessments with a certain degree of certainty.

The obtained results demonstrate how a ski facility can be characterized by a reputation factor, which consists of the following main elements, each comprising various dependent and independent parameters:

- Facility accessibility (open)
- Trail design
- Environmental cost
- Snow quality
- Economic costs

Furthermore, it was demonstrated that by utilizing measurements from weather stations, it was possible to predict the opening time of the facility based on the chosen production strategy.

Comparing the benefits of early fall facility opening with the associated costs will be crucial in evaluating the production and distribution strategy. Increased public health leads to reduced healthcare expenses for the society [1], [2]. The possibility of postponing events until December-January will have an impact on the likelihood of the facility being covered in snow, as shown in the results.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Innholdsfortegnelse	iv
Figurliste	viii
Tabelliste	ix
Ordliste	x
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling, målformulering og omfang	2
1.3 Leserveiledning	3
2 Metode	4
2.1 Gjennomført litteraturstudie	4
2.1.1 Kvalitetssikring av litteratur	4
2.1.2 Litteratursøk	4
2.2 Metode for intervju	5
2.2.1 Intervju med skianlegg	5
2.2.2 Intervju av leverandører	6
2.2.3 Intervju med fagpersoner	6
2.3 Metode for etablering av kravspesifikasjon	6
2.3.1 Produksjonskapasitets-analyse og identifisering av kravspesifikasjon for Granåsen Skiarena	7

3	Teori om bærekraft, snøproduksjon og snølogistikk	9
3.1	Betydning av bærekraft	9
3.1.1	Konkurrere på bærekraft	9
3.1.2	Bærekraftig ressursbruk	10
3.1.3	Verdikjedens karbonfotavtrykk	11
3.1.4	Bærekraft og folkehelse	12
3.1.5	FNs bærekraftsmål	12
3.2	Grunnleggende om snø	13
3.3	Snøproduksjon	13
3.3.1	Dyseteknologi – temperatur-avhengig	14
3.3.2	Kjøleteknologi	15
3.3.3	Kryoteknologi – temperatur-uavhengig	15
3.4	Snøhøsting - oppsamling av natursnø og eller gammel kunstsne	16
3.5	Parametere og produksjonskapasitet: temperatur-avhengige metoder	16
3.5.1	Kvalitet som parameter	16
3.5.2	Lufttemperatur og Våtkuletemperatur som parametere	17
3.5.3	Luftfuktighet og lufttrykk	18
3.5.4	Vind	19
3.5.5	Støy	19
3.5.6	Vanntemperatur, vannpumpe og luftkompressor	20
3.5.7	Snøproduksjon i et varmere klima	21
3.6	Fordele snø i løypetrase	21
3.7	Snølager	22
3.7.1	Plassering av snølager	22
3.7.2	Form	23
3.7.3	Størrelse og antall hauger	23
3.7.4	Lagringsperiode	23

3.7.5	Isoleringsmaterile	23
3.7.6	Snøkvalitet i snølager	24
3.7.7	Underlag	24
3.7.8	Volumreduksjon i snølager	24
3.8	Løypedesign	24
3.9	Parametere som påvirker snøsmelting	25
3.10	Snøkvalitet	26
3.11	Om kapasitetsstrategi og vurdering av alternativer	26
4	Resultater	28
4.1	Intervju med fagpersoner	28
4.2	Intervjuer med snøproduksjonsanlegg i Norge	28
4.3	Omdømmefaktor ved et snøproduksjonsanlegg	30
4.4	Værdata og produksjonskapasitet	32
4.4.1	Kapasitetsanalyse dekke Granåsen skiarena med snø gitt produksjonsmetode produksjon	33
4.4.2	Prodkapasitet gir sannsynlighet for at anlegg er åpent gitt måned	34
5	Diskusjon av litteratur og resultater	35
5.1	Bærekraft og snøproduksjon	35
5.2	Omdømmefaktor	36
5.3	Beslutninger på bakgrunn av parametere som påvirker en omdømme-faktoren	37
5.3.1	Anlegg tilgjengelig (åpent)	37
5.3.2	Løypedesign	38
5.3.3	Miljøkostnad	38
5.3.4	Snøkvalitet	38
5.3.5	Økonomiske kostnader	39
5.4	Vannpumpekapasitet på anlegget	39

5.5	Værdata og produksjonskapasitetsanalyse	39
5.5.1	Identifisering av kravspesifikasjon for Granåsen Skiarena	40
6	Konklusjon	41
	Kildehenvisning	42
	Appendiks	45

Figurliste

1	Karbonfotavtrykk for importerte metaller med produksjonsland og totalt importert volum for Frankrike i 2020. Direkte kopiert fra rapport[20]	12
2	FN sine bærekraftsmål. Direkte kopiert fra FN-sambandet sin nettside[23]	13
3	Forskjell i produksjonsvolum lanse(L) mot viftekanon(V), under ulike våtkuletemperaturforutsetninger. Basert på data fra Wolfsperger et al. 2019[9]; Aalberg, OL Korea snøplan[28]; Aalberg webinar om snøproduksjon 2023[29] og Trondheim kommune på en konferanse om forskningsprosjektet ”Snow for the Future”[30]	15
4	Kvalitet på snøen beskrevet i soner sammen med produksjonskapasitet og våtkuletemperatur. Basert på data fra [9].	17
5	Illustrasjon basert på figur i Hermann Führmanns bok ”Basisschnee”[8]. Grafen viser til temperaturen til vannmolekylet fra flytende vann til snø.	18
6	Diagram for uthenting av våtkuletemperatur gitt konstant trykk på 1 atmosfære, kjent lufttemperatur og kjent relativ luftfuktighet. Direkte kopiert fra Wikipedia[40](Lisens: CC BY-SA 3.0)	19
7	Omdømmefaktoren til et snøproduksjonsanlegg, et resultat av strategiske beslutninger tatt i lillamarkerte bokser	31
8	Sammenheng mellom lufttemperatur dagsgjennomsnitt målt på Voll og Granåsen Skiarena	32

Tabelliste

1	Resultatmål som skal besvares i oppgaven	2
2	Eksempler på søkeord som er brukt i jakt på litteratur, både engelske og norske . .	5
3	Grenseverdier for støy ved gitt tid av dagen, samt begrensinger søndag og helligdag målt i Desibel.	20
4	Fordeler og ulemper tilknyttet valgt vannkilde til snøproduksjon. Basert på veileder fra Kulturdepartementet[44] og informasjon fra NVE[43]	21
5	Metoder for distribusjon av snø	22
6	Adopsjon av tabell fra Rosenfield og Beckman[53]. Viser til avgjørelser som kan bli gjort for å score bedre på ulike faktorer som bestemmer hvor konkurransedyktig en bedrift er	27
7	Resultat fra intervjuer med driftsansvarlige på snøproduksjonsanlegg i Norge, og snøplan OL Sør-Korea[28]	29
8	Resultat fra intervjuer med driftsansvarlige på snøproduksjonsanlegg i Norge, og snøplan OL Sør-Korea[28]	30
9	Produksjon av snø på Granåsen Skiarena med Lanse og medberegnet 20 % tap. Investeringskostnad, strømforbruk og karbonfotavtrykk	33
10	Produksjon av snø på Granåsen Skiarena med Viftekanon, og medberegnet 20 % tap. Investeringskostnad, strømforbruk og karbonfotavtrykk	33
11	Antall snøfabrikker for å dekke Granåsen Skiarena med tilstrekkelig mengde snø med strømkostnad	34
12	Sammenligning av strategi gitt lanser og viftekanoner som produksjonsmetode . . .	34
13	Sannsynlighet for at anlegget er dekt med snø gitt måned og produksjonsstrategi .	35

Definisjoner

RF

Relativ luftfuktighet, målt i prosent

Lufttemperatur

Temperaturen til en mengde luft, målt i grader Celsius.

Våtkuletemperatur

Forhold mellom lufttemperatur, relativ luftfuktighet og lufttrykk. Defineres i Oxford Dictionary of Weather som: "The temperature a parcel of air would have if it were cooled adiabatically (at constant pressure) to saturation by the evaporation of water into it, with the latent heat being supplied by the parcel. This is essential the same as indicated by a wet-bulb thermometer". Måles i grader celsius.

Produksjonskapasitet

Hvor mye som kan produseres per tidsenhet (e.g. m^3/h).

Produksjonseffektivitet

Hvor effektivt det produseres under påvirkning av parametere. Målt i energi per mengde produsert (e.g. kWh/m^3).

1 Introduksjon

I dette kapittelet vil oppgaven bli introdusert. Dette innebærer en presentasjon av hvorfor det er aktuelt å se nærmere på valgte problemstilling. Deretter hva selve oppgaven innebærer, innenfor definerte rammer, presentert i problemstilling sammen med målformulering og omfang. Til slutt blir leserveiledninga presentert, med mål om å gjøre rapporten mer oversiktlig og lettlest.

1.1 Bakgrunn

Granåsen skiarena er tenkt som en arena hvor større skiarrangementer skal kunne arrangeres. I 2025 skal et VM på ski arrangeres her, i tillegg til at det i fremtiden vil være en mulighet for at Granåsen vil være stedet for større konkurranser.

Granåsen Skiarena består i dag av tre deler. Øst, Stadion og Litjåsen. For å kunne produsere nok snø til anlegget har Trondheim Bydrift, som står som ansvarlige for anlegget, per i dag mål om å lagre rundt 25 kilokubikkmeter med snø hvert år. Lagringen av snø foregår i et utendørs snølager – hvor snølager er valgt som løsning for å kunne sikre et åpent anlegg for brukere på senhøsten (nov-des). Anlegget slik det fremstår i dag består av:

- Vannresorvar (Leirsjøen)
- To pumpehus for transport av vann
- Flere forskjellige typer snøproduksjonsenheter
- Distribusjonsutstyr for transport og utlegging av snø

Alternative løsninger for en snøproduksjons- og distribusjonsstrategi kunne vært:

- Flere lagre for lagring av snø over vinteren. Dette vil kunne føre snøen nærmere der hvor den skal anvendes og dermed minske transportkostnader
- Større kapasitet på produksjonsutstyr. Dette vil kunne være med på å redusere snølagerets volum og kanskje gjøre at en unngår lagring over sommeren
- Hente snø fra andre snøproduksjonslokasjoner for å kunne stille som sikkerhet for snø i Granåsen

Granåsen brukes per i dag som både hopp-, langrenn- og skiskytingsarena. En regner med at i fremtiden vil anlegget brukes i enda større grad enn i dag til å arrangere større arrangementer. Dette er med å virke som et folkehelseinitiativ ved at flere får øynene opp for aktivitet og dermed øker dette aktivitetsnivået i befolkningen.

I en britisk undersøkelse hevdes det at hver krone som investeres i bedre helse hos befolkningen gir fjorten kroner tilbake i form av lavere helsekostnader for samfunnet [1]. I Norge er en lignende undersøkelse gjort, men her ses det spesifikt på idrettsanlegg. Det konkluderes her med at en kan se et forholdstall på en til tre. Pengene samfunnet får tilbake er skapt gjennom økte arbeidsgevinster og helsegevinster hos befolkningen [2]. Verdt å merke seg er at forskningen, den norske undersøkelsen, er bestilt av Norges Idrettsforbund.

Å gi et tilbud som alle kan ta del i, er også et viktig aspekt ved å ha Granåsen som skiarena. Ikke alle har midler til å farte langt vekk fra Trondheim for å stå på ski. Et anlegg som ligger nært brukerne reduserer reisevei og dermed også utslipp, i tillegg tilrettelegger en for rekruttering og dermed også folkehelse. Viktigheten av å ha Granåsen som et nærmiljøanlegg vil dermed også være en faktor i arbeidet med oppgaven.

1.2 Problemstilling, målformulering og omfang

Problemstillingen oppgaven skal svare på er hvordan en skal vurdere alternativer, for snø-produksjon og distribusjon, opp mot hverandre for å finne frem mest egnede løsning. Resultatmålene i tabell 1, som ses under er ment å gi et svar på dette. For så å vise til hvordan dette skal gjøres i praksis er Granåsen Skiarena valgt som case. Arbeidet må også begrenses slik at en kommer i land. Det er derfor valgt å kun se på Granåsen Skiarena sitt langrennsanlegg og dermed utelukke hoppdelen av anlegget. Det er derimot ikke slik at resultatet dermed ikke vil ha noe å si for et hoppanlegg. Det å se på kun langrennsdelen er ment å være overførbart til e.g. hopp og anlegg for alpinsport også.

Tabell 1: Resultatmål som skal besvares i oppgaven

Resultatmål 1	Hvordan kan en karakterisere et snøproduksjons- og distribusjonsanlegg basert på konsepter fra produksjon og logistikk?
Resultatmål 2	Hva kjennertegner Granåsen som et snøproduksjons- og distribusjonsanlegg og hvilken kravspesifikasjon kan stilles?
Resultatmål 3	Hvilke løsninger vil kunne gi en mer bærekraftig snøproduksjons- og distribusjonsstrategi innenfor ulik kravspesifikasjon?

1.3 Leserveiledning

Det er valgt å bruke en IMRAD struktur i oppbygginga av prosjektoppgava hvor det deles inn i Innledning, Metode, Resultater og Analyse/diskusjon – før en til slutt konkluderer. Dette for å bruke en allerede mye brukt struktur og dermed gjøre oppgaven lettleselig.

For å presentere innholdet på en god måte er Institutt for bygg og miljøteknikk sin veileder for rapportskriving[3] benyttet, da særlig med hensyn til språk, struktur og innholdsframføring. Det finnes også andre veiledere for rapportskriving, men da denne veilederen fremstår oversiktlig og ryddig, spesielt med tanke på tips for de som skriver på norsk, falt valget på denne, fremfor alternativer som e.g. NTNU sin egen guide om oppgaveskriving, se Viko[4].

Nedenfor følger en oversikt over kapittelinndeling, samt en tilleggssetning for å forklare kapittelens innhold. Kapitlene bygger alle opp under konklusjonen og videre anbefalinger, som presenteres i siste kapittel. Formålet med å presentere kapitlene slik er å gi bedre innsikt og forståelse rundt prosjektoppgavas oppbygging, samt gjøre oppgaven lettere å lese.

I kapittel en gis en introduksjon til oppgaven sammen med målformulering, omfang og oppgaveoppbygging.

I kapittel to presenteres metoden som er brukt for å komme frem til konklusjonen presentert i kapittel 6.

I kapittel tre gis det teoretiske grunnlaget brukt for å kunne svare på resultatmåla. Her ser vi på forskningsartikler, studentoppgaver og fagtidsskrifter.

I kapittel fire presenteres resultatene vi har fra gjennomførte intervjuer og gjennomført analysearbeid

I kapittel fem sammenlignes informasjonen som er hentet inn sammen med resultatene fra intervju og analysearbeid.

I kapittel seks konkluderes det, og resultatmåla blir besvart. Det kommer også frem hva som er interessant å se nærmere på i et eventuelt videre arbeid.

2 Metode

I dette kapitlet vil metoden brukt for å komme frem til konklusjonen presentert. Det ble gjort en litteraturstudie, en intervjurunde og en verdikjedeanalyse. De neste delkapitlene vil også si noe om hvordan og hvorfor nettopp denne fremgangsmåten ble valgt.

2.1 Gjennomført litteraturstudie

For å oppnå de beste resultatene og trekke gode konklusjoner må en være kritisk til innsamlet data[4]. De to påfølgende underkapitlene vil inneholde en kvalitetsvurdering av innsamlet data og en beskrivelse av søket etter data. Dette gjøres for å kvalitetssikre arbeidet og gjøre det etterprøvbart.

2.1.1 Kvalitetssikring av litteratur

Kvalitetssikring av innsamlet materiale er viktig, da dette har noe å si for om det som presenteres er riktig, misvisende eller feil. For å sikre kvaliteten på informasjonen burde hver kilde vurderes opp mot "TONE":

T, troverdighet; O, objektivitet; N, nøyaktighet; E, egnethet. Ved en kritisk vurdering av kildene og informasjonen som blir presentert, slik sikres kvaliteten til arbeidet. Framgangsmåten for kvalitetssikringa av litteraturen er gjort med inspirasjon fra[4].

Generelt kan en si at all informasjon som benyttes burde ligge åpent tilgjengelig for andre, med tanke på at arbeidet skal være etterprøvbart. Dette er i arbeidet forsøkt gjort til den grad det går. Enkeldokumenter og informasjon som ikke er åpent tilgjengelig vil likevel bli brukt da det gir et bedre bilde på virkeligheten, enn valget om å utelate disse. Der hvor det har vært lite kunnskap har "grå litteratur", ikke fagfelleverdert litteratur, eller samtaler med personer med kunnskap blitt brukt for å tette hull. For å være på den sikre siden har denne informasjonen blitt vurdert ekstra nøye, og spesielt nøyaktigheten til informasjonen har måttet bli tatt med en klype salt.

Det har blant annet blitt gjort en del studentoppgaver i fag som Ekspert i Team hvor faggrupper har blitt satt sammen på tvers av studieretninger og et arbeid har blitt gjort. Dette arbeidet viser seg ikke i alle oppgaver å være like gjennomført, men ved å lese gjennom forskningsmetode og hvilke resultater som faktisk er presise burde dette arbeidet inkluderes for å tette kunnskapshull.

2.1.2 Litteratursøk

Et effektivt litteratursøk lager et fundament for videre fremgang i kunnskap. Litteratursøket gir også innsikt i hvor det finnes kunnskap og hvor mer forskning er nødvendig[5]. Det er gjort søk etter forskningsartikler, forskrifter, veiledere og fagtidsskrifter. Resultatet av litteratursøket finner du i

kapittel 3. Søket ble gjort ved å anvende søkemotorene Oria.no, NTNU sin egen søkemotor med 43 databaser innenfor naturvitenskap og teknologi[6], og Google Scholar. Ved å anvende søkeord i kombinasjon ble søket etter litteratur avgrenset. Eksempel på ord brukt i kombinasjon er gjengitt under i tabell 2.

Tabell 2: Eksempler på søkeord som er brukt i jakt på litteratur, både engelske og norske

Søkeord 1,2	+	Kombinasjonsord 1,2,3,4
Sustainability	+	Production, what is, resources, materials
Energy	+	Snowmaking
Snølager	+	Kunstsnø, logistikk
Snøproduksjon	+	Klimaendringer
Snow production, snow making	+	Climate
Wet Bulb	+	Snow making, snow production

Etter å trykket inn søkeordet i søkemotoren ble en evaluering av hvert resultat gjort hvor artikler ble vurdert først på tittel, så sammendrag. Hvis en artikkel virket interessant ble den lest. Mesteparten av artiklene som ble brukt i arbeidet med denne oppgaven kommer av ”Snøball-effekten”, hvor en går i kildelista på de artiklene man synes tar opp viktige temaer på en god måte og ser etter hvem de har sitert. Dette gjør at bare finner bakover i tid fra originalartikkelen. Det har derfor vært viktig med litteratursøket for å undersøke feltet for ny forskning som motsier eller utfordrer allerede eksisterende artikler. Snøproduksjonsforskning drives heller ikke bare i Norge: Engelske såvel som tyske artikler og fagbøker har derfor blitt brukt i arbeidet.

2.2 Metode for intervju

Framgangsmåten for intervju var å forberede spørsmål i forkant av telefon- og Teamssamtaler for så å lede samtalen innom punktene på spørsmålslista. Ved intervju av anlegg ble også spørsmålene, se Appendiks kapittel 6, sendt over på forhånd for at det skulle være mulig å forberede seg. Det ble gjort et valg om å intervjuer både skianlegg, leverandører av utstyr og fagpersoner for å få et godt grep om helheten.

2.2.1 Intervju med skianlegg

For å danne et bilde over dagens situasjon ble skianlegg i Norge kontaktet med spørsmål om de kunne bidra med informasjon rundt hvordan deres anlegg opererer, samt hvordan det er bygd opp. Spørsmål som: - Hvor stor kapasitet har anlegget? - Hvor mye koster det å legge snø i en skitrase på ”x” antall meter? - Når åpner anlegget? Ble stilt. Hovedformålet med intervjuet var å få et bilde på hvordan skianleggene var satt sammen og hva som gjorde de annerledes fra hverandre. Se

gjengivelse bakerst i rapporten under Appendiks, kapittel 6.

Anlegg som ble forsøkt kontaktet var ikke bare skianlegg for langrenn, men også anlegg for alpine disipliner. De anleggene som svarte på henvendelsene er de som er presentert i kapittel 4.2. Kontaktnettverket ble etablert gjennom bekjenskaper hos personer som ble intervjuet. E.g. ble jeg tipset om å ta kontakt med "x" og "y" etter et intervju med "z".

2.2.2 Intervju av leverandører

Med hensikt om å få data på hvordan forskjellige produksjonsmetoder presterer under ulike forutsetninger ble det forsøkt nådd ut til flere leverandører av hele systemer og kun produksjonsutstyr innenfor snøproduksjon. Denne kontakten foregikk delvis på telefon og delvis på mail. Det fremkom ikke stor interesse i å dele informasjon hos enkelte av leverandørerne, men de en kom i kontakt med ble spurt om kostnader tilknyttet deres system, virkeområde samt miljøfotavtrykk.

2.2.3 Intervju med fagpersoner

I starten av arbeidet ble det valgt å ta kontakt med personer som jobber med kunnskapsformidling på feltet, da disse allerede gjerne sitter på et stort kontaktnettverk. Vi har Jan Aalberg som driver nettsiden snokompetanse.no, og vi har professor Trygve Eikevik ved Institutt for energi og prosesssteknikk ved NTNU. Aalberg har en historie som tidligere designer av snøplan for OL i nordiske grener arrangert helt tilbake til Vancouver OL i 2010. Aalberg jobber i dag som anleggskonsulent i tillegg jobber han med å lage en snøplan for VM i Granåsen 2025 med flere andre. Trygve Eikevik har vært veileder på flere prosjekter hva angår snøproduksjon tidligere. Han har også skrevet konferanseartikler om produksjon av snø i plussgrader ved bruk av snøfabrikk i tillegg til en modellering av snøsmelting i snølager.

2.3 Metode for etablering av kravspesifikasjon

For å finne ut hvilke krav som stilles til et snøproduksjons- og distribusjonsanlegg ble en studie av litteratur samt samtale med anlegg benyttet. Ulike faktorer ble så illustrert i et skjema med piler, fargekoder og symboler for å vise til sammenhengen mellom parameterne som utgjør kravspesifikasjonen til anlegget. Etter at dette var gjennomført satt en igjen med flere ulike faktorer noen uavhengige hverandre, andre avhengige, som var med på å utgjøre snøproduksjonsanleggets krav til distribusjon og produksjon. Dette ble så definert som en omdømmefaktor, hvor ulike strategiske beslutninger hva angår kvalitet, kostnader, løypedesign, åpningstid og miljø spiller inn. Figuren kan ses i kapittel 4.3. Kvalitetssjekk av figuren er kun gjort på egenhånd og det kan derfor forekomme feil.

2.3.1 Produksjonskapasitets-analyse og identifisering av kravspesifikasjon for Granåsen Skiarena

For å identifisere en kravspesifikasjon for Granåsen Skiarena ble det valgt å fokusere på produksjonsstrategi gjennom valg av produksjonsmetoder sammen med produksjonskapasitet. Det ble tatt et valg om å se på dette, da det fremkommer som en avgjørende del av anleggets produksjons- og distribusjonsstrategi (distribusjonen latet til å bli påvirket i stor grad av måten en velger å produsere snøen på). Begge disse ble antatt å påvirke de etablerte strategiske beslutningene som utgjør omdømmefaktoren i stor grad.

For å bestemme hva slags produksjonstrategi Granåsen Skiarena skulle benytte seg av ble en temperaturanalyse gjennomført. Temperatur fremsto i litteraturen og i intervju som en viktig faktor. Det var i tillegg etablert ulike produksjonskapasiteter for forskjellige løsninger, se kapittel 3.3.1, under gitte temperaturforutsetninger. I arbeidet ble værdata fra Granåsen hentet ut fra deres metrologiske værstasjoner via styringssystemet til snøproduksjonen. Dataen gikk tilbake til 2018, så for å kunne si noe mer om variasjonen i temperatur ble det derfor gjort et valg om å simulere temperaturen på Granåsen før 2018 som funksjon av temperaturen på en målestasjon med eldre måledata. Da Voll i Trondheim, ca. 3 km i luftdistanse og ca. 60 meter høydeforskjell, var målestasjonen med data lengst bak i tid på <https://seklima.met.no>, ble data herfra valgt.

For å kunne si noe om forskjellen mellom temperaturen på Granåsen Skiarena og Voll ble en regresjonsanalyse utført, se kapittel 8. Med en funksjon for temperaturen på Granåsen som følge av temperaturen på Voll ble så dataen sortert på sesong fra 14 oktober til 14 April. Ved å så bruke en kalkulator for modellering av våtkuletemperatur, på nettsida til det Amerikanske nasjonale værtjeneste (https://www.weather.gov/epz/wxcalc_rh), ble lufttemperaturene 0, -2, -4 og -8 gjort om til våtkuletemperatur med en RF på 84%, basert på RF gjennomsnitt hentet fra målestasjoner på Granåsen, og et lufttrykk på 1 bar.

Ved å benytte prosentregning ble så gjennomsnittlig antall dager med temperaur under våtkuletemperatur beregnet basert på måledataen for perioden 1997-2023. Gjennomførte så en Z-test av gjennomsnitt gjengitt i Appendiks, for å vise til usikkerheten tilknyttet gjennomsnittet som ble regnet ut.

Forenklinger som at den ene dagens temperatur var uavhengig av den andre dagen sin temperatur måtte bli gjort for å kunne bruke en binomisk sannsynlighetsmodell, og finne ut sannsynligheten for flere enn "x" antall dager med en temperatur under et gitt tall. Våtkuletemperaturen ble fremført som veldig viktig for om en fikk til å produsere snø eller ikke. Dette var derimot ikke alle like enige i, lufttemperaturen var vel så viktig, mente blant andre Eikevik[7] og det ser en også i faglitteratur som Fuhrmann presenterer[8]. Det at derimot en stor del av veiledere, rapporter og studier sier at produksjonsutstyr produserer denne mengden snø ved gitt våtkuletemperatur kan derfor ikke sies å være annet enn misvisende. Lufttemperaturen er den konstanten som sier noe om vi får slaps eller snø da kjernen blir fryst av temperaturutveksling mellom luft og vannpartikkel

og ikke gjennom fordampning (som våtkuletemperatur gir en indikasjon på).

Våtkuletemperatur og kapasitet under gitt våtkuletemperatur ble så beregnet for de forskjellige produksjonsmetodene, her var dataen hentet fra en veileder[9] som viste til oppgitt minimum og maksimum for forskjellige metoder og en lineær sammenheng ble antatt. Dette stemmer ikke overens med kvalitetskurva, hvor snøkvaliteten og mengden snø produsert under våtkuletemperatur tok form av en S-kurveform[9]. Grunnen til at en har måtte se seg nødt til å anta en lineær sammenheng i produksjonskapasitet som følge av våtkuletemperatur var at en kun hadde to punkter til disposisjon hvor dataen fremsto som godt dokumentert. Annen data på produksjonskapasitet, som var tilgjengelig, viste også til en lineær sammenheng etter å ha lagt disse i et sammenligningsdiagram, se kapittel 3.3.1.

Mengden snø som måtte til for å dekke skianlegget ble beregnet på bakgrunn av det som kom frem under intervju i tillegg til at snødybde ble satt til en halv meter. Dette er 0,15 cm mer enn hva som egentlig behøves (ca. 40 prosent). Men som følge av komprimering på grunn av preparering, snøsmelting og andre faktorer ble 0,50 cm valgt for å bøte for denne usikkerheten. I tillegg til at det også var det som ble benyttet av e.g. Jan Aalberg[10] når nødvendig snømengde i forbindelse med store arrangementer skulle regnes ut.

Ved å nå fordele mengden snø på antall dager en ønsker at snøproduksjonen skal ta, under gitt våtkuletemperatur, vil antall produksjonsenheter være tilgjengelig. Sammen med temperaturanalysen kunne en nå finne sannsynligheten for at anlegget er dekt med snø gitt en produksjonsstrategi. E.g. å ha kapasitet til å produsere all snøen anlegget trenger på 5 dager ved våtkuletemperatur på -8°C eller kaldere. Så ble en binomsik fordeling anvendt ved hjelp av analyseprogrammet Geogebra.org, her ble sannsynligheten for at vi har kaldere temperaturer enn "x" gitt måned med antall dager manuelt tastet inn før en fikk en sannsynlighet for at det vil være flere enn "y" dager med denne temperaturen eller kaldere. Dette ble så gjort for hele sesongen ved å legge sammen oktober med november, oktober-desember osv.

Denne metoden for å regne ut sannsynligheten for at anlegget vil være dekt med snø gitt produksjonskapasitet og temperaturforhold inneholder flere usikkerheter. I tillegg til at ved binomisk fordeling så har vi også en varians. Det at en måtte se seg nødt til å manuelt taste inn tall i en kalkulator og manuelt bearbeide data i Excel, gjør at tastefeil kan forekomme. For å unngå dette er kalkulasjoner etterprøvd og gjennomgått. En alternativ løsning kunne vært å programmert en simuleringsmodell med et våtkuleestimeringsprogram innebygd.

3 Teori om bærekraft, snøproduksjon og snølogistikk

I dette kapittelet vil en innføring i snøproduksjon forekomme. Først hva snøproduksjon er, hvorfor det er nødvendig å produsere snø og avslutningsvis det praktiske rundt snøproduksjon, hvordan snøen skal produseres og hvordan den skal fraktes dit hvor den skal brukes.

3.1 Betydning av bærekraft

Begrepet Bærekraft har eksistert i flere århundre og kan dateres tilbake til 1713 og tysk skogsindustri[11]. I dag er bærekraft noe en kanskje forbinder mer med Brundtlandkommisjonens 1987 rapport "Vår felles fremtid" – enn tysk skogsindustri. Likheten er derimot der: det handler om å være fornuftig og ikke ta mer enn det som er forsvarlig med tanke på å kunne drive de kommende generasjonene. Brundtlandkommisjonen definerer bærekraftig utvikling som: "*development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*"[12]. Hvordan definerer man så bærekraft? Vince Luchsinger[13] tar så opp problemstillingen, hvordan konkurrere på bærekraft hvis begrepet ikke har en fastsatt definisjon. Det vises til at det finnes to hoveddefinisjoner av bærekraft, en versjon av Brundtland sin, ikke gjør at fremtidens generasjon for mindre, og en definisjon hvor sies at bærekraft er der hvor en benytter lokale og regionale ressurser for å produsere produkter samtidig som bedrifter skal ta ansvar for de effekter de pådrar verdenssamfunnet. Luchsinger selv definerer det som "*Sustainability means minimizing damage and possibly enhancing aspects of the environment by the way in which we conduct our business*".

Kuhlman og Farrington[11] viser til at flere legger opp til en begrensning og uklarhet hva gjelder begrepet. Det at bærekraft skal deles inn i tre dimensjoner, vi har sosial, økonomisk og miljø, er misvisende da skille mellom sosial og økonomisk dimensjon ikke finnes. Å heller dele inn i "sterk bærekraft" og "svak bærekraft" vil være bedre for å analysere scenarioer og måle politiske beslutninger sin effekt, fordi en todeling forklarer tiltak som må bli gjort. Sterk bærekraft blir definert som grenser en overhodet ikke må krysse, mens svak bærekraft er miljø-goder, naturlige ressurser og økosystem-tjenester som i prinsipp kan bli byttet ut med andre.

3.1.1 Konkurrere på bærekraft

Å vise seg konkurransedyktig på bærekraft er viktigere i dag enn tidligere[13]. Det vil bli stilt høyere krav fra myndigheter hva angår bærekraftig produksjon, og det vil bli stilt høyere krav fra forbruker. Lash og Wellington[14] viser til at global oppvarming er med på å påvirke industrien bedriften din opererer innenfor enten du liker det eller ei. Utslippproduksjonspåleggelses fra myndighetene, ødeleggende backlasher fra miljøbeviste forbrukere(deriblant søksmål) og vær-relaterte hendelser som ødelegger bedriftens eiendeler er alle med som konsekvens av global oppvarming. Seks punkter

kan brukes til å identifisere muligheter og risiko når det kommer til å konkurrere på bærekraft[14].

- Regulatoriske – krav som er fastsatt av myndigheter og er ufravikelige
- Verdikjede – leverandører som overfører høyt karbonfotavtrykk til din bedrift
- Produkt og teknologi – mer miljøvennlige produkter blir utviklet før hos konkurrenter
- Lovgivning – søksmål for å ikke imøtekomme klimaproblemene og ansvarsfraskrivelse hva gjelder utslipp
- Rykte – forbrukere velger andre alternativer
- Fysisk – skade på eiendom som følge av hyppigere grad av ulike ekstremvær-fenomener.

3.1.2 Bærekraftig ressursbruk

I 1972 ble ”The Limits to Growth” [15] publisert, rapporten tar for seg verdens forbruk av ressurser, befolkningsvekst, forurensning, matproduksjon m.fl. og viser til at vi om ”x” antall år ikke vil kunne holde på slik en gjør i dag, uten å gå tom for ressurser. Eksempelvis trekkes det frem at jordmetallet Krom, med 1970 tallets kjente forekomster, vil være utilgjengelig for noen da en med estimert eksponentielt forbruk og 100 prosent resirkulering ikke vil kunne nå tilstrekkelig etterspørsel om 235 år fra og med år 1972(dvs. ved år 2207). Til forskjell vil det med konstant 70-talls forbruk være tomt for Krom om 420 år med samme forutsetninger. Det påpekes av Robert Solow derimot at dette ikke er så mye å bekymre seg over da økonomien vil løse problemet, ved at ikke-fornybare ressurser som vi har en begrenset mengde av vil bli skiftet ut med ”kapital”[16]. Det argumenteres for at når etterspørselen blir stor og prisen høy så vil teknologien løse problemet ved å finne frem til alternative løsninger - og grunnen til at disse løsningene ikke eksisterer i dag er at utviklingen dit hen foreløpig er for kostbar. Eksempelvis vises det til at stål i fremtiden i større grad vil bli byttet ut med e.g. plast for å gjøre opp for høy kostnad på stål, produkter som tidligere inneholdt stål vil dermed få en lavere produksjonskostnad sammenlignet med om produktet ville inneholdt stål. På denne måten blir industrien og samfunnet nødt til å gå vekk fra ikke-fornybare løsninger og over på fornybare eller alternative løsninger i fremtiden. Denne argumentasjonen bærer i samme argumentasjon som allerede ble brukt i 1931 av Harrold Hotelling[17], det vises til at det ikke er forskjell på om en gjør all olje tilgjengelig i dag og dermed selger til en veldig lav markedspris til å begynne med og høyere ettersom olja blir oppbrukt, mot å vente med å tilgjengeliggjøre olja når olja og markedsprisen har blitt lavere da en har funnet andre alternativer. Hvis kullforbruket under den industrielle revolusjonen hadde vært 10 prosent lavere totalt, så ville progresjonen til produksjonen vært til stor grad redusert noe som ikke gjenspeiles i kullprisen i 1931, hvor tilgangen til kull fortsatt er god.

Solow sin teori om hvordan ikke-fornybare ressurser vil bli erstattet av ”kapital” blir sagt rett imot av Daly[18]. Det hevdes at teorien til Solow og Stiglitz(som er av samme oppfatning som

Solow) er feil og motstridende til teorien til Georgescu-Roegen og at ressurser ikke bare lar seg erstatte av "kapital". I Kuhlman og Farrington sin "What is Sustainability" [11] konkluderer de med at det hele bunnar i en misforståelse og at en må dra Solow og Stiglitz sin teori mot at noen ikke-fornybare må en se gå tapt, mens andre må en betale for å kunne beholde.

3.1.3 Verdikjedens karbonfotavtrykk

Som henvist henvist av Lash og Wellington, i deres Harvard Business Review, er det ikke bare ens egen produksjon som påvirker karbonfotavtrykket, men hele verdikjeden. At egen bedrift produserer bærekraftig vil ikke si at leverandørene gjør det. Leverandører kan være sårbare for høyere karbonutslipps-relaterte kostnader, og må derfor velges med omhu. Det er derfor viktig å kjenne til hvordan leverandører og andre involverte parter i ens verdikjede presterer på bærekraft[14]. Industrien alene, satt i globalt perspektiv, står for 36 prosent av totalt CO₂-utslipp og innad i industrien står produksjon av stål(25 prosent), aluminium(3 prosent) og plastikk(5 prosent) for en tredjedel av utslippene tilknyttet industrien(totalt 3,2 GtCO₂ i 2006)[19]. Råmaterialer som metaller er dermed en stor del av det globale karbonfotavtrykket.

I Frankrike har myndighetene gått frem ved å la et utvalg kartlegge kostnader tilknyttet utvinning av metaller, både i form av energi, men også klimagassutslipp. Det vises til at importerte metaller gjerne kommer fra land med stor andel fossil energi i energimiksen. Tallene vil dermed bidra til å kaste lys over hva det faktisk koster å bruke e.g. 10 kg stål og 10 kg platina i produksjon av en bil(henholdsvis 20kg CO₂ og 206 tonn CO₂ i følge figur 1)[20]. Strømforbruk til sammenligning, som også gir et karbonfotavtrykk, gir 298 gram CO₂ per kilowatttime(kWh) - hvis en ser på Europeisk energimiks i 2022[21].

I 2015 sto metallutvinning for 10 prosent av verdens totale klima-utslipp. Og det vil i fremtiden være et stort behov for å bruke produktene vi produserer bedre og mer effektivt enn i dag, skal vi nå klimamålene[22].

Famille de métaux	Métal	Principaux pays producteurs	Production totale (en tonnes)	Part de la production d'un métal dans sa famille	Coût énergétique de la production [GJ/t]	Émissions de CO ₂ (en tCO ₂ /t)	Émissions mondiales de CO ₂ (en MtCO ₂)
Métaux de base	Aluminium	Chine, Russie, Inde	60 000 000	3,16 %	212	17	1 025
	Chrome	Afrique du Sud, Turquie, Kazakhstan	36 000 000	1,90 %	64	5	185
	Magnésium	Chine, Russie, Israël	970 000	0,05 %	437	36	35
	Nickel	Indonésie, Philippines, Russie	2 300 000	0,12 %	194	11	25
	Acier	Chine, Inde, Corée	1 800 000 000	94,77 %	23	2	3 346
Métaux d'alliage	Cobalt	Congo, Russie, Australie	140 000	0,35 %	322	3	0
	Cuivre	Chili, Pérou, Chine	21 000 000	53,11 %	64	4	82
	Titane	Chine, Canada, Australie	5 400 000	13,66 %	430	30	161
	Zinc	Chine, Pérou, Australie	13 000 000	32,88 %	48	4	47
Métaux précieux	Antimoine	Chine, Russie, Tadjikistan	140 000	82,15 %	13	1	0
	Platine	Afrique du Sud, Russie, Zimbabwe	160	0,09 %	270 500	20 600	3
	Or	Chine, Australie, Russie	3 260	1,91 %	68 400	5 100	17
	Argent	Mexique, Pérou, Chine	27 000	15,84 %	1 582	104	3
Métaux high-tech	Néodyme	Chine, Australie, Russie	23 000	5,58 %	392	33	1
	Molybdène	Chine, Chili, États-Unis	300 000	72,80 %	148	11	3
	Tungstène	Chine, Vietnam, Russie	82 000	19,90 %	357	29	2
	Yttrium	Chine, Inde, Brésil	7 100	1,72 %	756	63	0

Figur 1: Karbonfotavtrykk for importerte metaller med produksjonsland og totalt importert volum for Frankrike i 2020. Direkte kopiert fra rapport[20]

3.1.4 Bærekraft og folkehelse

Folkehelse finner en blant annet igjen i bærekraftsmål 3, god helse og livskvalitet[23]. På et nasjonalt nivå scorer ikke tilstrekkelig høyt med tanke på bærekraftsmålet satt frem mot 2030. Tatt fra Regjeringens rapport: Voluntary National Review 2021 Norway – Report on the Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development *”Decreasing physical activity as well as obesity and unhealthy diets are a public health challenge”*[24].

Gjennom bedre folkehelse innad i befolkningen blir det færre sykehusbesøk og mindre alvorlig sykdom som kan koste samfunnet vesentlige beløp. En britisk undersøkelse påpeker dette og viser til at 10 kroner investert i tiltak for bedre helse gir 140 kroner tilbake[1]. I Norge er noe tilsvarende gjort på bestilling fra Norges Idrettsforbund, hvor en får 30 kroner tilbake etter å ha investert 10 kroner i et idrettsanlegg[2].

3.1.5 FNs bærekraftsmål

FNs 17 bærekraftsmål frem mot 2030 ble i 2015 vedtatt av medlemslandene, dette betyr at landene påtar seg å et ansvar for jobbe for å mot et mer bærekraftig samfunn[23]. Dette innebærer blant annet å jobbe mot reduserte klimagassutslipp, bærekraftsmål 13, og ansvarlig forbruk og

produksjon, bærekraftsmål 12. Folkehelse nevnes også i bærekraftsmål 3. Figuren under viser alle bærekraftsmålene som alle medlemsland av FN har påtatt seg å følge.



Figur 2: FN sine bærekraftsmål. Direkte kopiert fra FN-sambandet sin nettside[23]

3.2 Grunnleggende om snø

Snø består av heksagonalt formede iskrystaller, som er bygd opp av vannmolekyler, (H_{20}), i fast form. Iskrystallene kan for natursnø være plate-, stjerne-, søyle- eller stiftformet. I dannelsen av snøkrystaller er det essensielt at det først dannes en fryst ytre hinne før resten av kjernen fryser til, hvis ikke får en det som kalles slush eller underkjølt regn som blir til vann eller is når det treffer bakken. Arbeidet som skal til for å fryse en kjerne er lik smeltevarmekonstanten til H_{20} på 334 kJ/kg[8].

Videre for å beskrive produksjon av kunstsne velges det å dele inn i temperatur-avhengig og temperatur-uavhengig snøproduksjon for å vise bedre til forskjellene i virkemåte og bruksområde.

3.3 Snøproduksjon

I 1950 sendte Wayne Pierce inn en søknad om å få patentere en maskin som produserte og distribuerte snø. Maskinen skulle levere en snøsikkerhet som var et behov på grunn av snøfattige vintere de foregående årene. På denne måten ville arrangementer som var avhengige av snø være sikret[25]. I dag er ikke patenten lenger gyldig og vi har flere forskjellige aktører innenfor snøproduksjonsutstyr. Snøproduksjon står på vintersteder som driver med snøproduksjon for mer enn 67 prosent av energiutgiftene og er dermed en vesentlig kostnadspost[26]. Måten en produserer snø på kan deles inn i tre forskjellige metoder som vil bli forklart i detalj: dyse-, kjøle og

kryoteknologi. Forklaring av hver metode er beskrevet av blant annet Herman Fuhrmann i hans bok om nivologie(læren om snø) "BasisSchnee" fra 1996[8].

3.3.1 Dyseteknologi – temperatur-avhengig

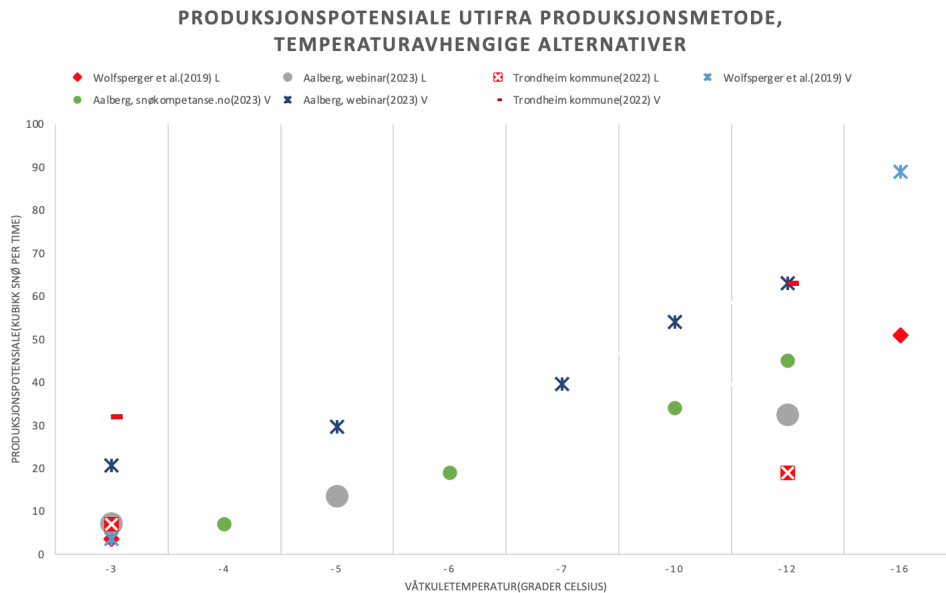
Det vi kjenner i dag som lanser og viftekanoner, eller som temperaturavhengige produksjonsmetoder. Dyseteknologi går ut på at vann og luft, begge under trykk, blandes sammen før det kastes ut i lufta og gjennom en kjøleprosess som foregår i lufta blir omdannet til snø. Dyseteknologi, heretter omtalt som lanser og viftekanoner, kan være fastmonterte, være mobile(stå på e.g. hjul eller slede), være plassert oppe i lufta på påler eller stå plassert på bakken. For å produsere snø trengs det tilførsel av vann og luft, begge under trykk. Dette kan gjøres ved hjelp av en rørgate hvor vann og luft blir transportert fra pumpe- og kompressorhus til lansene og viftekanonene, luft kan også produseres lokalt ved hjelp av en kompressor. Strømtilførsel vil også være en nødvendighet skulle det være en viftekanon, kompressor på produksjonsenhet eller automatisk styring av lanse eller viftekanon[8].

Parametere som påvirker effektiviteten til en lanse og viftekanon vil være vind, lufttrykk, luftfuktighet, lufttemperatur, vanntemperatur og kvaliteten på snøen som produseres, som justeres gjennom vanntilførseltrykk og lufttrykk[8].

Lanser kan skilles fra viftekanoner ved at det ikke brukes noen vifte(ventilator) og som en konsekvens av dette kan en også skille lanse fra viftekanon når det gjelder produksjonskapasitet og energieffektivitet. Viftekanoner benytter seg av en vifte til å flytte luft og dermed øke kastelengden til vannmolekylene – på denne måten får vannmolekylene lenger tid i lufta og volum vannmolekyler som doseres ut kan økes som konsekvens av dette. Vindforhold blir også mindre utfordrende da en viftekanon i større grad kan styre retningen på lufta enn en lanse[9]. Lanser består i all hovedsak av aluminium(ca. 80 prosent), galvanisert stål(ca. 20 prosent) og messing(ca. 1 promille)[27], og hvis ett stk lanse sammenlignes med ett stykk viftekanon så er viftekanonen dyrere i innkjøpskostnad[9]. JL Topptechnik som kun leverer lanser oppgir at en viftekanon ligger på mellom 300 og 500 tusen kroner mens en lanse ligger på 45 tusen kroner[27].

For å vise til en forenkling av ulike produksjonskapasiteter hvor lanse og viftekanon er sammenlignet, vises det til følgende figur: Figur 3 gir uttrykk for produksjonskapasitet til lanse(L) og viftekanon(V), som funksjon av våtkuletemperaturen. Merk at det kun er parameteren våtkuletemperatur som er tatt med i beregningen av produksjonskapasitet.

Produsenter av dyseteknologi oppgir et produksjonspotensiale på $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ - $51 \text{ m}^3/\text{h}$ og energiforbruk på $1,3\text{-}0,5 \text{ kWh}/\text{m}^3$ for lanser og $3,6\text{-}89 \text{ m}^3/\text{h}$ og energiforbruk på $8,4\text{-}1,4 \text{ kWh}/\text{m}^3$ for viftekanoner[9]. Mengde snø produsert per tidsenhet og strømforbruk avhenger av lokale parametere[8].



Figur 3: Forskjell i produksjonsvolum lanse(L) mot viftekanon(V), under ulike våtkuletemperaturforutsetninger. Basert på data fra Wolfspenger et al. 2019[9]; Aalberg, OL Korea snøplan[28]; Aalberg webinar om snøproduksjon 2023[29] og Trondheim kommune på en konferanse om forskningsprosjektet ”Snow for the Future”[30]

3.3.2 Kjøleteknologi

Produserer snø uavhengig lufttemperatur og er det som gjerne omtales som snøfabrikk. Sammenlignet med dyseteknologi er disse metodene mer energikrevende og teknologisk komplekse. Hovedankerpunktet er gjerne kvaliteten til snøen som blir for dårlig. Vi har snøfabrikker som produserer is før isen blir kvernet til små isflak som gir ”snø” med skarpere overflate og høyere tetthet. Til forskjell har vi is-sørpeteknologi som gir snø av kvalitet nærmere naturlig snø ved å ta ut iskrystaller fra is-sørpa[31].

3.3.3 Kryoteknologi – temperatur-uavhengig

Tar i bruk et kryogenmedium til å kjøle ned vann til en temperatur over 0°C før vannet transporteres ut i lufta med en lanse og eller viftekanon. Lansa og viftekanonene fungerer så på lik måte som beskrevet i dyseteknologi bare at nå spres vannet i et nedkjølt rom. Denne teknologien brukes ikke i stor grad på vinteren da denne metoden er svært energikrevende sammenlignet med alternativene[31].

Snø produsert av en snøfabrikk har et konstant produksjonspotensiale på 8,3 - 35 m³/h snø og et strømforbruk på 25-40 kWh/m³, basert ulike type teknologi[9].

3.4 Snøhøsting - oppsamling av natursnø og eller gammel kunstsne

Snøhøsting er ikke noe nytt og har vært gjort gjennom årtusener hvorpå snøen har blitt brukt til både nedkjøling og som vannkilde[32]. Snøhøsting har vært og er også aktuelt den dag i dag, men da gjerne med bruksområde som drikkevannkilde i land med lite nedbør[33]. I 1950 ble blant annet snø fra Norge transportert til London for å arrangere konkurranse i skihopp[34].

Av informasjon rundt snøhøsting, det å samle sammen snø, natursnø eller kunstsne, finnes erfaringer gjort ved anlegget Granåsen Skiarena. Her ble snøhøsting utprøvd, men avsluttet etter et par sesonger da logistikken tilknyttet oppsamling var mye mer kostbar enn produksjonen av snø direkte i snølager. Måten snøen ble samlet på var ved å frese snø fra rulleskiløype over i lastebil før transport til snøhaug[35]. Vi har også en studentoppgave gjort i 2018 som ser på kostnadsperspektivet ved snøhøsting, de kommer frem til at kostnadene tilknyttet snøproduksjonen er langt lavere enn kostnaden tilknyttet snøhøstingen. De peker på logistikken som viktigste faktor for at forskjellen estimert til mer enn 7,2 ganger så høy som å produsere direkte i haug(snø høstes her fra et vann 20 minutter fra snølager)[36].

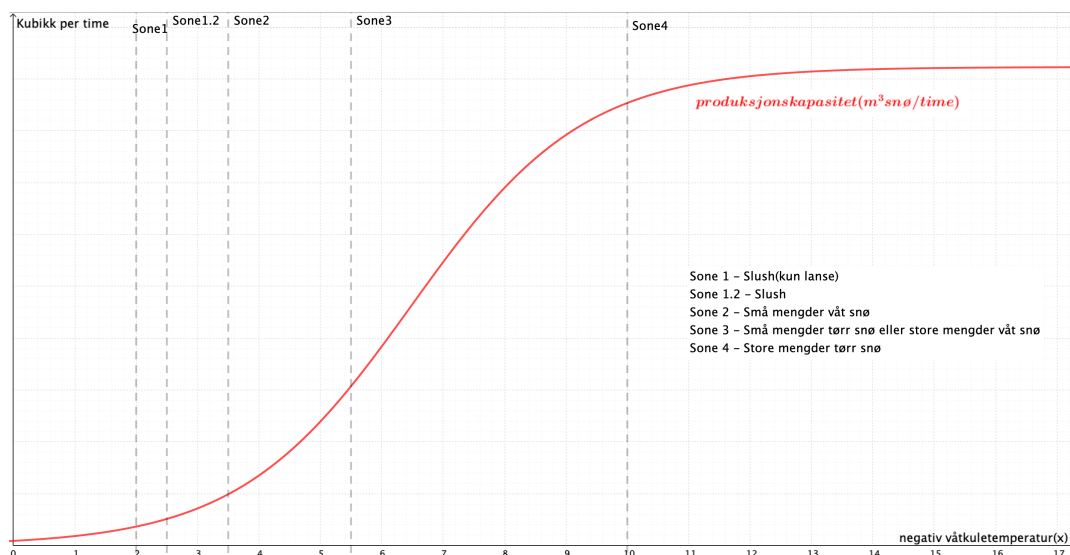
3.5 Parametere og produksjonskapasitet: temperatur-avhengige metoder

For å beskrive produksjonskapasiteten til et anlegg er ulike parametere som kvalitet, lufttemperatur, luftfuktighet, vind og våtkuletemperatur med på å påvirke[8]. Vi har også andre faktorer som valgt produksjonsmetode: om vi bruker dyse-, kjøle- og eller kryoteknologi[31]. Lokale faktorer som støy spille en begrensende rolle da en kan bli pålagt å ikke kunne produsere til alle døgnetstider[35][37]. Og avslutningsvis vil vanntemperaturen levert av vannpumpe og mengde luft levert av en kompressor spille inn.

For å gi en innsikt i hvordan disse parameterne bestemmes gis det en innføring i hvert element utenom produksjonsmetode som er beskrevet i delkapittel 3.3.1.

3.5.1 Kvalitet som parameter

Snøkvaliteten bestemmes av hvor fin snøen er. Nysnø som faller fra himmelen er tyngre enn e.g. sludd og har en høyere massetetthet[8]. Når det produseres snø etterstreber en gjerne høy kvalitet på snøen da dette oppleves som bedre egnet til vintersportsaktiviteter av brukere[9]. Basert på [9] sin beskrivelse av snøkvalitet er figur 4 laget. Figur 4 viser sammenhengen mellom snøkvalitet og produksjonskapasitet. Merk at ved vind vil gjerne kvaliteten på snøen bli bedre, da snøen får lengre falltid i tillegg til at evaporasjon i større grad vil forekomme og kjøle ned vannmolekylene fortere[8]. Kvaliteten på snøen kan justeres ved å produsere snø ved lavere våtkule- og lufttemperaturer og ved å justere mengde vann som kastes ut i lufta, se figur 4.



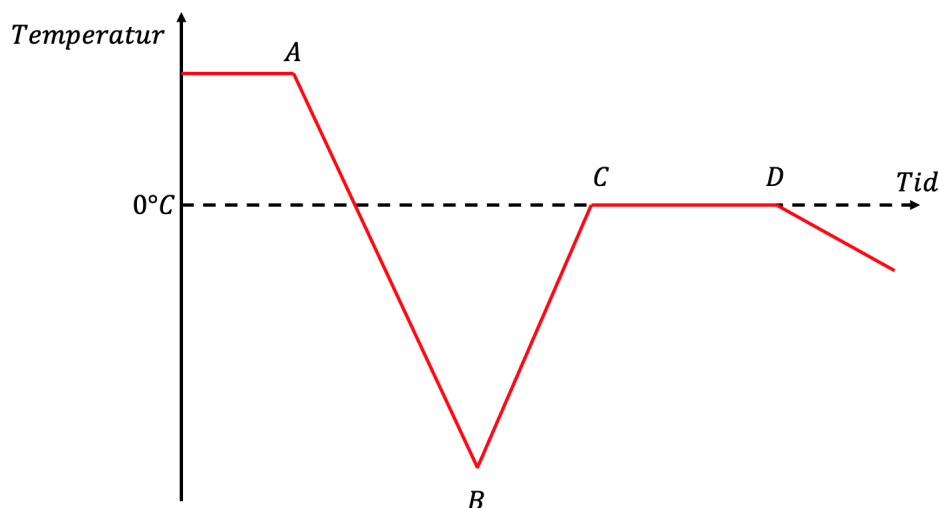
Figur 4: Kvalitet på snøen beskrevet i soner sammen med produksjonskapasitet og våtkuletemperatur. Basert på data fra [9].

3.5.2 Lufttemperatur og Våtkuletemperatur som parametere

Lufttemperatur og våtkuletemperatur måles begge i °C. Våtkuletemperaturen er blant annet bestemt av lufttemperaturen, og de spiller begge en rolle i snøkrystaldannelse. For å beskrive prosessen rundt snøkrystaldannelse fra vann til snø vises det til figur 5. Denne illustrasjonen viser hvordan temperatur spiller en rolle når det kommer til snøkrystaldannelse. Rød linje i figuren illustrerer temperaturen til vannmolekylet(basert på beskrivelse gitt av Fuhrmann[8]):

- A Vannpartikkel i flytende form før den kastes ut i lufta.
- A-B Vannpartikkel kastet ut i lufta. Våtkuletemperatur påvirker hvor fort ytre del av vannpartikkel fryser gjennom avdampning(2500 kJ/kg for vann ved 0 grader Celsius og 1 bar lufttrykk[38]) og varmeutveksling med luft(334 kJ/kg).
- B Vannpartikkel når frysetemperatur – for rent vann -72°C , uten ytre påvirkning, for vann med ispartikler 0°C , Pseudomonas(finnes gjerne i humus) ca. -3°C eller sølvjodidpartikler(mellom -2 og -4°C).
- C Ytre lag av vannpartikkel er fryst, kjernen er flytende. Nå er det kun lufttemperaturen som kjøler ned partikkelen til snø, hvis den ikke kjøles ned tilstrekkelig får vi slaps.
- D Hele vannpartikkelen er fryst og vi har fått snø. Vannpartikkelen kan nå lande på bakken som snø og ikke underkjølt regn(steg A-B) eller slaps(B-D).

Mellom punkt "A" og "C" vil det foregå en avdampning som kan beskrives avhengig av våtkuletemperatur. Våtkuletemperaturen påvirkes av lufttrykk, relativ luftfuktighet(RF) og lufttemperatur[8]. Ved lav RF vil våtkuletemperaturen bli lavere enn lufttemperaturen og ved RF på

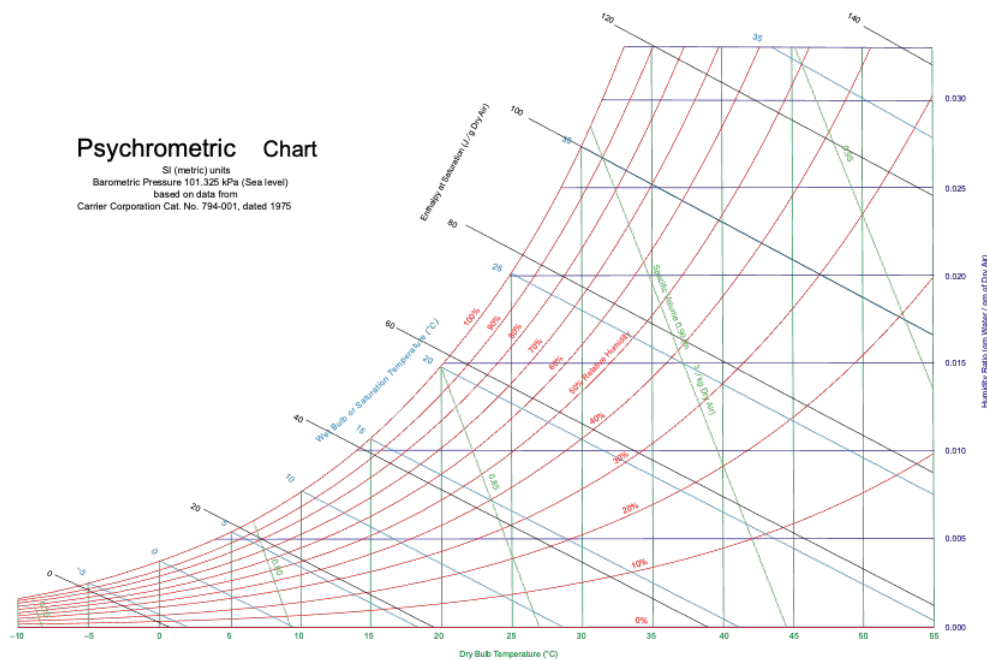


Figur 5: Illustrasjon basert på figur i Hermann Führmanns bok "Basisschnee" [8]. Grafen viser til temperaturen til vannmolekylet fra flytende vann til snø.

100 prosent vil våtkuletemperatur være lik lufttemperatur, illustrert i figur 6. Ved fordampning kjøles vannmolekylene fortere ned gjennom energifrigivelse da dampen frigir varme (latent varme) lik 2500 kJ/kg ved vanntemperatur på 0°C. Evaporasjon er en del av evapotranspirasjon og dreier seg om at ved faseovergang, flytende til gass, så frigis det varme fra objektet som overføres til vandampen. Hvor mye vann som fordamper er avhengig av en rekke faktorer som lufttemperatur, RF, vind og stråling [39].

3.5.3 Luftfuktighet og lufttrykk

Luftfuktighet kan måles i relativ fuktighet (RF) og oppgis i prosent. RF er et mål på hvor langt unna lufta er å være 100 prosent mettet med vann. Ved 100 prosent RF vil lufta være mettet og evaporasjon vil ikke forekomme (hvis det skjer vil vi ha overmettet luft, men dette forekommer sjelden i naturen og varer ikke lenge) [41]. Ved RF mindre enn 100 prosent vil det derimot forekomme evaporasjon. Det betyr at vannmolekyler vil gå fra flytende form til gassform og samtidig frigi energi. Her spiller også lufttrykk en rolle, målt i bar, høytrykk vil gjøre at vann ikke fordamper like lett som om det skulle vært lavtrykk (Ved 0 °C og tilnærmet 1 bar lufttrykk er mengden energi som frigis gjennom latent varme lik 2500 kJ/kg vann [38]). Vanndråper som inneholder flere vannmolekyler vil dermed bli nedkjølt som følge av energien som frigis. Når det produseres snø er det derfor gunstig med lav RF for å nå frysepunktet beskrevet tidligere i figur 5. På den annen side vil evaporasjon medføre at vannforbruket går opp, da noe av vannet ikke lenger går til snø men vandamp – dette tapet øker desto lavere RF og lufttrykk vi har [7].



Figur 6: Diagram for uthenting av våtkuletemperatur gitt konstant trykk på 1 atmosfære, kjent lufttemperatur og kjent relativ luftfuktighet. Direkte kopiert fra Wikipedia[40](Lisens: CC BY-SA 3.0)

3.5.4 Vind

Vind kan måles i meter per sekund og er luft i bevegelse. Vind kan blåse i alle retninger og vindretningen langs bakken beskrives i Store Norske Leksikon[42] som: ”et komplisert samspill mellom flere faktorer. Svake vinder har en tendens til å blåse parallelt med kyst-, fjord-, dal- og fjellkjederetningen. Ved sterkere vinder kan luften presses over fjellkjederygger og ned i lavlandet, og det kan bli føn og bora. Vindretningen kan også skifte med klokken...”

Ved snøproduksjon vil en svak vind være gunstig da dette sirkulerer på lufta ved snøproduksjonsenheten slik at lokal luftfuktighet forårsaket av evaporasjon blir ”byttet” ut med tørrere luft rundt. Vinden kan også bidra til lengre falltid hos vannmolekylene noe som gir de lengre tid på å fryse[8]. På den annen side kan vind gjøre at vi ikke får produsert snøen der hvor vi vil ha den, og at vi dermed får et større tap. Da vinden flytter den fra e.g. løypa og ut i skogen. Her vil en viftekanon kunne styre luftstrømmen bedre enn en lanse[9].

3.5.5 Støy

Støy defineres av det norske miljødirektoratet som uønsket lyd . Støy omfattes av forurensningsloven i Norge(Forurensningsloven,1981,§ 6-2). På bakgrunn av dette har myndighetene rett til å sette støyregulerende restriksjoner som skal virke helt og/eller til bestemte tider slik at støy

over slike nivåer vil være forbudt(Forurensningsloven,1981,§ 9-1).

Det norske Miljødirektoratet har satt rammen for hva som burde være for høyt støynivå på anleggsplasser i Norge, idrettsanlegg faller inn under dette , og i tabellen under er anbefalte grenseverdier vist gitt tidsrom og type dag. Grenseverdiene skal gjelde innfallende lydtryknivå hos boliger, fritidseiendommer, sykehus og pleieinstitusjoner .

Tabell 3: Grenseverdier for støy ved gitt tid av dagen, samt begrensinger søndag og helligdag målt i Desibel.

Type	Dagtid	Kveld hellig- og søndag	Natt
Klokkeslett	(07:00-19:00)	(19:00-23:00) og (07:00-23:00)	(23:00-07:00)
Desibel(dB)	60	55	45

3.5.6 Vanntemperatur, vannpumpe og luftkompressor

Vanntemperatur Det vil ved høyere vanntemperatur kreve lengre tid for vannmolekyler å bli nedkjølt enn ved lavere temperatur. Dette betyr at en ønsker at vannet som skal bli til snø har en lav temperatur så nærme null °C som mulig. Vanntemperaturen kan påvirkes på flere måter, e.g. kjøletårn som kjøler ned vannet eller ved å la rørgate som vannet transporteres være plassert over bakken for å utnytte luftkjøling[9].

Vannpumpe Vannkapasiteten er et resultat av hvor stor mengde vann pumpene på et snøproduksjonsanlegg klarer å levere som funksjon av tiden med en gitt mengde energi brukt. Vi måler dette i liter eller kubikk per sekund per kWh[8]. Vann kan tas fra elver, innsjøer, brønner eller kommunal vanntilførsel. Mengden vann som kan tas ut er derimot ikke uendelig stor, i Norge er en nødt til å søke tillatelse fra NVE om vannuttak, hvor fordeler veies med ulemper før en evt. får en konsesjon på et bestemt volum som kan tas ut[43]. Kvaliteten på vannet spiller også en rolle. Som tidligere nevnt vil rent vann fryse ved -70 °C om det står i ro. Hvis det inneholder små partikler vil krystalliseringstemperaturen bevege seg opp mot -3°C[8]. For å vise til en vannkilde sine fordeler og ulemper er tabell 4 laget basert på beskrivelsen av hver vannkilde gitt av Kulturdepartementet i sin rapport ”Snøproduksjon og Snøpreparering”[44], sammen med informasjon fra NVE[43].

Humus er partikler som naturlig felles ut i bunnen av dystrofe innsjøer[45] og som oppstår når døde plante- og dyrepartikler kommer i kontakt med organiske organismer i jordlaget[46]. Ved snøproduksjon er humus ideelt, da det er med på å øke krystalliseringsevnen til vannet slik at mer snø kan bli produsert med samme forutsetninger[8][9][44].

Luftkompressor Mengden luft en luftkompressor kan levere kan måles i kubikkmeter per sekund gitt spesifikt trykk, til en energikostnad i målt i kWh[8]. En luftkompressor kan enten være plassert lokalt på produksjonsenhetene eller stå plassert sentralt plassert i et kompressorhus. Hvis

Tabell 4: Fordeler og ulemper tilknyttet valgt vannkilde til snøproduksjon. Basert på veileder fra Kulturdepartementet[44] og informasjon fra NVE[43]

Vannkilde	Fordeler	Ulemper
Elv	Vanntilgang	Humus, transport, tørke
Grunnvann	Temperatur, transport	Vanntilgang
Innsjø	Humus, vanntilgang	Temperatur, transport
Kommunalt	Vanntilgang, temperatur	Humus, Kostnader

kompressor er plassert i et kompressorhus på en rørgate for luft ut til produksjonsenheter legges. Fordeler med lokalt plasserte kompressorer er at rørgate for luft ikke lenger er nødvendig og at komplikasjoner med lekkasjer i rørgater unngås. Innkjøpskostnaden og driftskostnaden kan derimot være høyere enn ved bruk av sentralt plasserte kompressorer. I nyere tid ser en gjerne at en går over til kompressorer plassert på produksjonsenheter[10].

3.5.7 Snøproduksjon i et varmere klima

Med et global oppvarming er et varmere klima å forvente i fremtiden dette påvirker oss også i Norge [47]. I Østerrike har Steiger og Abegg [48] funnet frem til at over halvparten av skianleggene ikke vil klare å holde å åpent som følge av en $+2^{\circ}\text{C}$ temperaturforandring. Dette selv om anleggene produserer på maks kapasitet gjennom hele sesongen.

Et spørsmål en kan stille seg er om skiinteressen vil falle med et varmere klima. De som reiser som turister for å gå på ski reiser gjerne også for å oppleve vinter [47]. Vestlandsforskning [47] problematiserer også det faktum at det er kontra-intuitivt at en skal bruke mer energi og dermed forurense mer for å gjøre opp for et varmere klima. I arbeidet fant de frem gjennom intervjuer at våtkultemperatur var det som hadde noe å si for snøproduksjonen og ikke lufttemperatur.

100 dagers regelen er brukt som basis for undersøkelsen gjort av Vestlandsforskning når det kommer til analysen av antall dager med snø i anleggene rundt om i Norge. Det vises derimot til at grunnen til at anlegg stenger ned på våren gjerne ikke er på grunn av varme temperaturen, men heller det faktum at folk ikke er like interessert i å stå på ski etter påske [47].

3.6 Fordele snø i løypetråse

Å legge snø i skiløypetråsen kan gjøres på forskjellige vis, ved produksjon av snø direkte i løypa har vi gjerne kun en løypemaskin til dosering av snø. Mens ved bruk av snølager kreves større maskiner som gravemaskin, hjullaster og lastebil i kombinasjon med løypemaskin[44]. Å transportere snø ved bruk av sklie har tidligere blitt benyttet[29]. Rørtransport av snø beskrevet av Fuhrmann[8] som

gir en skisse av hvordan "is" fra en snøfabrikk kan transporteres ved bruk av rør og luftkompressor, samt "Snow Pipe" som er en prototype for snøtransport i rør hvor snø går ned i en kvern før snøen blåses ut i PVC-rør, og enkelt kan styres slik at snøen "renner" ut i løypetraseen uten bruk av lastebil eller hjullaster[49].

Tabell 5, viser til de ulike kjente metodene som i dag er i bruk for transport av snø til løypetrase.

Tabell 5: Metoder for distribusjon av snø

Hvor lages snøen?	Metode for distribusjon i løypenett
Lokalt i løypetraseen	Løypemaskin
Sentralisert, i en haug	Gravemaskin og sklie
	Rørtransport, gravemaskin og løypemaskin
	Gravemaskin, hjullaster, lastebil og løypemaskin

3.7 Snølager

Istedenfor å være avhengig av parametere i kapittel 3.5 bestemt av klima for å kunne åpne anlegget er snølagring et alternativ. Her lagres snøen fra en sesong til en annen slik at en har hele vinteren på å produsere tilstrekkelig mengde snø istedenfor kun månedene før et eventuelt arrangement[44]. Et snølager vil være mer kostnadskrevende enn å produsere snø med lanser eller viftekanoner[50].

Grünewald et. al.[32] viser til (Dreier,2010), sin studie, som tar for seg fordeler og ulemper ved snølagring. Det hevdes at antall turister som ankommer et anlegg med kunstsneø tidlig på sesongen er minimal, og at det kun er med arrangøransvar for World Cup og andre eventer at et snølager vil være forsvarlig da med tanke på positive mediaoppslag og sportssendinger som ikke ville vært mulig uten snø i anlegget.

Fra veilederen, som tar for seg snølagring, laget av prosjektet Snörik[50] er følgende sitat hentet: "For å åpne løypene med snøproduksjon trenger en temperaturer under -3 grader sammenhengende i en uke med 3 viftekanoner for å kunne produsere nok snø til 3 km løype. Det er ikke sikkert en får slike kuldeperioder før i januar. Denne usikkerheten er grunnen til at snølagring benyttes for å gi en snøgaranti".

3.7.1 Plassering av snølager

Plasseringa til snølageret vil viktig med tanke på snøsmelting og dermed reduksjon i mengde snø over lagringsperioden. Viktigste årsak til reduksjon i snølagerets volum(når snølageret er tildekket og står utendørs) er kortbølget stråling[32]. Snølageret trenger ikke stå utendørs utsatt for parametere som vind, solstråling, lufttemperatur, luftfuktighet og lufttrykk men kan bli plassert

i en hall for å manipulere disse parameterne. Det vises at denne løsningen kommer med store investeringskostnader[51].

3.7.2 Form

Snølagerets form burde være slik at overflatearealet blir minst mulig for at overflaten strålinga treffer reduseres i størst mulig grad[9]. Denne optimale formen vil dermed være en halvkule, men på grunn av at dette er en form som er vanskelig å forme med anleggsmaskiner benyttes det i stor grad ellipseform på snølageret [52].

3.7.3 Størrelse og antall hauger

Flere snølagre vil gi kortere transportetappe fra lager og ut i løypa. Men flere lagre vil også gjøre at behovet for volum i hver haug samlet oppgir det som tidligere var fordelt i en. En studentoppgave ser på problemstillinga åtte hauger mot en haug på Granåsen Skiarena og regner seg frem til at det vil være like kostnadseffektivt med åtte som en og at det dermed ikke har noe å si på om en har en eller flere hauger[52]. Det som det ikke blir sett på er andre alternativer enn en og åtte hauger, to, tre osv. kan gi et annet resultat. Rapporten etterspør forskning på området snøsmelting som funksjon av haugen sitt volum for å kunne si noe mer bestemt.

3.7.4 Lagringsperiode

Det henvises av veilederen "Veileder for snølagring"[50] til et forskningsprosjekt i Sverige hvor det ble lagret snø over to sommere istedenfor en. Resultatet var tyngre snø som var mindre lett å bearbeide. Det ble derfor konkludert med at kortere lagringsperiode var bedre for snøkvaliteten ettersom den degraderes over tid.

3.7.5 Isoleringsmateriale

Av isoleringsmateriale finnes tre hovedalternativer som benyttes i dag, vi har flis som foreløpig er den mest kostnadseffektive løsningen, i tillegg til isolasjonsplater og isolasjonsduk. Alle isoleringsmaterialene er gjenbrukbare forutsatt at de tørkes etter bruk[50].

Hvilken faktor som i størst grad påvirket volumet til snølageret etter endt sesong ved bruk av flis som isoleringsmateriale ble sagt i Grünwald sin rapport[32] å være kortbølget stråling. Det beste tiltaket for å bevare snølagerets volum på, grunn av dette, var å holde isoleringsmaterialet fuktig for å skape en kjølede effekt(evaporasjon skaper latent varme) - regnvær ble dermed vist å gi en ønsket effekt ved å holde flislaget fuktig i tillegg til at det også dermed ikke er en stor bidragsyter til snøsmelting.

3.7.6 Snøkvalitet i snølager

Kvaliteten på snøen i et snølager er mindre god enn kvaliteten på snøen som produseres av en lanse eller viftekanon. Dette er på grunn av en høyere tetthet og grovere kornstørrelse på snøkrystallene[9]. Som forklart ovenfor, under lagringsperiode, vil snøen degraderes desto lengre den lagres.

3.7.7 Underlag

Underlaget til snølageret burde være godt drenert. Vann renner gjennom snølageret som følge av smelting og som følge av dette antas det at isdannelse i bunnen av lageret oppstår[50].

3.7.8 Volumreduksjon i snølager

Hvilken faktor som i størst grad volumet til snølageret etter endt sesong sies av Grünwald[32] å være kortbølget stråling og at det beste tiltaket for å bevare snølagerets volum på, grunn av dette, var å holde isoleringsmaterialet fuktig for å skape en kjølede effekt (evaporasjon skaper latent varme). Plassering av haugen vil også være avgjørende med tanke på hvor utsatt den vil være for faktorer som forårsaker snøsmelting. Ved å plassere snølageret i en nedkjølt hall vil så å si all snøen være igjen når den skal brukes (Heimdal, 2018), i forhold til 25-33 prosent reduksjon ved å lagre snøhaugen utendørs med et flislag på ca. 40 cm[32]. Marianne Heimdal så på det samme i sin Masteroppgave[51], hun fant en reduksjon i volum på 20 prosent ved flislag på 40 cm og en reduksjon på 12 prosent ved flislag på 80 cm. Kostnadsberegninger på kg-pris for flis, mot det å produsere mer snø viser at et flislag på mellom 30 og 50 cm er best[51]. Uten noe form for dekke ville reduksjonen i størrelse vært på mer enn 50 prosent[32]. Andre dekkematerialer som filtduk finnes men er per i dag ikke like gode, brukervennlige eller kostnadseffektive, som bruk av sagflis[50].

3.8 Løypedesign

Løypedesign omfatter hvordan anlegget er konstruert. Her vil terreng være en begrensende faktor. Ved produksjon av snø i løypenettet vil en trenge rørgater for transport av vann og eventuelt også strøm og luft avhengig av type lanse eller viftekanon[44]. En kum blir definert som tilkoblingspunkt til vann, strøm og luft og vil ønskelig være selvdrenerende for å unngå frostskafer på utstyr og rørgater. Rørgater kan graves ned under frostgrense og dermed være beskyttet mot frost, men dette kommer til en høyere investeringskostnad i forhold til å legge rør over bakken[44]. Hvor mange kummer en har vil påvirke hvor stor dekningsgrad lanser og vifter vil ha og dermed behovet for bearbeiding av snø med løypemaskin. Eksempelvis produserer Granåsen snø i deler av anlegget sitt med dekning av hele løypetraseen slik at forflytting av snø med løypemaskin ikke er like stor

som hos Holmenkollen hvor de produserr i hauger ute i løypetraseen for så å dosere disse ut med løypemaskin der hvor lanser og snøkanoner ikke rekker til[35][37].

Løypedesign spiller også en rolle når det kommer til distribuering av snø fra sentral produksjon eller et snølager. Løypedesignet påvirkes av terrenget, som setter en stopper for etablering av anleggsveier[52] i tillegg til at bratte bakker ikke er like framkommelige som flate strekninger[35]. Underlaget vil også spille en rolle og hvis løypa er en rulleskiløype bestående av asfalt vil framkommeligheten med tyngre anleggsmaskiner være bedre[52].

Kapasiteten til pumper vil måtte justeres etter løypedesignet da høydeforskjeller vil spille en rolle[8].

Hvor værutsatt løypa er vil bli påvirket av løypedesignet. Er løypa lagt i skyggepartier nede i daler hvor solstråling er mindre og vind ikke påvirker i like stor grad vil det ikke smelte snø like fort[9].

Løypedesign vil gi justeres slik at det blir en kort transportetappe for vann, luft eller snøtransport dit hvor snøen skal brukes. Verdt å merke seg er derimot at brukerne av skianlegget også vil spille en rolle i design av løypene. Det er ikke like moro å gå frem og tilbake på en rett strekke sammenlignet med en utfordrende løype med svinger og variasjon i kupering(Samtale med skiløper).

3.9 Parametere som påvirker snøsmelting

Når snøen ligger i løypa vil parametere som lufttemperatur, vind, stråling, luftfuktighet, lufttrykk påvirke graden av smelting[8]. Viktigste faktor for smelting er stråling som kommer fra sola[9]. Fuhrmann[8] har identifisert parametere som påvirker graden av snøsmelting på en snødekt flate:

- Varmeoverføring fra nedbør
- Varmeoverføring atmosfære til snø
- Refleksjon av stråling fra snødekke
- Stråling fra sola
- Stråling fra snødekke
- Varmeoverføring fra vann på snødekket som fryser
- Varme fra andre faseovergang
- Varmetap fra vann som renner vekk fra snøen

3.10 Snøkvalitet

Den fineste snøkvaliteten vi har er på mellom 10 og 30 kg per kubikkmeter. Tettheten til is ligger til sammenligning på mellom 900 og 920 kg per kubikkmeter[8]. Høyere tetthet per kubikkmeter gir mer vann per kubikkmeter snø. Ved preparering av løyper vil en løypemaskin trykke sammen snøen og dermed øke tettheten avhengig av hastighet og vekt på løypemaskin i tillegg til antall passeringer(en passering med løypemaskin vil gjøre at snø med en tetthet på 80 blir komprimert til 230 kg per kubikk). Brukere av en skiløype vil også trykke sammen snøen. For grovkornet snø er derimot ikke ønskelig da det går utover brukeropplevelsen[9].

Hvordan produksjonsmetode som velges vil også påvirke snøkvaliteten, lanser og viftekanoner har potensiale til å produsere snø av svært god kvalitet vist i kapittel 3.5.1. Mens snøfabrikker og snø fra lager gir snø av vesentlig dårligere kvalitet[9].

3.11 Om kapasitetsstrategi og vurdering av alternativer

Kapasitet defineres av Rosenfield og Beckman[53] som volum per tidsenhet en bedrift, eller et anlegg, klarer å produsere. Kapasitet kan videre deles inn i tre kategorier:

Maksimal eller design kapasitet er høyeste mulige kapasitet som teoretisk kan bli gitt av en aktivitet eller prosess.

Effektiv eller planlagt kapasitet er det en forventer av kapasitet på forhånd gitt en aktivitet eller prosess.

Demonstrert kapasitet er kapasiteten en ser over tid gitt en aktivitet eller prosess.

Rosenfield og Beckman[53] presenterer videre en sjustegs fremgangsmåte for å ta strategiske avgjørelser når det kommer til valg av kapasitetsstrategi. Følgende sju steg er basert på denne fremgangsmåten:

Steg en: Forstå hvordan bedriftsstrategi og konkurransen i markedet fungerer. Hvordan burde en posisjonere seg i forhold til prestasjonsfaktorene kostnads-, kvalitets-, tilgjengelighets-, funksjonalitets- eller nyskapende- og miljøprestasjonen - som tilsier hvor konkurransedyktig en bedrift er? Gitt i tabell 6 under er et sammendrag av vurderingspunkter.

Steg to: Utvikle en etterspørsels kalkyle for å si noe om hvor stor kapasitet som er nødvendig over en valgt tidshorisont.

Steg tre: Identifisere muligheter for utvidelser eller kontraksjoner. Burde anlegget ha større eller mindre kapasitet enn det har i dag. Hvilken rolle spiller e.g. "Economics of scale"?

"Economics of Scale" er å spre faste kostnader tilknyttet produksjon av en vare eller tjeneste over på flere varer og tjenester ved å øke produksjonsvolumet.

Tabell 6: Adopsjon av tabell fra Rosenfield og Beckman[53]. Viser til avgjørelser som kan bli gjort for å score bedre på ulike faktorer som bestemmer hvor konkurransedyktig en bedrift er

Kapasitetsprestasjon	
Kostnader	Redusere kostnader tilknyttet overflødig kapasitet med forståelse for avveininger
Kvalitet	Hvis høyere kapasitet gir bedre kvalitet, invester i kapasitet
Tilgjengelighet	Invester i kapasitet for å møte variasjon i etterspørsel
Nyskapende og funksjonelt	Invester i kapasitet for å møte fremtidige endringer eller konfigurasjoner
Miljø	Reduser investeringer i overflødig kapasitet om det forbruker mer ressurser samt forurenser

Steg fire: Implementere en passende modell for å bestemme produksjonskapasiteten. Burde inneholde tidsplaner, størrelsesorden og type kapasitetsutvidelse.

Steg fem: Bestem hvor fleksibel kapasitetsstrategien trenger å være. Identifiser begrensende operasjoner i produksjonsprosessen (flaskehals) og bestem hvilken kapasitet en ønsker at denne skal ha.

Steg seks: Utvikle en implementeringsplan. Hvordan skal en gå frem for å iverksette en ny kapasitetsstrategi

Steg sju: Implementer planlagt strategi. Se så på hvordan anlegget nå presterer, får en til en eventuelt planlagt "economics of scale"? Når en mål som på forhånd ble fastsatt i steg 1? Spiller planen på lag med andre strategier innad i bedriften?

4 Resultater

Målet for dette kapittelet er å prestere resultater fra arbeidet på en klar, saklig og objektiv måte. I neste kapittel kommer diskusjonen rundt resultatene.

4.1 Intervju med fagpersoner

Snødybde og snøkvalitet

I kontakt med Aalberg [10] over Teams ble ulike anlegg som kunne være aktuelle å kontakte, med kontaktinformasjon, delt, samt informasjon rundt hva som er gjort på fagfeltet tidligere og hvor det ligger et potensiale. Når Aalberg lagde snøplaner opererte han med en snødybde i løypa på 0,5 meter istedenfor 0,35. Dette var for å gjøre opp for usikkerhet tilknyttet utregninger. Snøkvalitet var en viktig faktor hvor en ikke vil ha for grov snø. Aalberg kunne fortelle at for å veie opp for dette så ble det på Sjusjøen blandet inn snø produsert av lanse og eller viftekanon.

Vann til snø og viktigheten av våtkuletemperatur og lufttemperatur

Eikevik [7] var behjelpelig med å forstå prosessen vann til snø og ytre faktorer som er med på å påvirke. Informasjon rundt tidligere arbeid ble også delt. Eikevik kunne fortelle at lufttemperatur var vel så viktig som våtkuletemperatur i prosessen vann til snø. Og det var et alt for stort fokus på våtkuletemperatur og produksjonskapasitet når andre faktorer var vel så viktige.

Løypedesign – hva som gjør en skiløype god

Det å gå på et flatt område i en ring er ikke like moro som å gå i en utfordrende løype. Thomas Meinicke [54] kunne som har jobbet med utforming av blant annet område for skileik, på Granåsen Skiarena, og selv er en aktiv utøver meddelte via Teams: ”Jeg tror det du beskriver kan sammenliknes med disse ”tidligløypene” som åpner rundt om i landet i november. Et kjempetilbud ettersom det ikke finnes snø noe annet sted, men dørgende kjedelig, og så fort man har snø nok, velger man heller andre løyper. Blir som å løpe o-løp kun i nybegynnerløyper hele livet”.

4.2 Intervjuer med snøproduksjonsanlegg i Norge

I dette delkapittelet fremføres resultatet av intervjurunden som ble gjort med skianlegg i Norge. Tabell 7 og tabell 8 viser til praksis på anleggene i dag hvor på grønne felter i tabell 7 er innsatte tall basert på data som er blitt gitt. Ikke alle opplysninger var tilgjengelig og dette er markert ved at feltet står åpnet og ingen informasjon er fylt inn. Vær oppmerksom på at dette er tall som er fylt inn på bakgrunn av telefonsamtaler, epostkorrespondanse og fysiske samtaler. Informasjonen kan derfor inneholde unøyaktigheter. For OL Sør-Korea er tallene basert på en snøplan Aalberg [28] delte.

Foruten det som står i tabellen kom det frem at mange av anleggene har nok vann til å kjøre

alle produksjonsenheter samtidig. Dette var enkelte enige i at ville redusere kapasiteten på gode snøproduksjonsdager hvor en ønsker høyt produksjonsvolum. En av grunnene til at en hadde flere produksjonsenheter utstasjonert en det kunne kjøres var for å fjerne kostnaden ved å manuelt måtte flytte på lanser og eller viftekanoner.

På anlegget Holmenkollen produserte sproduksjonsenheter snøen i større dynger før en løypemaskin doserte ut snøen. Dette ble gjort da ikke hele anlegget kunne bli dekt med snø direkte fra lanser og viftekanoner [37]. Granåsen, Holmenkollen, Inderøya og Lillomarka blir alle drevet med offentlige midler. Jervskogen drives på dugnad av Idrettslag, og med hjelp av kommunale midler til å betale for strømforbruk.

Tabell 7: Resultat fra intervjuer med driftsansvarlige på snøproduksjonsanlegg i Norge, og snøplan OL Sør-Korea[28]

Praksis på langrennsanlegg våren 2023	Jervskogen	Granåsen	Holmenkollen	Lillomarka	Inderøya	OLSør-korea
Totalkostnad anlegg(kroner)	5 500 000					
Lengde - løypenett med kunstsneø(meter)	2 500	8 000	5 500	3 500	2 500	
FIS klasse, D gir 12-6 meter i bredden		D	D			
Gjennomsnittlig løypebredde(meter)	8	8	8	8	8	
Kalkulert areal av skiløype(kvadratmeter)	20 000	64 000	44 000	28 000	20 000	
Stadionområde og eller skileikområde med kunstsneø(kvadratmeter)?	5 000	11 500	7 000			
Totalt snøareal	25 000	75 500	51 000	28 000	20 000	
Kalkulert snøvolum med snødybde på 0,5 meter i kubikkmeter	12 500	37 750	25 500	14 000	10 000	104 480
Antall viftekanoner(stk)	2	10	20	8	4	25
Antall lanser(stk)	3	29	9(+5)	6	0	45
Produserer anlegget kunstsneø på andre måter?	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Kubikkmeter snø per snøkanon	2 500	968	750	1 000	2 500	1 493
Vannresorvar(NVE-kvadratmeter)	106 000	290 000	20 000 m ³ fritt uttak	Fritt uttak		181 l/s
Antall pumper(stk)	2	3	2	1	1	6
Total kapasitet vannpumper(l/s)	18	86	100	16	20	138
Luft transporteres i rør(R) eller lokalt på enheter(L)	L	L og R	L	L		R
Strømforbruk dekke anlegg med snø per år(kroner) 1kWh = 1,5 kr	35 000		310 500		115 500	
Volum snølager(kubikkmeter)	Ikke aktuell	32500(2023)	Ikke aktuell	Ikke aktuell	Ikke aktuell	Ikke aktuell
Produksjonsenheter tilknyttet snølager(lanse/viftekanon)	Ikke aktuell	Viftekanon	Ikke aktuell	Ikke aktuell	Ikke aktuell	Ikke aktuell
Antall produksjonsenheter tilknyttet snølager(stk)	Ikke aktuell	4	Ikke aktuell	Ikke aktuell	Ikke aktuell	Ikke aktuell
Arbeidstimer snøproduksjon(timer)	336					624
Årlig budsjett snøproduksjon(kroner)		4 000 000				
Potensiell vannkapasitet per snøkanon inkl. snølager	4	2	3	1	5	2

Tabell 8: Resultat fra intervjuer med driftsansvarlige på snøproduksjonsanlegg i Norge, og snøplan OL Sør-Korea[28]

Praksis på langrennsanlegg våren 2023	Jervskogen	Granåsen	Holmenkollen	Lillomarka	Inderøya	OLSør-korea
Åpningsdato anlegg	Åpner når været tillater det, I 2022 var dette 15 januar	November	10. januar åpner hele anlegget, 20. nov åpner en 700 meters sløyfe, men denne datoen avhenger av kuldeperiode	Produserer når Holmenkollen produserer, pga. delt driftsansvar	Når forholdene er tilrettelagt	OL starter i Februar. Starter å produsere fra 1. november såfremt været tillater det
Avslutning av produksjon	Etter påsken	Etter påsken	Slutter prod. etter 15 mars WC renn er arrangert	Samme tidsplan som Holmenkollen		Februar

4.3 Omdømmefaktor ved et snøproduksjonsanlegg

Basert på teori rundt snøproduksjon samt intervjuer, er en modell for hvordan produksjons- og distribusjonsstrategien til et snøproduksjonsanlegg blir påvirket. Se figur 7. Pilene viser hvordan ulike parametere blir påvirket av andre parametere og valg som gjøres i drift og bygging av et snøproduksjonsanlegg. En tegnforklaring følger, for diskusjon rundt hvordan det hele henger sammen i neste kapittel. Det må tas forbehold om at enkelte piler mangler eller kan være feilplasserte. Figuren er basert på teori og ervervet kunnskap gjennom intervju.

Sirkler er tenkt å være grunnelementene som utgjør helheten.

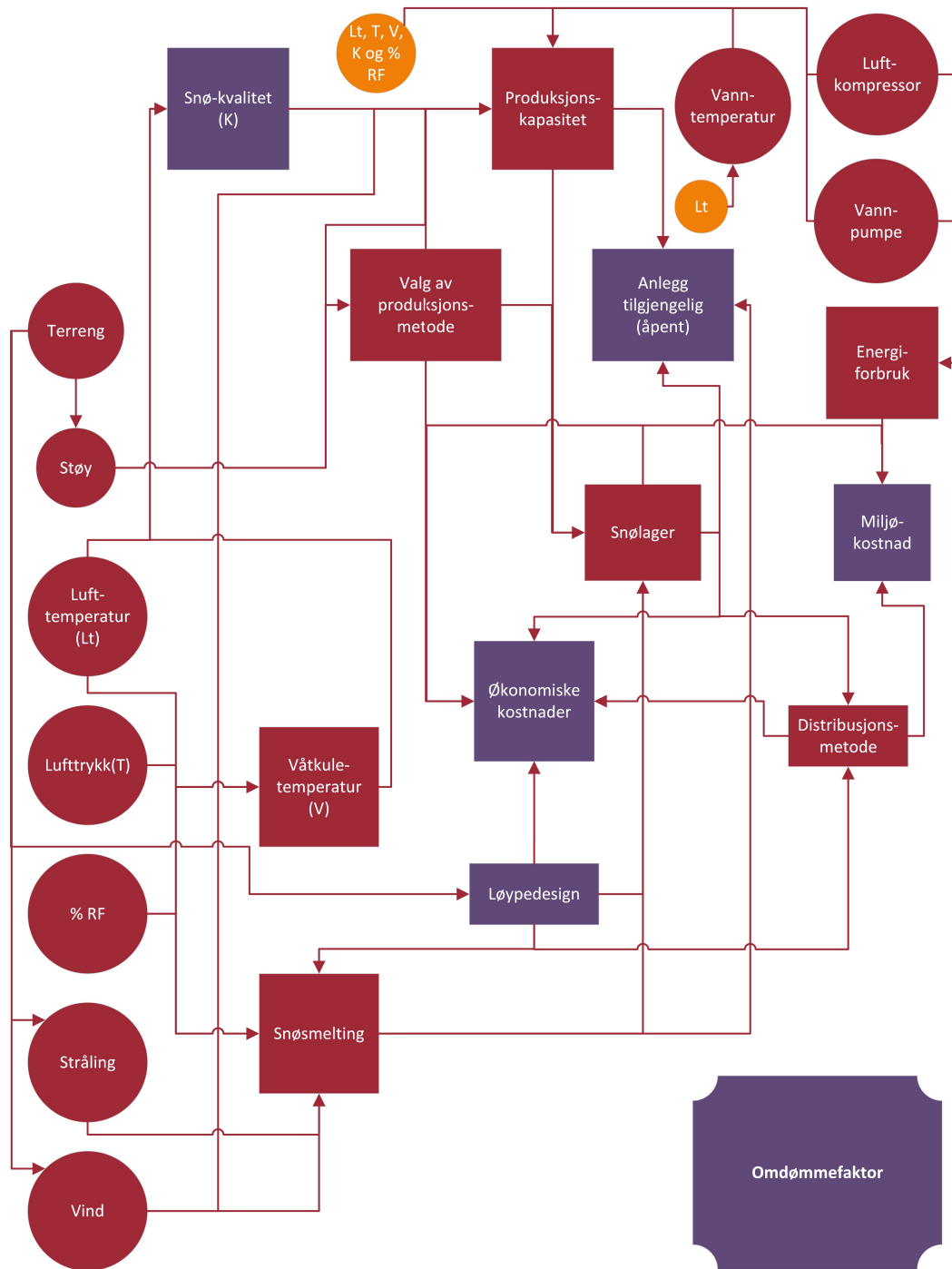
Kvadrater er parametere er direkte målbare elementer som sier noe om hvor godt anlegget drives.

Rektangler er parametere som bestemmes av anlegget før en starter opp.

Lilla er parameterne som er ment å gi en score på den definerte "Omdømmefaktoren" som er med på å si hvor godt et anlegg drives med tanke på bedriftsstrategi og konkurranse, eller med andre ord, hvordan det presterer som anlegg.

Rød er parameterne som sammen utgjør hvor godt anlegget scorer på de lilla parameterne.

Oransje viser til allerede nedtegnede faktorer(for å gjøre figur mer oversiktlig).



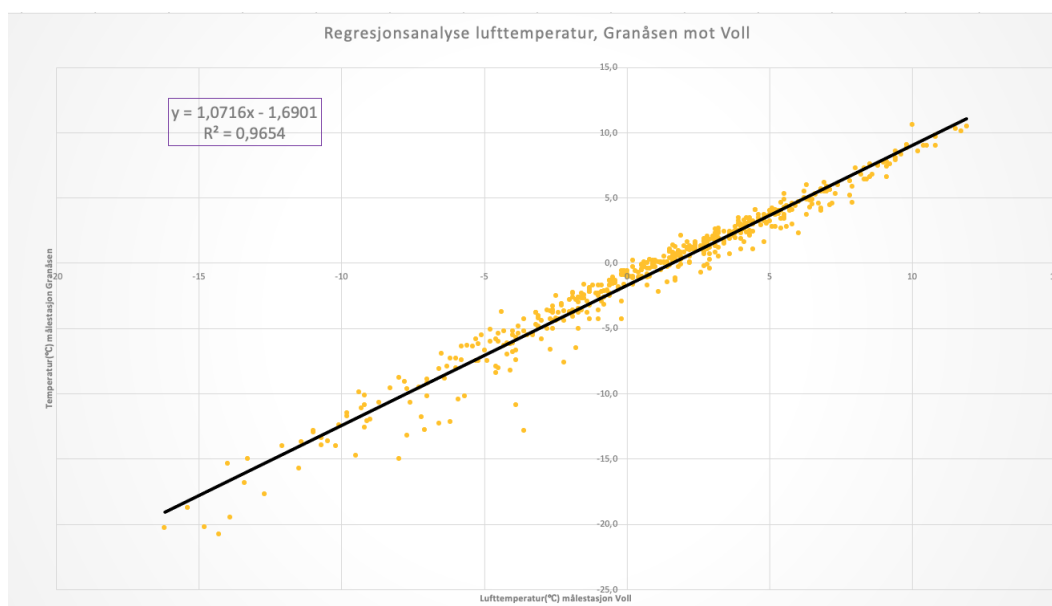
Figur 7: Omdømmefaktoren til et snøproduksjonsanlegg, et resultat av strategiske beslutninger tatt i lillamarkerte bokser

4.4 Værdata og produksjonskapasitet

Ved hjelp av værdata, data fra produksjonsenheter på Granåsen og antagelser gjort i henhold til utstyrs designede kapasitet funnet i litteratur er en analyse på antall produksjonsenheter gitt produksjonsstrategi blitt laget. Analysen gir også et svar på når en med en prosent sannsynlighet vil kunne forvente å ha et anlegg dekt med snø. Som forklart i metodekapittelet foreligger det forenklinger. Blant annet er kapasiteten til produksjonsenhetene lanser og viftekanoner kun basert på våtkuletemperatur og ikke lufttemperatur eller vind. Det er i tillegg brukt et gjennomsnitt for %RF og et lufttrykk er satt til 1 bar for uthenting av Våtkuletemperatur i et kalkuleringsprogram. Neste delkapittel viser hvordan våtkuletemperaturen og produksjonskapasiteten er brukt sammen for å regne ut investeringskostnader, miljøfotavtrykk og strømforbruk gitt produksjonsstrategi.

Første figur, figur 8, viser hvordan forskjellen i lufttemperatur på Voll og lufttemperatur på Granåsen kan beskrives med en funksjon. Samt hvor godt den stemmer overrens med innsamlet data R^2 .

Figur 8: Sammenheng mellom lufttemperatur dagsgjennomsnitt målt på Voll og Granåsen Skiarena



4.4.1 Kapasitetsanalyse dekke Granåsen skiarena med snø gitt produksjonsmetode produksjon

Produksjonsstrategien blir her omtalt som valget om å produsere snø kun ved temperaturer kaldere enn "x" våtkuletemperatur og på "y" antall dager. Lavere våtkuletemperaturer gir som vist i teorien bedre kvalitet på snøen 3.5.1. Her er investeringskostnader basert på estimater fra intervju [27], forbruk av energi er basert estimater hentet fra teori [9]. En unøyaktighet i dataen vil derfor være til stede. Figur 9 viser til hva en lanse krever ved produksjon medregnet 20 prosent tap fra ytre faktorer. Figur 10 viser det samme for viftekanon. Her er derimot ikke karbonfotavtrykket ved investering med da dette ikke lot seg oppdrive. For kvantitative data tilknyttet usikkerhet i analyse og utregning av gjennomsnittlig RF, se Appendiks. For snøfabrikk ble dataen basert på litteratur og hva som ble hevdet om produksjonskapasitet gitt tid, investeringskostnad ei heller miljøfotavtrykk av materialsammensetning lot seg oppdrive. I figur 12 er lanser og viftekanoner med ulik produksjonsstrategi illustrert.

Tabell 9: Produksjon av snø på Granåsen Skiarena med Lanse og medberegnet 20 % tap. Investeringskostnad, strømforbruk og karbonfotavtrykk

Våtkule-temperatur	Antall dager med produksjon	Lanser med 20% tap ved produksjon						Investeringsavtrykk (kgCo2)
		Antall	kWh	Kroner (1,50 kr/kWh)	Kg CO2 (298g/kWh)	Innkjøpskostnad		
-3°C	5	104,6	16313,0	kr 24 469,53	4861,61	kr 4 705 678,67	25463,0	
	10	52,3	16313,0	kr 24 469,53	4861,61	kr 2 352 839,34	12731,5	
	15	34,9	16313,0	kr 24 469,53	4861,61	kr 1 568 559,56	8487,7	
-4°C	5	52,0	7737,2	kr 11 605,79	2305,84	kr 2 339 876,03	12661,3	
	10	26,0	7737,2	kr 11 605,79	2305,84	kr 1 169 938,02	6330,7	
	15	17,3	7737,2	kr 11 605,79	2305,84	kr 779 958,68	4220,4	
-6°C	5	25,9	3484,6	kr 5 226,92	1038,49	kr 1 166 723,90	6313,3	
	10	13,0	3484,6	kr 5 226,92	1038,49	kr 583 361,95	3156,6	
	15	8,6	3484,6	kr 5 226,92	1038,49	kr 388 907,97	2104,4	
-8°C	5	17,3	2072,3	kr 3 108,42	617,58	kr 777 104,30	4205,0	
	10	8,6	2072,3	kr 3 108,42	617,58	kr 388 552,15	2102,5	
	15	5,8	2072,3	kr 3 108,42	617,58	kr 259 034,77	1401,7	

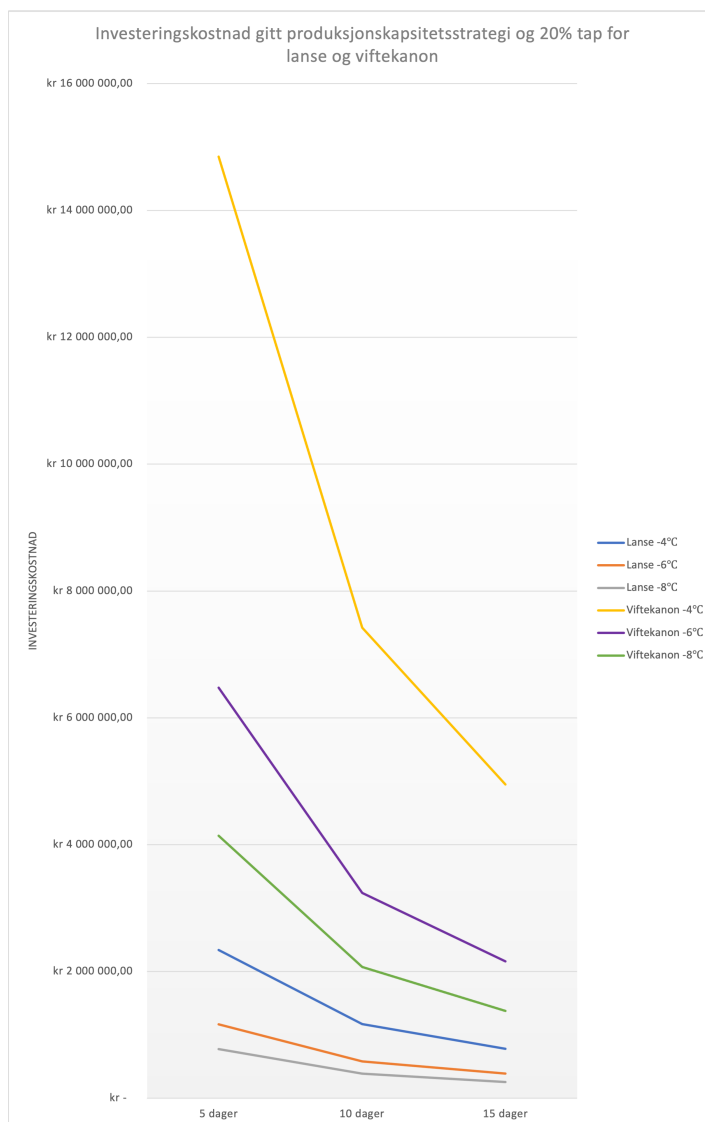
Tabell 10: Produksjon av snø på Granåsen Skiarena med Viftekanon, og medberegnet 20 % tap. Investeringskostnad, strømforbruk og karbonfotavtrykk

Våtkule-temperatur	Antall dager med produksjon	Viftekanoner, med 20% tap					
		Antall	kWh	Kroner (1,50 kr/kWh)	Kg CO2 (298g/kWh)	innkjøpskostnad	
-3°C	5	104,9	105700,0	kr 158 550,00	31500,71	kr 41 944 444,44	
	10	52,4	105700,0	kr 158 550,00	31500,71	kr 20 972 222,22	
	15	35,0	105700,0	kr 158 550,00	31500,71	kr 13 981 481,48	
-4°C	5	37,1	35010,6	kr 52 515,93	10433,86	kr 14 847 590,95	
	10	18,6	35010,6	kr 52 515,93	10433,86	kr 7 423 795,48	
	15	12,4	35010,6	kr 52 515,93	10433,86	kr 4 949 196,98	
-6°C	5	16,2	13176,1	kr 19 764,09	3926,73	kr 6 477 906,48	
	10	8,1	13176,1	kr 19 764,09	3926,73	kr 3 238 953,24	
	15	5,4	13176,1	kr 19 764,09	3926,73	kr 2 159 302,16	
-8°C	5	10,4	7084,0	kr 10 625,93	2111,16	kr 4 142 661,18	
	10	5,2	7084,0	kr 10 625,93	2111,16	kr 2 071 330,59	
	15	3,5	7084,0	kr 10 625,93	2111,16	kr 1 380 887,06	

Tabell 11: Antall snøfabrikker for å dekke Granåsen Skiarena med tilstrekkelig mengde snø med strømkostnad

Snøfabrikk					
Dager	Antall	Antall kWh	KWh kostnad(1,50 kr/kWh)		Kg CO2 (298g/kWh)
5	14,5	56668,6	kr	85 002,89	16888,4
15	4,8	56668,6	kr	85 002,89	16888,4
24	3,0	56668,6	kr	85 002,89	16888,4
36	2,0	56668,6	kr	85 002,89	16888,4
72	1,0	56668,6	kr	85 002,89	16888,4

Tabell 12: Sammenligning av strategi gitt lanser og viftekanoner som produksjonsmetode



4.4.2 Prodkapasitet gir sannsynlighet for at anlegg er åpent gitt måned

Sannsynlighet for at anlegget dekkes med snø bestemt av produksjonskapasitet og måned en befinner seg i. Her er en binomisk fordeling brukt for å komme frem til sannsynligheten for at anlegget er dekt med snø. Varians i dataen er presentert i Appendiks.

Tabell 13: Sannsynlighet for at anlegget er dekt med snø gitt måned og produksjonsstrategi

Produksjonsstrategi		Måned anlegg er dekt med snø gitt sannsynlighet				
		<80%	80-89%	90-94%	95-98%	99-100%
-4°C Våtkuletemperatur	5 dager	Oktober	November			Desember
	10 dager	November				Desember
	15 dager	November		Desember		Januar
-6°C Våtkuletemperatur	5 dager	November				Desember
	10 dager	November		Desember		Januar
	15 dager	Desember		Januar		Februar
-8°C Våtkuletemperatur	5 dager	November		Desember		Januar
	10 dager	Desember				Januar
	15 dager	Januar	Februar	Mars, April		

5 Diskusjon av litteratur og resultater

I dette kapittelet skal nytten til av resultatene diskuteres. Det skal svares på: Kan resultatene som er lagt frem kan sammenlignes med tidligere arbeid? Hvilke konklusjoner kan trekkes? Og til slutt hvilke praktiske konsekvenser har konklusjonene?

Først forekommer en drøfting av bærekraft hos snøproduksjonsanlegg, deretter en evaluering av omdømmefaktoren og hvilken praktisk betydning denne har for anlegg. Så en drøfting av alternativer for produksjonsstrategi og distribusjonsstrategi før det avsluttes med hva den statistiske analysen har å si for Granåsen Skiarena.

5.1 Bærekraft og snøproduksjon

Med økt fokus på bærekraft og en fremtredende rolle i valg av bedriftsstrategi[14] kan en anta at snøproduksjonsanlegg vil nyte godt av en god miljøprestasjon. Folkehelse som del av bærekraftsmålene[23] og hva dette bidrar med i form av økt samfunnsnytte [1] [2] vil være en vurdering opp mot kostnadene og miljøfotavtrykket snøproduksjonen gir. I arbeidet ble en omdømmefaktor etablert som et mål på hvor godt et anlegg presterer på bedriftsstrategiprestasjonene. En kan gjennom intervju-runden som er gjennomført (se kapittel 4.2) si at tilgjengelighet kanskje er den prestasjonen som spiller størst rolle hos snøproduksjonsanlegg, hvor det kanskje heller burde vært høyere vektlegging av miljø og et bedre beslutningsunderlag hva gjelder evaluering av kostnadsprestasjonen.

Å bruke store ressurser på å oppgradere anlegg slik at anlegget skal holde åpent i November er kanskje ikke like fornuftig som å heller flytte på skisesongen slik at en også skal få gå på ski etter påskeferien. Vi har temperatuavhengige metoder som både bruker mer energi, men også er mer kostnadskreven(4.4.2).

Av dataanalysen fremført i kapittel 4.4 ser en at sannsynligheten for å dekke et anlegg med snø øker utover sesongen da det er større sannsynlighet for at det har vært dager med gode nok produksjonsforhold til at en kan produsere snø. Det vises også til hva en forskjell i miljøfotavtrykk

og kostnad tilknyttet selve prosessen med å produsere snø vil gi. I.e kapasitet til å produsere all snøen vi trenger for å dekke Granåsen Skiarena med snø i.a. fem dager med produksjon kun ved våtkuletemperatur under -4°C (luftrykk lik 1 bar og RF lik 84%) : Dette vil da gi 80-89 % sannsynlighet for åpning i november og tilnærmet lik 100 % sannsynlighet for at anlegget kan åpne i.a. desember.

Materialene anlegget for snøproduksjon bruker er med på å bestemme samlet klimaavtrykk. Det er vist ved bruk av en tabell for kalkulering av klimaavtrykk gitt mengde metall at det er mulig å gi et estimat på karbonfotavtrykk, se kapittel 3.1.3. Det har teorikapittelet blitt hentet frem en diskusjon rundt hva slags bærekraft materialbruk faller inn under, se kapittel 3.1.2. Her blir det vist at ufornuftig bruk i materialer gir en økt materialkostnad sett i et globalt perspektiv. Dette betyr at alle har et ansvar for å bruke materialer på en fornuftig måte og ikke sløse da dette til slutt vil medføre en samfunnskostnad. Dette er enda et argument for at bedriftsstrategien til alle bedrifter, i fremtiden vil trenge å score godt på miljø for å være konkurransedyktige. Noe som unnerbygger Lash og Wellington [14] sin artikkel som påpeker at fremtiden vil bedrifter måtte konkurrere på miljø i mye større grad enn bedriftene gjør i dag.

5.2 Omdømmefaktor

I litteraturen finner en at en bedriftsstrategi og konkurransefortrinn ligger i kostnads-, kvalitets, tilgjengelighets, nyskapende og funksjonelt- og miljøprestasjonen. Se kapittel 3.11. Basert på disse prinsippene ble det undersøkt hva et skianlegg skulle konkurrere på. Alle anlegg som ble intervjuet hadde ingen inntekt fra brukerne og fikk sin støtte gjennom søknadsordninger, kommunekassa og dugnadsarbeid. For å konkurrere om midler ses det derfor på en "Omdømmefaktor". Hvor godt omdømme en har er ment som en indikasjonfaktor på hvor godt vellykket bedriftsstrategien og konkurransefortrinnet er. Som vist i figur 7 som viser til sammenhengen mellom ulike krav og parametere så vil prestasjoene kostnader, kvalitet, tilgjengelighet, hvor funksjonabelt anlegget og miljø påvirke omdømmefaktoren. Vi finner igjen kostnadsprestasjonen i "Økonomiske kostnader", vi finner kvalitetsprestasjonen i "Snøkvaliteten", tilgjengeligheten i "anlegg tilgjengelig(åpent)", funksjonabelt i "løypedesign" og miljø i "miljøkostnad". Alle disse prestasjonene vil sammen gi en "Omdømmefaktor" og dermed utgjøre en beskrivelse av hvor godt anlegget drives. Det er ikke bestemt at høy kvalitet gir lave kostnader, ei heller tilfredsstillende gjennom et funksjonabelt snøproduksjonsanlegg. Disse faktorene må som beskrevet i kapittel 3.11 vurderes hver for seg hos det enkelte anlegg for å vise frem alternative løsninger og avveininger som må bli gjort og sammen med krav må en strategi for anlegget legges før den implementeres.

5.3 Beslutninger på bakgrunn av parametere som påvirker en omdømmefaktoren

For å danne en basis for beslutningstaking på et snøproduksjonsanlegg, ble det sluttet å lage en figur for å illustrere hvordan et snøproduksjonsanlegg henger sammen. Se kapittel 4.3. Figuren består av komponenter som er beskrevet i teorijennomgangen og i intervju. Videre følger en beskrivelse av strategiske faktorer og hvordan disse påvirker omdømmefaktoren. Vi har:

- Anlegg tilgjengelig (åpent)
- Løypedesign
- Miljøkostnad
- Snøkvalitet
- Økonomiske kostnader

5.3.1 Anlegg tilgjengelig (åpent)

I intervju med Holmenkollen [37] kom det frem at de hadde en strategi hvor det først ble laget en 700 meter lang sløype i november, hvor denne ble laget for å dekke behovet til idrettslag og andre som skulle trene. Arrangementene var ikke før på nyåret så det var ikke noe behov for å produsere snø under ikke optimale forhold. Denne strategien legger opp til en mer kostnadseffektiv styring i forhold til anlegg hvor en skal måtte åpne hele anlegget allerede i november. Noe som også underbygges av kapasitetsanalysen gjort av Granåsen Skiarena, se kap 4.4. Det som oppgis som grunn for å ha en strategi med snølager som både later til å være mer forurensende og kostnadskrevende enn alternativene lanse og viftekanon, kapittel 3.7, da en først må produsere snøen i større for så å lagre den og så til slutt distribuere den. Er å kunne åpne anlegget for store arrangementer. En løsning på dette kan være å forskyve på kalenderen til skiarrangementene og heller ha flere konkurranser på våren. Kostnaden av å ikke arrangere konkurransen burde kalkuleres, skal en kunne si at anlegget ikke i fremtiden vil påta seg arrangementansvar. Som nevnt bidrar arrangement av konkurranser blant annet til rekruttering i skisporten gjennom positiv oppmerksomhet fra media og tv-sendinger som viser frem idrett, se kapittel 3.7.

Snøsmeltinga er også en faktor påvirker om vi har et åpent anlegg. Snøsmeltinga påvirkes av blant annet løypedesign som igjen er gitt av terreng. En kan på bakgrunn av dette konkludere med at det kanskje ville vært mulig å simulere hvor utsatt en skiløype er for smelting basert på måldata av blant annet stråling, som er vist å påvirke snøsmelting i stor grad (se kapittel 3.9).

Støy er også noe som påvirker når det er mulig å produsere snø. Det å ikke kunne produsere snø på gitte tidspunkter kan en anta at vil ha stor innvirkning på kapasiteten til anlegget. Tallfestede

data på hvor mye en e.g. fastmontert prosessor på en lanse eller viftekanon vil bråke burde være mulig å oppdrive og sammen med kart over terreng, eller målinger på stedet, ville det være mulig å si noe om hvordan denne parameteren påvirker snøproduksjonsanlegget.

5.3.2 Løypedesign

Løypedesign er med på å påvirke brukeropplevelsen av anlegget. Det er ikke like moro å gå rundt i en ring på en flat fotballbane som det er å gå i en kupert løype, se kapittel, se kapittel 4.1. Derimot kan det være mer kostnadseffektivt med tanke på rørgater og distribusjon av snø da transportetappen reduseres betraktelig[50].

5.3.3 Miljøkostnad

Miljøkostnaden avhenger av valgt produksjonsmetode, energiforbruket, og distribusjonsmetoden. For produksjonsmetode og energiforbruk har det blitt estimert ulike kostnader hva gjelder alternativer, se kapittel 4.4. Det at lanser er mindre energikrevende enn viftekanoner og at snøfabrikk er den produksjonsmetoden som krever absolutt mest finner en også igjen i litteraturen, se [9] og [8]. Når det kommer til distribusjonsmetoder har tidligere arbeid vist at det å produsere lokalt med lanser og viftekanoner er mye mindre miljøbelastende enn å frakte snø med bruk av gravemaskin og lastebil[52]. Å veie verdien av miljøkostnaden opp mot verdien av å ha et snølager virker å være et hoveddilemma, men andre metoder for transport av snø som rørtransport vil kanskje være med på å gjøre snølageret mindre miljøbelastende. Det som vil være interessant å ta videre fra valg av distribusjonsmetoder da alle alternativer utenom å produsere direkte i løypa virker å være mye mindre kostnadseffektivt. Er å undersøke kostnadene tilknyttet å produsere snø i dynger slik som på Holmenkollen [37]. På denne måten trenger en ikke lenger å investere like mye i kummer, tilkoblingspunkter, og rørgata trenger kanskje ikke heller være like lang. Dette betyr mer arbeid i form av dosering av løypemaskin, men vil kanskje veie opp for en høyere investeringskostnad.

5.3.4 Snøkvalitet

Det som viser seg i teori er at denne parameteren kan måles i tetthet eller grovhet på snøkrystaller [9] [8]. Utover dette er det vanskelig å si noe om kvaliteten er god eller dårlig. Snø produsert av snøfabrikk er også noe som ses på som dårlig og som henvist av Aalberg [10] blander man på Sjusjøen inn snø produsert av lanse og viftekanoner sammen med denne snøen for å øke kvaliteten på snøen.

5.3.5 Økonomiske kostnader

De økonomiske kostnadene som faller på et snøproduksjonsanlegg er funnet å avhenge av produksjonsmetoden, energiforbruket, distribusjonsmetoden, løypedesignet og valg av åpningstid på anlegget. En sammenligning av produksjonsmetoder er gitt i kapittel 4.4. Verdt å merke seg er derimot at hver enkelt produksjonsmetode presterer forskjellig under ulike forutsetninger. Distribusjonsmetoden henger sammen med de økonomiske kostnadene da en investering i å produsere lokalt medfører at vi må ha rørgater, mens sentralt så må vi ha transport av snø og ut i løypa. En økende kostnad ser en i figur tilknyttet sikkerheten for at vi har snø i en gitt måned finner vi i kapittel 4.4. Dette må derimot vurderes forsiktig som nevnt opp mot hva en får igjen for å stille med snø i anlegget tidlig i sesongen.

5.4 Vannpumpekapasitet på anlegget

I intervju med anlegg med snøproduksjon ble det funnet ut at flere av anleggene ikke hadde tilstrekkelig kapasitet på sine vannpumper i forhold til å kjøre hele anlegget samtidig. Anlegget var gjerne designet av leverandør av utstyr og kjøpt som en totalentriprise. Det at kapasitetet på vann ikke tilfredsstiller behovet til lanser og viftekanoner kan ses på som en unødvendig flaskehals i produksjonen av snø. Når forholdene inntreffer vil det være ønskelig å utnytte kapasiteten på anlegget til det fulle for å produsere snø. Som en ser av tabell 13 i kapittel 4.4.2 så fremkommer det at for å utnytte anlegget til det fulle vil en produksjon så nærme 100 prosent være ønskelig da temperatur og klimaforutsetninger er et viktig krav for om en får produsert snø eller ei, som en også finner igjen i litteraturen se kapittel 3.5.

5.5 Værdata og produksjonskapasitetsanalyse

For å kunne si noe om hvor god kapasitet et anlegg burde ha som følge av ytre krav stilt av klimaet ble en temperaturanalyse gjort med Granåsen Skiarena som case. Verdt å merke seg er at det kun var lufttemperatur som var bestemt med en viss sikkerhet og at luftfuktighet var basert på et årsgjennomsnitt i tillegg til at trykk var satt som konstant. Ved å ta i bruk dagsgjennomsnitt for disse dataene også, såfremt dette foreligger, vil en få et mer presist bilde av hvor stor kapasitet en trenger. Sannsynlighetsberegningene som ble gjort viser likevel til en fremgangsmåte for å bestemme kapasiteten til anlegget basert på hvor stor investering en ønsker å gjøre i å kunne produsere snø til ønsket kvalitet. Som vist i kapittel 3.5.1, vil kaldere vær gi bedre kvalitet på snøen. Dette er det mindre sannsynlighet for at inntreffer i et gitt antall dager og dette betyr at kostnaden for å investere i kvalitet vil være høy gjennom at tilgjengeligheten til anlegget reduseres gjennom at usikkerheten for x antall dager med produksjonsgunstige forhold reduseres.

Det en må merke seg er at kostnaden for å flytte snøen ikke er tatt med i betraktningen. Ved færre produksjonsenheter vil kostnaden tilknyttet bearbeiding og distribusjon av snø øke.

5.5.1 Identifisering av kravspesifikasjon for Granåsen Skiarena

Det ble gjort et valg om å se på Granåsen Skiarena som en case. Ved å analysere, lufttrykk, lufttemperatur og RF, kunne en gi et estimat på hvor mye en valgt produksjonsmetode ville koste, samt hvordan en valgt produksjonsstrategi påvirker åpningstiden og kostnadene til Granåsen Skiarena. Litteraturen påpekte nemlig at økt temperatur globalt som følge av global oppvarming[47] ville påvirke valg av produksjonsmetoder for snø i fremtiden, se kapittel3.3.

Resultatene fra analysen, kapittel 4.4 viser at det er mulig å lage en temperaturmodell for Granåsen basert på værdata og bruke data fra leverandører og litteraturen til å gi et kostnadsestimert for en gitt åpningstid for anlegget.

Denne analysen sier dessverre ikke noe om helheten i form av omdømmefaktoren. For å komme i land med en egnet strategi vil det derfor være nødvendig å tallfeste de andre parameterne som påvirker omdømmefaktoren.

Ved en komplett analyse ville disse faktorene så blitt veid opp mot hverandre. Før en sjustegs implementeringsstrategi, presentert i kapittel 3.11 ville blitt formulert.

Med dataen som foreligger er det ikke funnet noen gode svar på å gjøre en vurdering av snøkvalitetsparameteren på Granåsen. Vi har at en brukerundersøkelse kanskje ville avdekket muligheten for å ikke dekke hele anlegget med snø før etter en gitt måned da dette ikke er nødvendig, og kanskje ville en aktivitetsregistrering avdekket hvem som faktisk bruker anlegget tidlig på sesongen og i hvor stort omfang (som kan brukes i beslutningstaking).

Det en sluttvis sitter igjen med er at det burde være mulig å kartlegge helheten, men at det er langt flere parametere enn temperatur og løypelengde som spiller inn. I dataanalysen ble det tatt snarveier som å si at temperaturen en dag er uavhengig av temperaturen neste dag, noe som kanskje ikke stemmer i virkeligheten. Større sett med måledata av RF vil være ønskelig for å kunne si noe om det finnes en sesongvariasjon og kunnskap om hvor stor mengde vann som fordampes i en produksjonsprosess som følge av lav RF vil også kunne si noe mer om tapet ved produksjon. Vindforholdene på Granåsen er heller ikke tatt med, noe som vil si at dagene med for sterk vind til å produsere, eller dager hvor kun viftekanoner kan produsere ikke er tilstede i vurderinga.

6 Konklusjon

Med større krav til mer effektiv ressursbruk og en mer miljøvennlig profil vil effektiv styring av snøproduksjons- og distribusjonsanlegg være desto viktigere. Av analysert materiale ser en på en bransje med mye forskning og aktører som eier hele verdikjeder og supplerer anleggene med komplette løsninger. Det er i mitt arbeid vist at en kan lage en modell for å estimere produksjonskapasitet på et snøproduksjonsanlegg, og det er i tillegg funnet fram til andre parametere som også burde la seg estimere. På grunn av begrensninger i forskningen som følge av manglende data, er det derimot ikke mulig å kunne konkludere med hvordan et ideelt snøproduksjonsanlegg burde styres.

Resultatmål 1 - Hvordan kan en karakterisere et snøproduksjons- og distribusjonsanlegg basert på konsepter fra produksjon og logistikk?

Det er vist at en kan trekke en linje mellom produksjons- og distribusjonsstrategi ved å se på hvordan anlegget presterer på en definert omdømmefaktor. Dette er et mål på hvor konkurransedyktig snøproduksjons- og distribusjonsanlegget er, og er bygd opp av de samme faktorene som en finner igjen i litteraturen: kostnader, kvalitet, tilgjengelighet, funksjonalitet og miljø. Henholdsvis hos anlegget: økonomiske kostnader, kvalitet på snøen, når anlegget er åpent, løypedesign og miljøkostnad. Omdømmefaktorens nevnte strategiske faktorer er funnet å igjen være bygd opp av ulike parametere som er vist å påvirke omdømmefaktoren i ulik grad.

Resultatmål 2 - Hva kjennertegner Granåsen som et snøproduksjons- og distribusjonsanlegg, og hvilken kravspesifikasjon kan stilles?

Ved hjelp av en temperaturanalyse er det stilt en kravspesifikasjon når det kommer til produksjonsstrategi for Granåsen som skianlegg. Sammenlignet med hvordan det drives i dag burde en kanskje endre på produksjonsstrategien og kun produsere snø med hjelp av dyseteknologi. Dette kan både spare miljø og økonomiske kostnader for Granåsen Skiarena.

Resultatmål 3 - Hvilke løsninger vil kunne gi en mer bærekraftig snøproduksjons- og distribusjonsstrategi innenfor ulike kravspesifikasjoner?

Ved å tallfeste ulike krav som vist med temperatur, lufttrykk og luftfuktighet vil en kunne sammenligne alternativer og valg på en god måte. Dette arbeidet har mangler som gjør at en ikke kan trekke en helhetlig konklusjon da visse parametere ikke har latt seg estimere, eller ble nedprioritert da en ikke hadde kapasitet til å gå i dybden. Sett fra intervjuer og analyse vil det likevel trekkes frem at lav pumpekapasitet ses på som en gjenganger hvor denne kan økes for å øke kapasiteten på anlegget uten store konsekvenser for andre parametere som utgjør omdømmefaktoren.

Kildehenvisning

- [1] R. Masters et al. “Return on investment of public health interventions: a systematic review”. In: *J Epidemiol Community Health* 78.8 (2017), pp. 827–834. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/jech-2016-208141>.
- [2] Steinar Strøm, Andras Skulestad, and Stine M. Godeseth. “Nytten av idrettsanlegg og betydning for fysisk aktivitet. (Norwegian) [Benefits of sport facilities and their importance to physical activity]”. In: (2022). DOI: <https://www.idrettsforbundet.no/contentassets/1b115ea54b464213ab98f060cf644205/va-rapport-2022-20-nyttten-av-idrettsanlegg.pdf>.
- [3] anlegg og transport ved NTNU Institutt for bygg. “Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjekt- og masteroppgaver.(Norwegian[Advices and guidance towards a project and a master thesis])”. In: (2013). URL: https://www.ntnu.no/documents/1272524419/1273312006/R%C3%A5d_Og_Retningslinjer_For_Rapportskrivning_BAT.pdf/760496d8-2d08-4b99-9c33-8ff1e6ef7b9c.
- [4] Norwegian University of Science and Technology. *Choosing sources*. May 11, 2023. URL: <https://i.ntnu.no/academic-writing/choosing-sources>.
- [5] Jane Webster and Richard Watson. “Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review”. In: *MIS Quarterly* 2 (26 2002). URL: <https://www.jstor.org/stable/4132319>.
- [6] Oria.no. *Database search*. May 11, 2023. URL: https://bibsyst-almaprmo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/dbsearch?query=contains,dbcategori,y,&tab=jsearch_slot&sortby=title&vid=NTNU_UB&lang=en_US&offset=0&databases=category,naturvitenskap_teknologi.
- [7] Conversation with Trygve Eikevik, professor at Department of Energy and Process Engineering, regarding snow production and thermodynamics. May 10, 2023.
- [8] Hermann Fuhrmann. *Basisschnee - Einführung in die Nivologie.(German) [Artificial snow - Introduction to Nivologie]*. 1st ed. Salzburg: VSI, 1996.
- [9] Fabian Wolfsperger, Hansueli Rhyner, and Martin Schneebeli. *Slope Preparation and Grooming – A Handbook for Practitioners*. WSL Institute for Snow and Avalance Research, 2019, pp. 1–235. ISBN: 978-3-905621-59-4.
- [10] Conversation with Jan Aalberg, snow consultant and main author of snøkompetanse.no). Feb. 15, 2023.
- [11] T. Kuhlman and J. Farrington. “What is Sustainability”. In: *Sustainability* 2 (2010), pp. 3436–3448. DOI: [10.3390/su2113436](https://doi.org/10.3390/su2113436).
- [12] United Nations. “Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development”. In: (1987). URL: <https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html>.
- [13] Vince Luchsinger. “Strategy Issues in Business Sustainability”. In: *Business Renaissance Quarterly* 3 (4 2009), pp. 163–173.
- [14] Jonathan Lash and Fred Wellington. “Competitive Advantage on a Warming Planet”. In: *Harvard Business Review* (2007), pp. 1–11. URL: http://courseresources.mit.usf.edu/sgs/geb6930/module_3/read/competative_advantage.pdf.
- [15] Donella H Meadows et al. *The limits to growth: A report for the club of Rome’s project on the predicament of mankind*. New York, 1972. ISBN: 0-87663-165-0.
- [16] Robert Solow. “An almost practical step toward sustainability”. In: *Resources policy* 19.3 (1993), pp. 162–172. DOI: [10.1016/0301-4207\(93\)90001-4](https://doi.org/10.1016/0301-4207(93)90001-4).
- [17] Harald Hotelling. “The Economics of Exhaustible Resources”. In: *The Journal of Political Economy* 39.2 (1931), pp. 137–175. DOI: [10.1086/254195](https://doi.org/10.1086/254195).
- [18] Herman E Daly. “Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz”. In: *Ecological Economics* 22.3 (1997), pp. 261–266. ISSN: 0921-8009. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00080-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00080-3).

-
- [19] Julian M. Allwood et al. “Material efficiency: A white paper”. In: *Resources, Conservation and Recycling* 55 (2010), pp. 362–381. DOI: [10.1016/j.resconrec.2010.11.002](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.002).
- [20] Julien Bueb and Evelyne To. “Comment évaluer l’externalité carbone des métaux. (French) [How to evaluate the carbon externality of metals]”. In: *France Stratégie, République Française* (2020), pp. 1–12. URL: <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2020-na96-externalite-carbone-metaux-octobre.pdf>.
- [21] Ember. *Europe – Uneven progress towards clean electricity*. June 5, 2023. URL: <https://ember-climate.org/countries-and-regions/regions/europe/>.
- [22] E. Hertwich et al. “Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future”. In: . *A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya*. (2020), pp. 1–44. DOI: [10.5281/zenodo.3542680](https://doi.org/10.5281/zenodo.3542680).
- [23] United Nations Association of Norway. *FNS bærekraftsmål. (Norwegian) [UN’s sustainable development goals]*. May 1, 2023. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>.
- [24] Norwegian Ministry of Local Government and Modernisation Norwegian Ministry of Foreign Affairs. “Voluntary National Review 2021 Norway – Report on the Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development”. In: (2021), pp. 60–61. URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/cca592d5137845ff92874e9a78bdadea/no/pdfs/voluntary-national-review-2021.pdf>.
- [25] Wayne M. Pierce Jr. “Method for Making and Distributing Snow”. Patent: US2676471A. 1950.
- [26] Robin Smith. “Next-Gen Snowmaking - automating you snowmaking saves time, money and labor”. In: *Ski Arena Management* (2010). URL: <https://www.saminfo.com/archives/2010-2017/2010/may-2010/item/4226-next-gen-snowmaking#>.
- [27] Jens Eide - JL Toppteknikk AB. Supplier and constructor of snow production equipment, Communication on e-mail. Mar. 22, 2023.
- [28] Jan Aalberg. “ALPENSIA OLYMPIC VENUE MOUNTAIN/SNOW OPERATIONS PLAN - FOR OLYMPIC AND PARALYMPIC GAMES 2018”. internal document. 2017.
- [29] Jan Aalberg. *Snøproduksjon i dag og i årene fremover. (Norwegian) [Snow Production today and in the future]*. Bad Park og Idrett, May 9, 2023. URL: <https://www.godeidrettsanlegg.no/nyhet/delta-pa-webinaret-snoproduksjon-i-dag-og-arene-framover>.
- [30] Pål Bjørset and Heidi Arnesen. “Granåsen Idrettspark – Snow for the Future – Workshop 26. okt. 2022 – Snow production and storage at Granåsen venue”. 2022.
- [31] Michael Joemann et al. “All-weather snow machine driven by solar energy”. In: (2017). DOI: [10.18086/swc.2017.17.03](https://doi.org/10.18086/swc.2017.17.03).
- [32] Thomas Grünewald, Fabian Wolfperger, and Michael Lehning. “Snow farming: conserving snow over the summer season”. In: *The Cryosphere* 12 (2018), pp. 285–400. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-12-385-2018>.
- [33] Kyle J. Thompson et al. In: *U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000* (2009). URL: <https://erdc-library.erdcdren.mil/jspui/bitstream/11681/11816/1/ERDC-CRREL-SR-09-2.pdf>.
- [34] BBC. *Ski jumpers soar over Hampstead Heath*. 1950. URL: http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/march/25/newsid_2786000/2786871.stm.
- [35] Conversation with Heidi Arnesen Operation Planner at Trondheim bydrift - Idrett, park og skog(Trondheim Municipality department: sport, park and forest). Mar. 27, 2023.
- [36] M. Aasvestad et al. “Snøhøsting i Granåsen. (Norwegian) [Snow harvest in Granåsen]”. In: (2016). URL: <https://www.godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/Prosjektrapport%5C%2C%5C%20Gruppe%5C%201%5C%20-%5C%20Snow%5C%20Savers.pdf>.
-

-
- [37] Conversation with Knut Oppheim Kristiansen section snow production and cross country tracks – Oslo Municipality). Mar. 29, 2023.
- [38] Engineering Toolbox. *Table Latent Heat - Heat of Vaporization vs. Temperature*. Mar. 3, 2023. URL: <https://www.engineeringtoolbox.com>.
- [39] Øyvind Paasche and Erik Kolstad. *Hva er klima.(Norwegian[What is climate])*. Universitetsforlaget, 2022. ISBN: 9788215046709.
- [40] Arthur Ogava. *Psychrometrics*. May 1, 2023. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Psychrometrics#Psychrometric_charts.
- [41] Eirik Samuelsen. *Relativ fuktighet.(Norwegian) [Relative humidity]*. June 6, 2023. URL: https://snl.no/relativ_fuktighet.
- [42] Petter Dannevig and Knut Harstveit. *Vind.(Norwegian) [Wind]*. June 6, 2023. URL: <https://snl.no/vind>.
- [43] Norges Vassdrag og Energidirektorat. *Snøproduksjon i dag og i årene fremover. (Norwegian) [Snow Production today and in the future]*. Bad Park og Idrett, May 9, 2023. URL: <https://www.godeidrettsanlegg.no/nyhet/delta-pa-webinaret-sno-produksjon-i-dag-og-arene-fremover>.
- [44] Marit Gerland and Geir Ø. Olsen. “Snøproduksjon og snøpreparering. (Norwegian) [Snowproduction and snow preparation]”. In: *Kulturdepartementet* (2014), URL: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kud/idrett/publikasjoner/v-0965_kud_veileder_sno-produksjon_og_sno-preparering_2014.pdf.
- [45] Dag Hongve. *Dystrof innsjø.(Norwegian) [Dystrophic lake]*. June 6, 2023. URL: https://snl.no/dystrof_innsj%C3%B8.
- [46] Åsgeir Rossebø Almås. *Humus.(Norwegian) [Humus]*. June 6, 2023. URL: <https://snl.no/humus>.
- [47] Ida M. Gildestad et al. “Konsekvensar av klimaendringar for norske skianlegg. (Norwegian) [Consequence of climate change at Norwegian skiing facilities]”. In: *Vestlandsforskning* (2017). URL: https://www.vestforsk.no/sites/default/files/2017-12/vf-rapport%5C%2010-2017%5C%20Konsekvensar%5C%20av%5C%20klimaendringar%5C%20for%5C%20norske%5C%20skianlegg_0.pdf.
- [48] Robert Steiger and Bruno Abegg. “The Sensitivity of Austrian Ski Areas to Climate Change”. In: *Tourism Planning & Development* 10.4 (2013), pp. 480–493. DOI: [10.1080/21568316.2013.804431](https://doi.org/10.1080/21568316.2013.804431).
- [49] Geir Olsen. Conversation with Geir Olsen, Director Norwegian Snow Consulting AS and inventor of a tube distribution system of snow. Mar. 16, 2023.
- [50] Sondre B. Auganæs and Erik M. Söderström. “Veileder for snølagring. (Norwegian) [Guide for storage of snow]”. In: *Prosjektet Snörök* (2020). URL: <https://www.godeidrettsanlegg.no/veileder/veileder-snolagring>.
- [51] Marianne Heimdal. *Climate Independent Snow Production and Solutions for Snow Storage*. Norwegian University of Science and Technology. 2018. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2564800/20143_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [52] Odd Berg et al. “Lagring og utlegging av snø. (Norwegian) [Storage and distribution of snow]”. In: (2016).
- [53] Sara L. Beckman and Donald B. Rosenfield. *Operations Strategy: Competing in the 21st Century*. New York, 2008. ISBN: 9780072500783.
- [54] Thomas Meinicke. Conversation with Thomas Meinicke, Cross Country skier, and expert on ski facility as a playground. May 11, 2023.
-

Appendiks

Vedlegg1 - Spørsmålliste brukt i intervju

Om skiarenaen: Hvor stort er løypenettet hvor det benyttes kunstsne, areal skileikområde, og bredde skiløyper?

Er det satt en bestemt åpningsdato av anlegg, etter hvilken dato begynner kunstsneproduksjon?
- Hvis ja: når er dette? Hvis nei, kan en si noe om når det pleier å åpne?

Er det satt en bestemt avslutningsdato for anlegg - Hvis ja: når er dette? Hvis nei, kan en si noe om når det pleier å stenge for sesongen?

Snøproduksjonsutstyr:

Hvor mange og hva slags type viftekanoner og eller lanser har anlegget?

Hvor mange kummer er plassert ute i anlegget, tilkoblingspunkt for luft, vann og eller strøm?

Produserer anlegget snø ved hjelp av andre metoder enn kanon og eller lanse, og hvis tilfelle hva slags utstyr er det da som benyttes?

Produksjonskapasitet anlegg: Hvor stor vanntilførsel har anlegget i dag?

Hvor mange pumper har anlegget? Hvor stor kapasitet har pumpene(Kubikk/s)?

Forbruk kanon, lanse og/eller annet av strøm og vann? Strømforbruk snøkanoner?

Strømforbruk vannpumper? Alternativt. Samlet strømforbruk over en periode/sesong

Distribusjon anlegg

Timer med løypepreparering og dosering løypenett med kunstsneproduksjon i løpet av en sesong?

Arbeidstimer tilknyttet produksjonsdelen av kunstsne? Kjøres anlegget kontinuerlig gjennom hele døgnet?

Hvor lagres utstyret? Hva er prosedyre for åpning og stenging av anlegg?

Snølager (ikke nødvendig å svare på om anlegget ikke har snølager):

Hvordan produseres snø til snølager og hvor mange snølager har anlegget?

Hvor mye snø produseres til snølager?

Arbeidstimer tilknyttet produksjon til snølager?

Hvordan lagres snøen? Duk, flis eller annen metode?

Antall dager med lagring?

Volum ved tildekking?

Volum rett før distribusjon ut i anlegg?

Kostnader tilknyttet lagring utover dette?

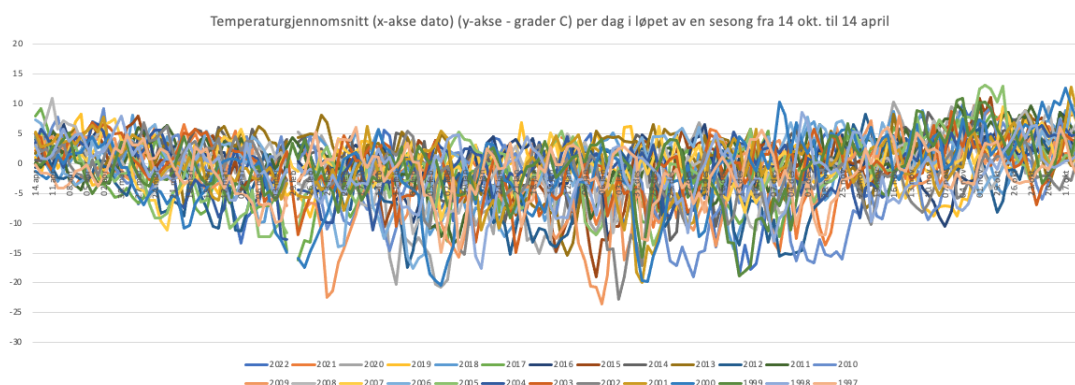
Distribusjon av snø fra snølager:

Hvordan og hvor fraktes snø fra lager? Utstyr involvert i frakt av snø? Arbeidstimer involvert i snølagerdistribusjon? Beskrivelse av metode for snølagerdistribusjon?

Mer info om anlegget?

Legg det gjerne ved eller skriv det i kolonna nedenfor. Legg det gjerne ved, bilder av anlegg, plan for produksjon eller distribusjon av snø om dette finnes(og vil deles).

Vedlegg2 - Temperaturanalysedata



Figur 9: Dagssnitt Granåsen justert i forhold til temperaturforskjell på Voll målestasjon

Måned	Gj. Antall dager	Gj. Temp	Antall verdier	Variasjon
April	14	1,9	337	8,993
Mars	31	-0,9	713	16,480
Februar	28,25	-2,7	733	26,056
Januar	31	-2,9	777	24,356
Desember	31	-2,5	806	29,476
November	30	0,7	778	19,852
Oktober	18	3,4	452	12,813

Figur 10: Kalkulert gjennomsnittstemperatur, antall måledata og varians for periode fra 1997 til 2023

Relativ luftfuktighet	Data
Gjennomsnitt	84
Min.	40
Max	100
N	501
Varians	128,73
Standardavvik(σ)	11,35

Figur 11: Kalkulert gjennomsnittlig relativ luftfuktighet på Granåsen Skiarena

Måned	Antall dager i måned for datasett(februar brukes et gjennomsnitt)	Dagsgjennomsnitt lufttemperatur(°C)	Antall verdier(N)	Variasjon	Standard-avvik(σ)	Standard-avvik(σ)	Konf.Intervall (konfidensnivå =0,95)	Antall dager med under 0 WBT(0,94)	Antall dager med under -2 WBT(-1,15)	Antall dager med under -4 WBT(-3,23)	Antall dager med under -6 WBT(-5,13)	Antall dager med under -8 WBT(-7,39)
April	14	1,8901	337	8,9928	2,9988	$\pm 0,3202$	142	68	18	1	0	
Mars	31	-0,8548	713	16,4801	4,0596	$\pm 0,2980$	453	309	181	103	44	
Februar	28,25	-2,7482	733	26,0556	5,1045	$\pm 0,3695$	567	416	280	189	118	
Januar	31	-2,9450	777	24,3562	4,9352	$\pm 0,3470$	600	454	326	221	134	
Desember	31	-2,5153	806	29,4755	5,4291	$\pm 0,3748$	564	427	313	226	145	
November	30	0,7147	778	19,8522	4,4556	$\pm 0,3131$	393	234	127	78	34	
Oktober	18	3,3738	452	12,8125	3,5795	$\pm 0,3300$	106	45	18	4	1	

Figur 12: Kalkulert Våtkuletemperatur(WBT) og antall måledata som faller innenfor gitt kategori, ved lufttrykk lik 1 bar og RF 84 prosent

