

Energieffektivisering vid snötillverkning

Hannes Andersson

Examensarbete

Lunds Tekniska Högskola

Civilingenjör Maskinteknik

Institutionen för Energivetenskaper

2009

Handledare: Lennart Thörnqvist

Abstract

Idre Fjälls snow production has been analyzed in cooperation with Snowtech AB. A survey of the energy use and how to decrease the energy use was carried out. The first part is about snow and snowmaking.

Natural snow consists of water molecules that form a hexagonal pattern in solid state. The reason to the hexagonal pattern is due to dendritic growth during the snow crystals journey through the cloud towards the ground. Snow from snow guns is spherical in shape in contrast to natural snow, which has a hexagonal pattern.

Depending on the type of snow gun that is used different amount of snow is produced depending on the wet bulb temperature. With the current modern snow guns the snow quality is not dependent on the temperature instead the amount of snow produced increases with decreasing temperature.

The foundation Idre Fjäll is the second largest ski resort company in Sweden if turnover is counted. Approximately 15 GWh is used during one year, 3 GWh or 20 % is used to produce snow. Compressing air uses largest amount of energy.

Sammanfattning

Tillsammans med Idre Fjäll och Snowtech AB har Idre Fjälls driftsdata för snötillverkning analyserats och redovisats. Jag har även tagit fram förslag på åtgärder som kan genomföras för att minska energiförbrukningen vid snöproduktionen. Först har snö och snötillverkning beskrivits för att få en bakgrund till ämnet.

Naturlig snö består av vattenmolekyler som vid fast form bildar ett hexagonalt mönster. Anledningen till det är dendritisk tillväxt i moln under snöflingans färd mot marken. Konstgjord snö från snökanoner har inte hexagonalt mönster utan är sfäriskt formade.

Beroende på typ av snökanon som används produceras olika stor mängd snö beroende på wet bulb temperatur. Med dagens moderna snökanoner är inte snökvaliteten beroende av temperaturen utan det är mängden producerad snö som ökar vid lägre temperatur.

Stiftelsen Idre Fjäll är den näst största skidanläggningen i Sverige om årsomsättning räknas. Idre Fjäll använder totalt ungefär 15 GWh el under ett år, till snöproduktionen används 20 %, det vill säga 3 GWh. Den största energiförbrukaren är luftkompressorerna.

Förord

Detta examensarbete har gjorts i samarbete med Idre Fjäll och utförts vid avdelningen för Energihushållning på institutionen för Energivetenskaper på Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet är den sista delen i min utbildning till civilingenjör i maskinteknik med energiinriktning.

Jag skulle vilja rikta ett stort tack till Idre Fjäll, Jan Mangborg på Snowtech AB och min handledare professor Lennart Thörnqvist.

”Snötillverkning är ett arbete mot naturens krafter där alla vet vem som vinner i slutändan.” Sagt av en tidigare anställd på Snowtech AB.

Innehållsförteckning

1	Inledning	8
1.1	Bakgrund	8
1.2	Problematisering	9
1.3	Målsättning/Syfte	9
1.4	Fokus och avgränsningar	9
1.5	Övrigt	9
1.6	Metod	9
2	Snö	11
2.1	Snökristall	12
2.2	Tillväxt av planyta	15
2.3	Tillväxt genom förgrening	16
3	Snötillverkning	16
3.1	Snökanoner	17
3.1.1	Internblandning	17
3.1.2	Externblandning	17
3.1.3	Fläktblandning	17
3.2	Snökvalitet	19
3.3	Skillnad naturlig och tillverkad snö	20
3.4	Mekaniska egenskaper	20
3.5	Temperaturer	21
3.6	Automatiska system	21
3.7	Mer om Snötillverkning	22
3.8	Lufttid	24
3.9	Kompressorer	25
3.10	Pumpar	26
3.11	Transportförluster	28
3.12	Kylare	28
3.13	Tillsatser	28
3.14	Vattenförbrukning	29
3.15	Energieffektiviseringar/Energioptimering	30
3.16	Vikten av rätt temperatur vid snötillverkning	31
4	Idre Fjäll	33
4.1	Bakgrund	33
4.1.1	Snögaranti	33
4.1.2	Miljöpolicy	33
4.1.3	Idre Fjälls elanvändning	33
4.2	Snötillverkningssystem	33
4.2.1	Vatten	34
4.2.2	Luft	35
4.2.3	Automatisktssystem	36
4.2.4	Snökanoner	36
4.3	Analys av driftsdata	41
4.3.1	Producerad mängd snö och vattenåtgång	41
4.3.2	Energiförbrukning	43
4.3.3	Kostnad	46
4.3.4	Elpris	46
4.3.5	Vattenmängd och driftskostnad	47
4.3.6	Totala kostnader	49
4.3.7	Sammanfattning	50

4.4	Analys av snöläggning i nedfarter	52
4.5	Jämförelse mellan olika snökanoner.....	57
4.6	Temperaturens inverkan på snömängd	60
4.7	Effektiviseringar som bör genomföras:.....	62
4.8	Slutsatser.....	63
5	Diskussion.....	64
6	Referenser.....	66
7	Bilaga 1.....	69

Figurförteckning

Figur 1. Snökrystaller fotograferade av Wilson Bentley. [7]	11
Figur 2. Morfologiskdiagram över snökrystaller [2].	12
Figur 3. Kristallgitter hos iskrystall. De röda kulorna är syreatomer och de grå pinnarna är väteatomer [3].....	13
Figur 4. Enklaste formen av en snökrystall [3]. Den består av två ändtytor och sex sidoytor. Beroende på vilken del som växer med högst hastighet får snökrystallen en avlång eller plattliknande form. Beroende på snökrystallens omgivning kan förgreningar skjutas ut när den växer [3]	14
Figur 5. Längst till vänster i figuren syns snökrystaller som tillverkats vid -2°C, i mitten vid -5°C och längst till höger vid -15°C. Övermättningsgrad ligger nära vattens mättningsgrad. Det syns tydligt att snökrystallers form är mycket känslig för små variationer i temperaturen [2]... 14	
Figur 6. Den del av ytan som var skrovlig växer med större hastighet än den plana ytan. Snökrystallen bildar en sexkantig form, inte en fyrkantig som syns i figuren [5]......	15
Figur 7. Kristallform på tillverkad snö [13].....	20
Figur 8. Modell av snötillverkning [12]. Nucleatorerna sprutar ut en blandning av vatten och luft. Vattenmunstyckena sprutar enbart ut vatten. Vatten och luft blandningen som kommer från nucleatorerna	23
Figur 9. Kostnad att tillverka snö beroende på omgivningstemperatur [11].	31
Figur 10. Förenkling av Idre Fjälls masterplan för snötillverkning.....	34
Figur 11. Pumphus PS100 Ost Idre Fjäll.....	38
Figur 12. Pumphus PS 500 Nord Idre Fjäll.	39
Figur 13. Pumphus PS 200 Booster Idre Fjäll.....	40
Figur 14. Kompressorhus CS1300 Idre Fjäll.....	41
Figur 15. Fördelning av elanvändning snötillverkning.	45
Figur 16. Vattenmängd och driftskostnad för de olika pumphusen under tre olika tidsperioder.	48
Figur 17. Driftskostnad per kubikmeter vatten vid de tre olika pumphusen.....	50
Figur 18. Fördelning snötillverkningskostnader, 071001 - 080531.....	51
Figur 19. Fördelning driftskostnader, 071001 - 080531.....	51
Figur 20. Fördelning manuella och automatiska snökanoner, 071001 - 080531.....	52
Figur 21. Västbranten och sydbacken.	53
Figur 22. Carvingsvängen.....	54
Figur 23. Nya Västbacken.....	54
Figur 24. Nedre delen av Dalarnas längsta.	55
Figur 25. Svarten.....	56
Figur 26. Ratnik Snow Giant V.....	57
Figur 27. TechnoAlpin A9 [26]	58
Figur 28. Producerad mängd snö vid olika temperaturer och modell av snökanon.....	61

Tabellförteckning

Tabell 1. Olika typer av snökanoner [9][11].	18
Tabell 2. Undersökning av snökvalitet [10].....	19
Tabell 3. TechnoAlpins snökanoner [27].....	30
Tabell 4. Sammanställning av snötillverkningsutrustning.	37
Tabell 5. Pumphus PS 100 Ost.....	38
Tabell 6. Pumphus PS 500 Nord.....	38
Tabell 7. Pumphus PS 200 Booster Idre Fjäll.....	39
Tabell 8. Kompressorhus CS 1300 Idre Fjäll.	40
Tabell 9. Producerad mängd snö och vattenmängd.....	42
Tabell 10. Energiförbrukning pumphus, kompressorhus och snökanoner.	44
Tabell 11. Driftskostnad pumpar, kompressorer och snökanoner.	46
Tabell 12. Totala kostnader snötillverkning.	49
Tabell 13. Vatten och luftflöde för två olika snökanoner [27].	58

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Att producera snö med snökanoner görs idag vid nästan alla skidanläggningar i Sverige. Det är endast ett fåtal anläggningar i nordligaste Sverige som förlitar sig på att det faller tillräckligt med naturlig snö. Skidanläggningar är beroende av att kunna producera snö för att kunna hålla de öppningstider de lovar gästerna. Om snökanonernas utveckling och tillkomst inte skulle ha ägt rum som den gjort skulle skidturistindustrin i Sverige och världen inte sett ut som den gör idag.

Skidindustrin i Sverige omsatte säsongen 1982/1983 205 miljoner kronor. Säsongen 2007/2008 omsattes totalt 1 miljard kronor i Sverige [1]. Det har skett en kraftig utbyggnad och gästerna har mångdubblats. Gästerna efterfrågar en totalupplevelse där det ställs stora krav på boende, mat och nedfarter. Speciellt gästernas krav på nedfarterna har ökat vilket innebär att det inte bara ska gå att åka i nedfarterna utan underlaget ska även vara mjukt och nypreparerat varje morgon.

Med ökande temperaturer och senare vintrar har inte bara skidorter i nordnorden blivit beroende av snökanoner utan även många orter nere i Alperna, vilka förr hade en god snötillgång hela säsongen, förlitar sig nu på konstgjord tillverkad snö.

Många skidanläggningar har idag någon form av snögaranti som innebär att ett antal nedfarter och ett antal kilometer med längdskidspår ska vara öppna. Detta medför att det ställs krav på när snön ska vara lagd och att en viss mängd läggs för att den inte ska hinna smälta bort för tidigt på våren.

Under de senaste åren har elpriserna stigit och diskussionen om miljö och klimatpåverkan har blivit mycket aktuell vilket har medfört att även skidanläggningar har blivit mer intresserade av att minska sin energiförbrukning och sina miljöfarliga utsläpp. Med större krav på snögaranti och osäkrare vintrar med tidvis långa perioder med temperaturer över 0°C har skidanläggningarna blivit än mer beroende av snötillverkning. Med den utveckling som skett med snökanoner från 1980-talet fram till idag har det blivit möjligt att producera mer och bättre snö vid temperaturer nära 0°C till en lägre kostnad. Vattenförbrukningen har ökat eftersom mer snö produceras och detta påverkar naturen eftersom vattnet tas ifrån sjöar och vattendrag.

1.2 Problematisering

Vad är snö?

Hur tillverkas konstgjord snö?

Vilka är de största förbrukarna av energi vid snötillverkning på Idre Fjäll?

Var ska snön läggas? I vilka backar och var i backarna?

Hur är det möjligt att energieffektivisera och minska energiförbrukningen för Idre Fjälls snötillverkning?

Vilka är de största kostnaderna vid snötillverkning?

1.3 Målsättning/Syfte

Målsättningen med detta examensarbete är att beskriva hur snötillverkning går till samt att närmare undersöka Idre Fjälls snötillverkning med avseende på energiförbrukning och energieffektivisering.

1.4 Fokus och avgränsningar

Detta examensarbete är fokuserat på energiomvandling vid snötillverkning. Dels en litteraturstudie för att inhämta kunskap om hur snötillverkning fungerar och dels en undersökande uppgift i form av att titta närmare på Idre Fjälls snötillverkning med avseende på energiförbrukning och möjliga energieffektiviseringar.

1.5 Övrigt

Målgruppen med den här rapporten är främst Idre Fjäll och Snowtech AB men också övriga personer som är intresserade av att fördjupa sig i ämnet snötillverkning och energiförbrukning.

1.6 Metod

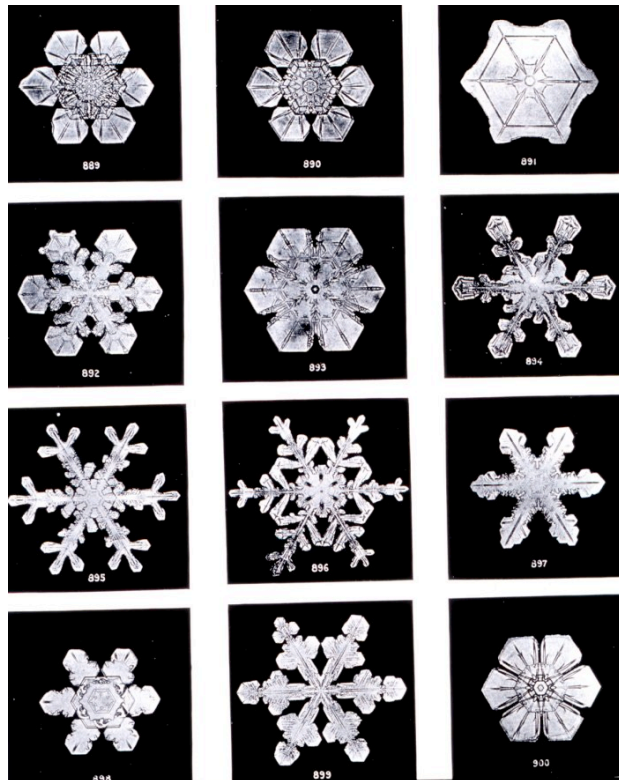
Genom en litteraturstudie har snötillverkning och snö förklarats. Med driftsdata från Idre Fjälls automatiska del av snötillverkning har driftsdata analyserats och redovisats. Jag har också tagit fram förslag på vilka åtgärder som kan medföra besparingar och effektiviseringar vid snötillverkning.

Information om snötillverkning och Idre Fjäll har inhämtats genom studiebesök hos Snowtech AB i Sunne samt på Idre Fjäll. Genom att diskutera med driftspersonal och analys av den information som finns tillgänglig har jag klargjort hur Idre Fjälls

snötillverkningsystem är uppbyggt och fungerar. Analys av driftsdata har sedan skett genom användning av statistikdelen i Atass programvaran där data exporterats och importerats i Excel för vidare analys. Atass är en programvara utvecklad av TechnoAlpin för automatisk styrning av snötillverkningsystem.

2 Snö

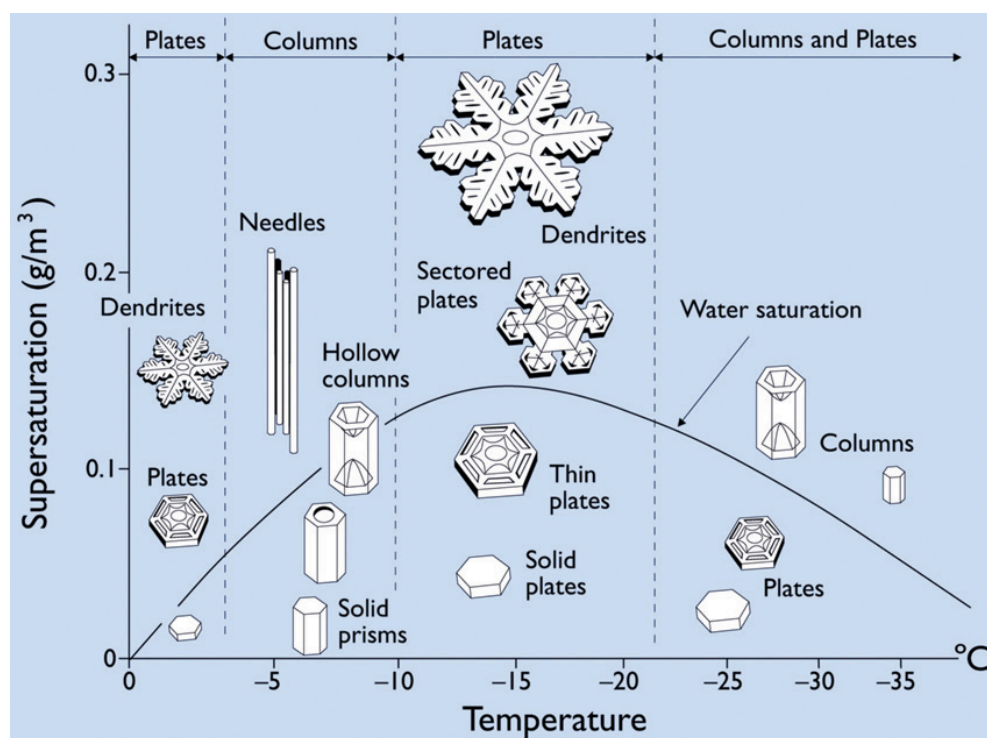
Den första att titta på snö med ett vetenskapligt synsätt var Johannes Kepler på 1600-talet. Han försökte beskriva ursprunget till snökristallens symmetriska form. Den första att göra en större fotografisk samling av snökristaller var Wilson Bentley som 1931 presenterade en katalog med flera tusen bilder, se Figur 1.



Figur 1. Snökristaller fotograferade av Wilson Bentley. [7]

Ukichiro Nakaya var den förste som gjorde undersökningar av snökristallers tillväxt i laboriemiljö. Han tillverkade snökristaller på konstgjordväg och noterade de olika former som uppkom beroende på temperatur och övermättning i luften. Detta gav

upphov till den morfologiska figuren över snökristaller, se Figur 2 [2].



Figur 2. Morfologiskdiagram över snökristaller [2].

Den morfologiska figuren visar vilken form snökristallerna får vid en viss temperatur och övermättning, se Figur 2. När temperaturen är mellan 0°C och -5°C bildas plattformade snökristaller. Mellan -5°C och -10°C bildas pelarformade kristaller. När temperaturen sjunker ytterligare bildas återigen plattformade kristaller.

Luftfuktigheten påverkar komplexiteten hos snökristallerna. Med ökad övermättning ökar komplexiteten på formerna och vid lägre luftfuktighet minskar den [3].

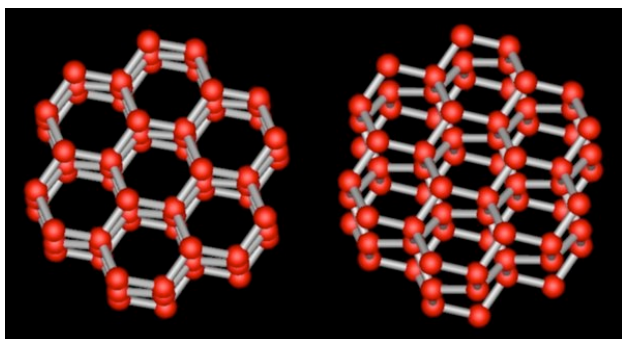
Snökristallerna i Figur 2 är tillverkade vid atmosfärstryck och visar endast enkla former av snökristaller. De flesta naturliga snökristaller består av flera olika former [2].

2.1 Snökristall

En snökristall bildas på följande sätt. Ett moln innehåller mycket små dammpartiklar som vattendroppar kondenserar på. Vattendroppar som har mikroskopisk storlek och inte innehåller några orenheter eller dammpartiklar kan bli nedkylda till -40°C utan att övergå i fastform. På grund av dammpartiklarna börjar vattnet att frysa redan vid ungefär -10°C. Alla vattendroppar fryser inte samtidigt på grund av olika storlek på dammpartiklarna. Vattendropparna, som är frusna, ackumulerar vattenånga som finns i molnet och dess storlek ökar. Snökristallen som har bildats utsätts för olika

temperatur och övermättningsgrad när det färdas i molnet. På grund av det ändras snökristallens tillväxt flera gånger. Det är också därför varje enskild snöflinga ser olika ut. De färdas alla olika banor genom molnen och utsätts för olika förhållanden [2].

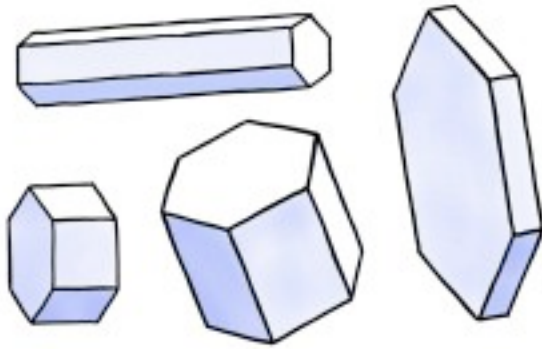
Snöflingor består av en eller flera snökristaller. En snökristall består av en enskild kristall av is [3]. En kristall är ett material eller ämne i fast form som har en regelbunden tredimensionell struktur av atomer och molekyler [6]. I snökristallen finns vattenmolekyler, två väteatomer och en syreatom. Vattenmolekylerna bildar ett hexagonalt (sexkantigt) gitter, se Figur 3. Kristallgitter hos iskristall. De röda kulorna är syreatomer och de grå pinnarna är väteatomer [3].



Figur 3. Kristallgitter hos iskristall. De röda kulorna är syreatomer och de grå pinnarna är väteatomer [3].

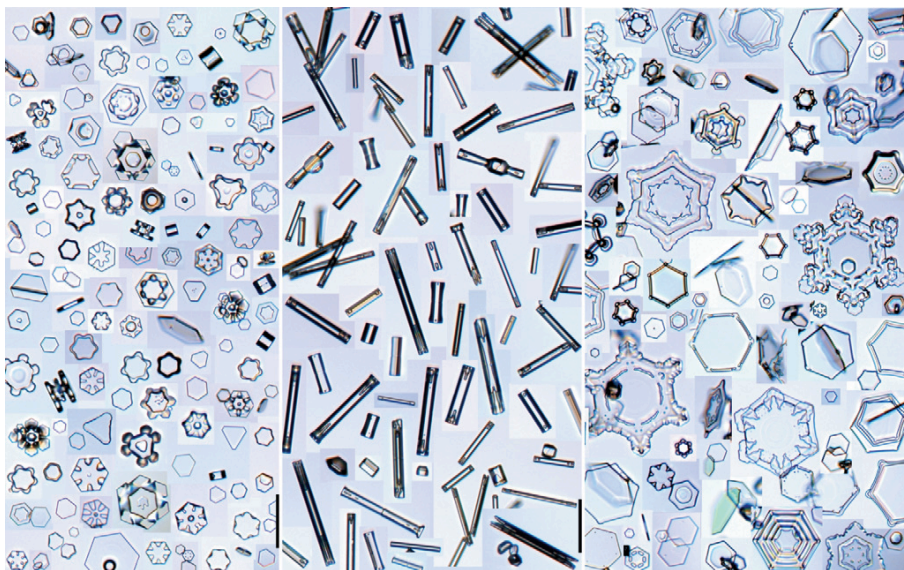
Det hexagonala gittret på molekylnivå är anledningen till att snökristallen får en hexagonal form. Den enklaste formen av en snökristall är en hexagonal prisma, se Figur 4.

På molekylär nivå har snökristallen ett hexagonalt gitter, se Figur 3, detta molekylära gitter ger upphov till en hexagonal (sexkantig) form på snökristallen som är ungefär tio miljoner gånger större än det molekylära gittret. Anledningen till att den molekylära strukturen påverkar formen på snökristallen är följande. Från början är snökristallen rund och det finns många möjligheter för fria vattenmolekyler att fästa sig på snökristallen. På molekylärnivå är ytan skrovlig med många fria kemiska bindningar. När fria vattenmolekyler fäster till snökristallen blir ytan jämn och det blir svårare för vattenmolekylerna att fastna. Till slut består snökristallen, som från början var rund, av två ändytor och sex stycken sidoytor, se Figur 6.



Figur 4. Enklaste formen av en snökristall [3]. Den består av två ändytor och sex sidoytor. Beroende på vilken del som växer med högst hastighet får snökristallen en avlång eller plattliknande form. Beroende på snökristallens omgivning kan förgreningar skjutas ut när den växer [3]

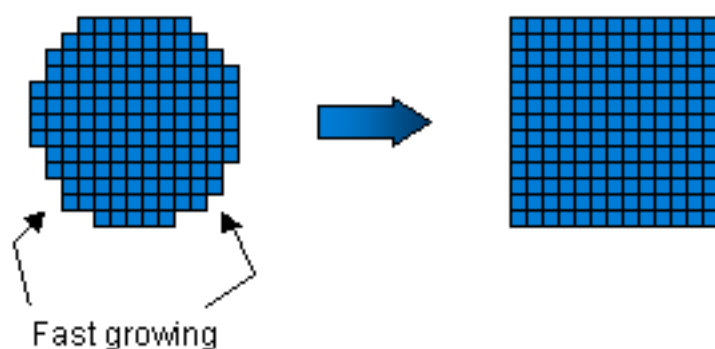
Snökristallers variation i form beroende på temperatur är mycket känslig, se Figur 5. Längst till vänster i figuren syns snökristaller som tillverkats vid -2°C , i mitten vid -5°C och längst till höger vid -15°C . Övermättning ligger nära vattens mättningsgrad. Det syns tydligt att snökristallers form är mycket känslig för små variationer i temperaturen [2].



Figur 5. Längst till vänster i figuren syns snökristaller som tillverkats vid -2°C , i mitten vid -5°C och längst till höger vid -15°C . Övermättning ligger nära vattens mättningsgrad. Det syns tydligt att snökristallers form är mycket känslig för små variationer i temperaturen [2].

Snökristaller kan forma mycket komplexa och speciella former. Detta sker när förgreningar växer ut från sidoytorna på snökristallprisman. Anledningen till att detta sker är på grund av diffusion. Vattenmolekylerna som omger snökristallen, i form av vattenånga, kondenserar på snökristallens yta. Om det finns en liten utbuktning på snökristallens yta når vattenmolekylerna denna punkt före resten av ytan. Fler

vattenmolekyler ansamlas på denna punkt och utbuktningen börjar utvecklas till en förgrening. Detta upprepas gång efter gång och den ursprungliga förgreningen växer, det bildas också flera förgreningar på samma sätt. Detta medför att snökristallerna kan få förgreningar som blir trädliknande. Beroende på temperatur och luftfuktighet växer snökristallen med förgreningar eller genom att de plana ytorna ökar i storlek [4].



Figur 6. Den del av ytan som var skrovlig växer med större hastighet än den plana ytan. Snökristallen bildar en sexkantig form, inte en fyrkantig som syns i figuren [5].

Tillväxt av snökristaller beror på tre faktorer, bifogningskinetik som beskriver hur vattenmolekyler fäster vid ytan, partikeldiffusion som transporterar vattenmolekyler till ytan och värmediffusion som bortför den latent värme som frigörs när vattenmolekylerna övergår till fast form. Beroende på vilken av de tre ovan nämnda faktorer som är dominant tillväxer snökristaller genom att de plana ytorna ökar i storlek eller att det bildas förgreningar. Plana ytor bildas och ökar i storlek när bifogningskinetik är den dominerande faktorn. Då är övermättningsgraden låg, omgivande gstryck lågt och kristall storleken liten. Förgreningar bildas då partikeldiffusion är den dominerande faktorn. Då har övermättningsgraden, det omgivande gstrycket eller kristall storleken ökat avsevärt. När det bildas flera förgreningar blir tillväxten trädlik [2].

2.2 Tillväxt av planyta

En snökristalls tillväxthastighet, normalt mot ytan, från vattenånga kan beskrivas med Hertz-Knudsen formel, ref [34] i [2].

$$v_n = \alpha \frac{c_{sat}}{c_{solid}} \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} \sigma_{surf} = \alpha v_{kin} \sigma_{surf}$$

Där k =Boltzmann's konstant, T =temperatur, m =massan av en vattenmolekyl, $c_{\text{solid}}=\rho_{\text{ice}}/m$ nummer densitet för is, $\sigma_{\text{surf}}=(c_{\text{surf}}-c_{\text{sat}})/c_{\text{sat}}$ är mättnadsgraden precis ovanför tillväxtytan, c_{surf} är nummer densiteten för vattenångan vid ytan, c_{sat} är jämvikts nummer densiteten ovanför den plana is ytan. Kondensationskoefficienten α beror på ytans fysiska egenskaper och hur lätt nya molekyler fastnar på ytan. Kondensationskoefficienten α varierar med temperatur, mättnadsgrad precis ovanför tillväxtytan, ytans struktur, ytans geometri och dess kemiska uppbyggnad. Om alla molekyler som stöter emot ytan upptas är $\alpha=1$, om så inte sker är $\alpha<1$. På plana ytor är tillväxten begränsad av hur lätt nya molekyler fastnar på ytan och detta medför att $\alpha<1$. Är ytan däremot skrovlig kan man anta att $\alpha=1$. I Figur 6 är $\alpha=1$ i de ytor som inte bildat plana ytor ännu, och på de plana ytorna är $\alpha<1$. När $\alpha=1$ är tillväxthastigheten högre och de ytorna tillväxer fortare [2].

2.3 Tillväxt genom förgrening

Om det finns en liten utbuktning på en plan yta kommer den att befinna sig i den övermättade ångan. Vattenmolekyler kommer att nå utbuktningen med en högre hastighet än den omgivande plana ytan. Detta medför att utbuktningen växer i storlek och tillförseln av vattenmolekyler ökar än mer [2].

3 Snötillverkning

För att vatten ska frysa vid 0°C krävs, som tidigare nämnts, en mycket liten partikel eller kärna. Finns ingen partikel eller kärna fryser vatten vid ungefär -40°C . Det är mycket svårt att tillverka snö genom att enbart spruta ut vatten i luft. För att lyckas krävs det att vattnet får falla en lång stund i kraftig kyla innan den når marken. För att lösa detta problem används komprimerad luft vid snötillverkning. Luften behövs för att bilda kärnor/partiklar som vattnet kan frysa på. Komprimerad luft som expanderar får en sänkt temperatur och den lägre temperaturen hjälper till att kyla ned vattnet. Nedkylningen på grund av den expanderade luften skapar ett mikroklimat i närheten av snökanonens utlopp. Luften klyver också vattendropparna till mindre vattendroppar som lättare övergår till fast form [8].

3.1 Snökanoner

Det går att dela in snökanoner i tre kategorier beroende på hur vattnet och luften blandas, intern-, extern- eller fläkt blandning.

3.1.1 Internblandning

En snökanon med internblandning fungerar genom att trycksatt vatten och luft blandas i en blandningsbehållare i munstycket av snökanonen. Blandningen expanderar när den lämnar munstycket och temperaturen sjunker under 0°C. Mycket små vattendroppar fryser till iskristaller och fungerar i egenskap av kärnbildare som större icke frusna vattendroppar fäster på och övergår till fast form [9].

3.1.2 Externblandning

Snökanoner med externblandning använder också trycksatt vatten och luft.

Blandningen sker genom att vattnet och luften sprutas ut ur olika munstycken. Den komprimerade luften expanderar och underkyler vissa mycket små vattendroppar som bildar kärnor. Utgångshastigheten från en externblandad snökanon är avsevärt lägre än för en med internblandning. Detta medför att munstycket måste vara högre placerat på en snökanon med externblandning för att få den lufttid som behövs för att snökristaller ska bildas. Snökanoner med intern och extern blandning behöver ingen kraftkälla i närheten av snökanonen utan snökanonerna kan vara anslutna till ett rörsystem med trycksatt luft och vatten [9].

3.1.3 Fläktblandning

Det finns snökanoner som inte behöver en extern anslutning av trycksatt luft utan bara vatten och elektricitet, där blandningen sker med hjälp av en fläkt. En fläkt blåser på munstycken som sprutar ut vattendroppar. Fläkten skickar iväg vattendropparna en lång väg så att de hinner bilda snökristaller innan de landar på marken. Snökanoner med fläktblandning är oftast utrustade med en kompressor som komprimerar luft som sedan används för att bilda kärnor som sprutas bredvid vattendropparna.

Snökanoner med intern och fläktblandning ger den största flexibiliteten vid snötillverkning. Det är möjligt att tillverka snö i ett stort temperaturspann och att sprida snön på ett tillfredställande sätt. Detta gör de speciellt lämpade för anläggningar som vill öppna tidigt på säsongen. Snökanoner som bygger på principen med extern blandning är mer temperatur och vindkänsliga men ger en bättre energieffektivitet när rätt temperatur är tillgänglig [9]. Det finns också en typ av snökanon som endast är ett munstycke som sprutar vatten, en så kallad vattenpinne.

Det är en ny typ av snökanon som endast använder vatten och kemiska tillsatser. Vattnet måste vara underkyllt och vid högre tryck jämfört med de andra typerna av snökanoner samt att temperaturen måste vara tillräckligt låg för att den ska fungera. Det behövs däremot ingen trycksatt luft [11].

Tabell 1. Olika typer av snökanoner [9][11].

Blandning	Kraftkälla	Fördelar	Nackdelar	Max wet bulb temperatur [11]
Intern	Trycksatt vatten, tryckluft	Central placering av kompressorer, hög utgångshastighet från munstycke, klarar stora tempvariationer,	Beroende av tryckluft och trycksatt vatten. Ljudnivå,	-1°C
Extern	Trycksatt vatten, tryckluft	Bättre energieffektivitet	Kräver låg temperatur, vindkänslig, permanent monterad, svårt att variera snökvalitet,	-4,4°C
Fläkt	Trycksatt vatten, el	Bäst energieffektivitet, kräver ingen tryckluft, har egen kompressor, låg ljudnivå, möjlighet att variera snökvalitet	Svår att flytta,	-4,4°C
Vattenpinne	Trycksatt vatten	Endast trycksatt vatten,	Kemiska tillsatser behövs, högt tryck på vattnet, temperaturkänslig	-4,4°C

3.2 Snökvalitet

Konstgjord snö kan ha olika kvalitet. Den kan vara torr med låg densitet eller blöt med hög densitet, det finns även blandningar däremellan. Personal som arbetar med snötillverkning säger att det är en konst att tillverka snö med rätt egenskaper. På den övre delen av snölagret ska det gärna vara en torr och lätt snö som är lätt att svänga i och dämpar eventuella fall. Under det övre lagret ska det vara ett hårdare lager med snö som skyddar mot att åkaren kommer i kontakt med marken. Beroende på lutningen på en nedfart behövs olika slags snö och olika tjocklek på snölagret. I en brant nedfart slits det mer på snölagret än i en flack nedfart och det krävs ett tjockare och hårdare snölager. Det ska också vara enkelt att preparera snön med en pistmaskin [9].

Genom att öka eller minska förhållandet mellan vatten och luft in i snökanonen fås antingen en blötare eller torrare snö. Vid tillverkning av snö försöker man tillverka naturlig snö som är som tre dagar gammal. Natursnö är blötare och har en högre densitet än nysnö. Anledningen till att tillverka en blötare snö är för att den håller längre, slits inte så mycket av åkare, förflyttas inte av vinden, den är lätt att preparera och det produceras en större mängd snö per energimängd. Det går att undersöka snökvaliteten genom att krama en näve med snö eller låta snön från snökanonen landa på jackärmen eller en plastskiva [10].

Tabell 2. Undersökning av snökvalitet [10].

Snökvalitet	Hand	Jacka	Plastskiva
Blöt	Inte mer än 1 till 2 vattendroppar, håller ihop, lite genomskinlig.	En del studsar av, 5-10 mm, och en del stannar.	Stannar på skivan, lite vitt när snön pressas samman.
Blandning	Inga vattendroppar, mestadels vit.	En del studsar av, 10-15 mm, och en del stannar när det pressas mot jackan	Stannar på skivan, mestadels vitt när snön pressas samman.
Torr	Inga vattendroppar, pudrig, helt vit.	En del studsar iväg 20 mm, en del faller av jackan.	Bara lite stannar på skivan, helt vitt när snön pressas samman, det mesta faller av.

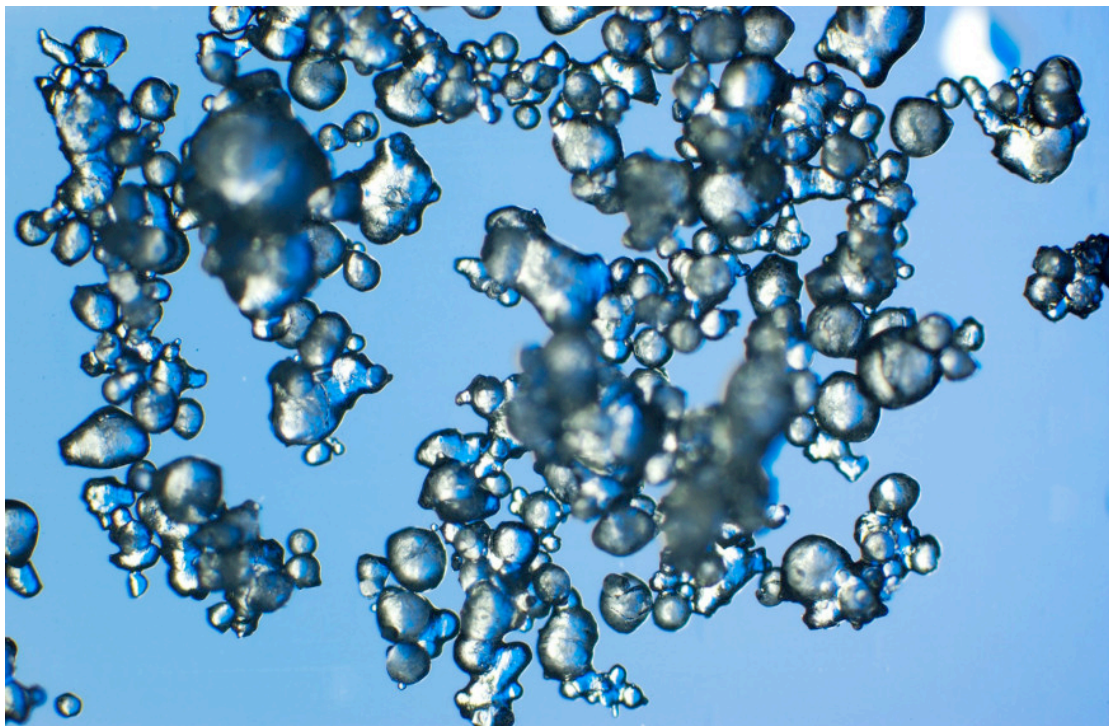
Det går att påverka kvaliteten på snön som tillverkas genom att tillsätta tillsatser i vattnet, ändra lufttiden vattendropparna utsätts för och ändra förhållandet mellan vatten och luft [11].

Snö som är preparerad med pistmaskin och tillverkad av dagens moderna snökanoner från TechnoAlpin är mycket svår att skilja från naturlig preparerad snö enligt Jan Mangborg Snowtech AB. Anledningen till detta är den utveckling som skett de senaste åren på att främst kunna producera snö med jämn kvalitet oavsett temperatur. Kvaliteten hålls konstant oberoende av hur tjockt snölagret är.

3.3 Skillnad naturlig och tillverkad snö

Det finns tre skillnader mellan naturlig snö och tillverkad snö. Naturlig snö tillväxer under en avsevärt längre tid än tillverkad snö som endast utsätts för tillväxt under ett antal sekunder. Naturlig snö har mycket komplexa former, se avsnittet om snö, medan tillverkad snö har en rund kristallform se **Figur 7. Kristallform på tillverkad snö** [13].

Densiteten för naturlig snö är mycket lägre än för tillverkad snö.



Figur 7. Kristallform på tillverkad snö [13].

3.4 Mekaniska egenskaper

Sträckgränsen för tillverkad snö är avsevärt större än för naturlig snö och kan beräknas med följande formel [11].

$$\theta = (3\rho gL^2)/T$$

Där θ är den maximala sträckgränsen innan plastisk deformation sker, ρ är densiteten, g är gravitationen, L är längden, och T är tjockleken av materialet. Genom mätningar har det visat sig att sträckgränsen för tillverkad snö ökar med tiden. Att sträckgränsen ökar 15 gånger i styrka över en period på flera dagar är inte ovanligt. Naturlig snö kan endast komma upp i värden i närheten av tillverkad snö om den vindpackas hårt eller om den delvis smälter och fryser igen [11]. Enligt Kjell Skoglund, driftschef på Idre Fjäll, motsvarar 2-3 meter naturlig snö 40-50 cm med tillverkad snö.

De tre faktorer som påverkar kvaliteten av den tillverkade snön efter tillverkning är: processer i snön som höjer sträckgränsen, påverkan av åkare och pistmaskiner som ändrar snöns egenskaper i närheten av ytan och variationer i vädret. Snöns kvalitet påverkas mer av dessa tre faktorer än de parametrar som kan ändras vid tillverkning [11].

Åkare och pistmaskiner påverkar snöytans egenskaper på grund av den kraft de utsätter ytan för. En skidåkare påverkar snön med ett stort tryck. Anledningen till det är att endast en del av skidornas totala yta är i kontakt med snön vid åkning. Dagens skidor åks mycket mer på kant än förr i tiden vilket gör att trycket har ökat. Hastigheten och centrifugalkraften har också blivit större. Rörelseenergin beror på massan och hastigheten i kvadrat vilket medför att om hastigheten dubblas blir arbetet skidåkaren utsätter snön för fyra gånger större [11].

3.5 Temperaturer

Wet bulb temperaturen beror på luft temperaturen och den relativa luftfuktigheten. Det går att mäta wet bulb temperaturen genom att runt en termometer ha en trasa eller bomullstuss som är mättad med vatten och sedan blåsa luft mot termometern. Den temperatur som då avläses är wet bulb temperaturen [20]. Det går även att beräkna wet bulb temperaturen vilket görs i de flesta nya snökanoner.

3.6 Automatiska system

Genom att använda automatiska system för tillverkning av snö kan effektiviteten förbättras avsevärt jämfört med ett system som justeras manuellt. Detta gäller speciellt snökanoner med intern och fläkt blandning där effektiviteten kan öka med 30 - 50 %. Anledningen till att det inte ger lika stora förbättringar med en externtblandad snökanon är att de är enkla att stänga av manuellt och inte kräver justeringar lika ofta.

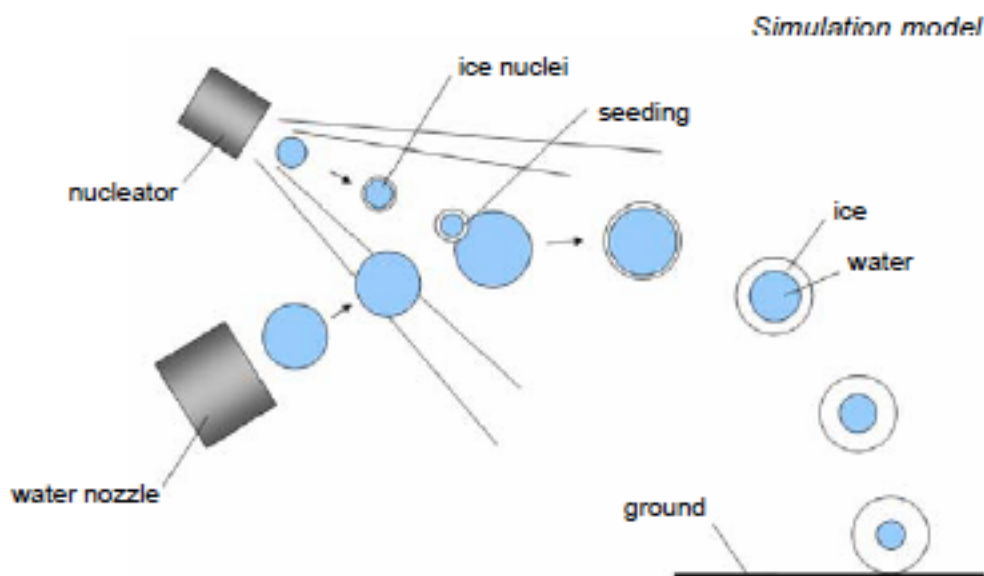
Ett automatiskt system justerar sig självt efter rådande väderförhållanden. Det finns oftast flera väderstationer på berget som systemet hämtar information ifrån. En del snökanoner har också egna väderstationer. De parametrar som är intressanta är omgivningstemperatur, våttemperatur, luftfuktighet, vindriktning och vindstyrka. Till en dator, med speciell programvara, är alla pumpar, kompressorer, kylanläggningar, snökanoner och väderstationer kopplade för att få en överblick och göra de inställningar som behövs för att få en effektiv snötillverkning. Med en effektiv snötillverkning menas att man får ut en stor mängd snö med önskad kvalitet till en låg förbrukning av energi. Att starta upp och stänga ner ett automatiskt system tar inte alls lika lång tid som att starta upp och stänga ner ett manuellt system. För ett manuellt system kan det ta från 1 timme och upp till flera timmar att starta upp och lika lång tid att stänga ner. Ett automatiskt system behöver endast cirka 10 minuter vid start och stopp. Detta är till väldigt stor fördel i början av snötillverkningssäsongen då det bara under korta tidsperioder är möjligt att tillverka snö på grund av varierande temperaturer. Ett automatiskt system för snötillverkning kan också ge driftsdata som kan vara intressant att analysera närmare för att i framtiden ytterligare optimera och planera snötillverkningen [9].

Ett manuellt system måste justeras när temperatur, luftfuktighet eller vindförhållanden ändras. Det tar cirka 10 minuter att ställa in en kanon och är antalet kanoner stort blir det ett evighetsgöra då väderförhållandena på fjället kan variera mycket under en kort tid enligt personal på Snowtech AB.

3.7 Mer om Snötillverkning

Snötillverkning är en värmeväxlingsprocess där vatten i flytande form övergår till fastform genom fasomvandling. De råmaterial som behövs för att tillverka snö är vatten, luft och eventuella tillsatser. Snö kan tillverkas utan tillsatser men tillsatser kan ha en positiv effekt på mängden snö som tillverkas. För att tillverka snö behöver vattnet och luften trycksättas och pumpas fram till snökanonen, luften och vattnet behöver också kylas av för att minska energiförbrukningen. Vanligtvis har vatten som lämnar munstycket på snökanonen en temperatur mellan 1°C och 7°C. Efter att vattendroppen har lämnat munstycket sjunker dess temperatur snabbt på grund av expansion, konvektiv avkyllning och förångning. Efter en viss tid uppnår vattendroppen jämviktstemperatur med omgivning, vattendroppen har då nått sin wet bulb temperatur. Wet bulb temperaturen måste vara lika med eller lägre än

vattendroppens kärnbildningstemperatur för att den ska frysa. Heterogen kärnbildning är när iskristaller bildas vid temperaturer över -40°C , det sker på grund av små partiklar i vattnet som gör det enklare för vattenmolekylerna att övergå i fastform. När molekylerna fäster vid iskristallen frigörs det energi som får temperaturen att sjunka på iskristallen. Tillväxten av iskristallen fortsätter tills alla molekyler har fastnat. Vid snötillverkning är det den kärnbildare som har den högsta kärnbildningstemperaturen som bestämmer vid vilken temperatur vattenmolekylerna övergår i fastform och bildar snö. Det är därför vissa anläggningar tillsätter tillsatser, som består av proteiner och tensider, vilket medför att kärnbildningstemperaturen höjs. När vattendroppen kommer ut ur munstycket på snökanonen börjar den kylas av för att inom en kort eller lång tid nå kärnbildningstemperaturen. Det är därför viktigt att vattendroppen får en lång så kallad lufttid. Det är en av anledningarna till att vatten med högt tryck används. En annan anledning är att det krävs högt tryck för att pumpa vattnet långa sträckor och uppför. Det är också viktigt att vattnet har en låg temperatur vilket minskar tiden innan det uppnår kärnbildningstemperaturen, detta kan ordnas med hjälp av kyltorn. Komprimerad luft behövs för att klyva vattenstrålen i små vattendroppar. Beroende på vilken typ av kanon och vilken snökvalitet som produceras behövs olika stora mängder luft. Luften bör också ha en låg temperatur vilket åstadkoms genom luftkylare efter kompressorerna där lufttemperaturen ökar [11].



Figur 8. Modell av snötillverkning [12]. Nucleatorerna sprutar ut en blandning av vatten och luft. Vattenmunstyckena sprutar enbart ut vatten. Vatten och luft blandningen som kommer från nucleatorerna

underkyls av den expanderande luften och bildar små ispartiklar. Vattnet fryser sedan fast på isen och bildar snö.

I Figur 8. Modell av snötillverkning [12]. visas en modell av snötillverkning där det ur kärnbildaren (nucleatorn) kommer en blandning av luft och vatten och bara vatten ur vattenmunstycket (water nozzle). Som beskrivits tidigare underkyler den expanderande luften vattendropparna och ispartiklar bildas. Vattendropparna från vattenmunstycket fäster på ispartiklarna och ispartiklarna tillväxer.

3.8 Lufttid

Storleken iskristallerna får är beroende på lufttiden vattendroppen utsätts för. Med lufttid menas den tid det tar för en vattendroppe att lämna munstycket, övergå i fastform och färdas till marken. För att beräkna den sträcka som iskristallen färdas, S_d , innan den börjar falla mot marken behövs sträckan SS_d , som är sträckan mellan munstycket och den area där det samlats mest snö, och θ_h som är vinkeln för munstycket över horisontalplanet.

$$S_d = \frac{SS_d}{\cos \theta_h} \quad (1)$$

Hastigheten v och sträckan s bestäms med följande ekvationer.

$$v = \int a dt = at + v_0 \quad (2)$$

$$s = \int v dt = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t \quad (3)$$

Där a är accelerationen för vattendroppen, t är tid och v_0 är hastigheten för en partikel en meter från munstycket. Genom att sätta v till 0 och läsa ekvation 2 fås följande.

$$t = -\frac{v_0}{a} \quad (4)$$

Stoppsträckan S_d blir då.

$$S_d = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t \quad (5)$$

Genom att använda ekvation (4) i ekvation (5) fås accelerationen a .

$$a = -\frac{v_0^2}{2S_d} \quad (6)$$

Ekvation (3) ger ekvation (7) som beräknar tiden vattendroppen befinner sig i plymen efter munstycket.

$$t = \sqrt{\frac{S_d}{\frac{1}{2}a}} \quad (7)$$

$$t = \sqrt{\frac{S_y}{4,9}} \quad (8)$$

$$S_y = \tan\theta_h S S_d \quad (9) \quad [4]$$

På samma sätt kan tiden det tar för vattendroppen eller iskristallen att nå marken beräknas med (8) där a är känd som gravitationen $9,8 \text{ m/s}^2$ och S_y är sträckan partikeln färdas vertikalt.

Alla iskristaller som lämnar plymen är runda till skillnad mot iskristaller som kommer från moln. I plymen tillväxer iskristallerna genom att de krokar med underkylda vattendroppar som fryser fast på ytan. Iskristaller bildas i två steg där vattendroppar lämnar munstycket med hög hastighet och delas i mindre droppar som kyls av. Finns det frusna kärnor bildas det iskristaller, tillväxten fortsätter sedan genom att underkylda vattendroppar fryser fast på ytan. Detta sätt beskriver att ispartiklar fryser från utsidan och in som visas i Figur 8. Modell av snötillverkning [11].

3.9 Kompressorer

För att förse snökanoner med luft används kompressorer som komprimerar luften. De kan antingen vara centralt placerade eller placerade på snökanonerna [9]. Det finns både fördelar och nackdelar med att placera kompressorerna centralt eller direkt på snökanonerna.

- *Nackdelar med centralt placerade kompressorer:* Det krävs stora mängder rör som transporterar luften ut till snökanonerna, tryckförluster i rör, snökanonerna blir bundna till ledningsnätet, risk för läckage.
- *Fördelar med centralt placerade kompressorer:* Färre antal kompressorer att underhålla, bättre verkningsgrad vid stor effekt, inte nödvändigt med el till vissa snökanoner, lägre ljudnivå i nedfarterna, lättare åtkomst vid driftsfel.

Vid projektering och nybyggnation av ett helt nytt system får man väga nackdelarna mot fördelarna och avgöra vilket som blir bäst ur snöproduktions och ekonomisk synvinkel.

Det är vanligast med centrifugalkompressorer eller skruvkompressorer för centralt placerade kompressorer [11]. Skruvkompressorer är vanligast i mindre och äldre system medans centrifugalkompressorer används i nya och stora system [17].

- *Fördelarna med skruvkompressorer* är att de är billiga i inköp, enkla att underhålla och köra, hög tillförlitlighet och att de finns i små storlekar.
- *Nackdelar med skruvkompressorer* är dess låga kapacitet, effektförluster när de placeras på hög höjd och att små mängder med olja följer med luften och släpps ut i nedfarterna [18].
- *Fördelar med centrifugalkompressorer* är att det är hög kapacitet per kompressor, bättre energieffektivitet jämförd med skruvkompressorer och att det inte sker några oljeutsläpp.
- *Nackdelar* är att de inte finns i små storlekar, underhåll och reparationer är avancerade och att de är dyrare per flödesenhet jämfört med skruvkompressorer [19].

Kompressorerna som är placerade på snökanonerna är kolvkompressorer som inte kräver någon olja för smörjning [27].

3.10 Pumpar

Pumpsystemet som behövs för att förse snökanonerna med vatten består oftast av en lågtrycksdel och en högtrycksdel. Lågtrycksdelen tar vatten från källan som oftast är en sjö, en älv eller en konstgjord vattenreservoar. Lågtrycksdelen filtrerar och mäter mängden vatten. Beroende på hur nedsmutsat vattnet är med lera, sand och liknande filtreras vattnet olika mycket. Beroende på var ifrån och hur långt vattnet ska pumpas

behövs olika pumpar och filter. Ska vattnet pumpas uppåt det vill säga dess potentiella energi ska öka eller en lång sträcka krävs en kraftigare pump än om det bara ska transporteras en kortare sträcka i horisontell riktning. Högtrycksdelen är den del som höjer vattentrycket till önskad nivå och pumpar fram det till snökanonerna. Det är bra att parallellkoppla pumparna för att på så sätt maximera tiden de arbetar med hög verkningsgrad. Parallellkoppling av pumparna rekommenderas bara när flödet är mer än 40 l/s. En nackdel med pumpning av vatten är att vattnets temperatur ökar vilket medför att det blir svårare för vattnet att övergå till fast form och bilda snö. Detta kan motverkas med parallellkopplade pumpar. Driftssäkerheten ökar också med parallellkopplade pumpar, om en pump går sönder kan de andra fortsätta att transportera vattnet. När temperaturen och luftfuktigheten är på gränsen till att det ska gå att tillverka snö krävs det mycket tryckluft och lite vatten. Detta medför att pumparna får gå med reducerat flöde vilket medför att verkningsgraden blir låg och att vattnets temperatur kan öka med flera grader vilket gör det ännu svårare att tillverka snö. För att bestämma vilken typ av pumpar som behövs och det nödvändiga flödet måste först en uppskattning på mängden snö som krävs. Grovt sett kan man säga att det behövs mellan 30 och 40 cm snö i en backe för att det ska vara åkbart och risken för att komma i kontakt med marken ska vara liten. Backens area måste också vara känd. Förhållandet mellan vattnet (1000 kg/m^3) och snöns densitet ($400\text{-}500 \text{ kg/m}^3$) ligger mellan 2,0 och 2,5. Detta medför att vet vi mängden snö som krävs kan vi få fram mängden vatten som går åt. När vi sedan vet vattenmängden ska vi ta reda på hur lång tid det ska ta att producera önskad mängd snö. Det går då att beräkna vattenflödet i m^3/timme och med hjälp av höjden vattnet ska pumpas, friktionsförluster och trycket som krävs vid snökanonerna bestämma typ av pump, flöde och tryck. Genom att använda frekvensstyrda motorer till pumpar kan stora energibesparingar göras. Det går också att minska temperaturökningen som sker i pumpen [14]. För att minska flödet i en pump kan man strypa flödet, använda en by-pass koppling eller frekvensstyra pumpen. Genom att frekvensstyra kan varvtalet sänkas på pumpen till skillnad mot en strypning eller by-pass koppling där varvtalet hålls konstant. Sänkningen av varvtalet medför att effekten minskar.

Genom att parallellkoppla flera pumpar ökar man flödet medans pumphöjden hålls konstant. Seriekopplas flera pumpar ökas pumphöjden och flödet hålls konstant.

Genom att kombinera parallell och seriekoppling av pumpar kan man få de önskade egenskaper man vill uppnå med pumparna.

3.11 Transportförluster

Vid strömning i rörledningar sker förluster. När vätskan färdas från en punkt till en annan uppstår förluster på grund av vertikal höjdskillnad, statisk tryckförlust, ändring av hastighet och friktionsförluster mot rörets yta. Bernoullis ekvation uttryckt i höjdförlust ger Ekvation 1. Där z_{in} och z_{out} avser in och utlopp i röret, p är det statiska trycket, γ är densiteten för vätskan multiplicerat med gravitationen, g är gravitationen, z är höjden jämfört med en referenshöjd, V är vätskans hastighet, h_s är tillfört arbete och h_L är förluster uttryckt i höjd mellan in och utlopp [15].

Ekvation 1

$$\frac{p_{out}}{\gamma} + \frac{V_{out}^2}{2g} + z_{out} = \frac{p_{in}}{\gamma} + \frac{V_{in}^2}{2g} + z_{in} + h_s - h_L$$

De totala rörförlusterna är

$$h_L = h_{L,major} + h_{L,minor}$$

De huvudsakliga höjdförlusterna $h_{L,major}$ är de förluster som uppstår på grund av friktion i raka rör. $h_{L,minor}$ är de höjdförluster som uppstår på grund av böjar, ventiler och liknande [15].

3.12 Kylare

För att sänka temperaturen på vattnet och luften efter pumpar och kompressorer används kyltorn. Vattentemperaturen ska vara så låg som möjligt utan att det fryser.

För varje grad Fahrenheit vattentemperaturen är över 32°F sjunker snötillverknings effektiviteten med 2 % [16]. Enligt personal på Snowtech ska temperaturen ligga i närheten av 1°C för då minskar risken för att problem med frysning uppstår [27].

3.13 Tillsatser

Genom att tillsätta en bakterie, *Pseudomonas Syringae*, till vattnet går det att producera snö vid en högre wet bulb temperatur. Detta medför att det går att producera mera snö vid en temperatur närmare 0°C än om tillsatser inte använts [28].

Bakterien innehåller proteiner som har liknande struktur som iskristallen och hjälper på sätt till att omvandla vattnet från flytande till fast form. Den vanligaste tillsatsen går under namnet Snomax och består av steriliserad *P. Syringae*. Snomax tillverkas av Johnson Controls från USA. Andra bakterier som används i tillsatser är *Erwinia herbicola* och *Xanthomonas campestris* [28].

Hälften av skidorterna i Nordamerika använde under 1990-talet tillsatser i snötillverkningen. Vid Olympiska spelen i Lillehammer 1994 producerades all konstgjord snö med Snomax. Användandet av tillsatser i alperna varierar beroende på land och del av land. I till exempel Schweiz är det tillåtet i vissa kantonen men inte i andra, i Frankrike är det fritt fram att använda tillsatser men i Italien och Tyskland är det förbjudet [28].

Naturens ekosystem kan påverkas av tillsatser i vattnet som används för snötillverkning. Växter kan utsättas för skada eller negativ påverkan om det finns levande bakterier kvar efter sterilisation eller om det finns gifter från döda bakterier. Det har gjorts undersökning som visat att vissa växter har skadats av levande *P. Syringae*, även råttor ska uppvisat symptom. Växter kan också skadas på grund av att det bildas is vid en högre temperatur vilket kan skada växtvävnaden. Det är okänt vilken övrig påverkan *P. Syringae* kan ha på fjällmiljön i ett långt perspektiv [28].

Det är fortfarande oklart i vilken utsträckning tillsatser som Snomax påverkar miljön och mer forskning borde göras i ämnet [28].

3.14 Vattenförbrukning

Det går åt stora mängder vatten vid tillverkning av snö. Detta kan medföra problem såsom att dricksvattnet tar slut och att djur och växtliv påverkas i vattendrag. För att tillverka ett 15 cm tjockt snölager som täcker en yta som är 61 gånger 61 meter, det vill säga 3721 m², krävs det ungefär 284 kubikmeter vatten [9]. Ett sätt att komma ifrån detta problem är att bygga reservoarer eller källor där stora mängder vatten kan samlas när det inte tillverkas snö. Vatten kan sedan tas därifrån när det är säsong för snötillverkning för att på så sätt inte påverka naturliga vattenflöden. En reservoar kan också placeras ovanför där snön tillverkas och därmed minska energiåtgången för att trycksätta vattnet [9].

3.15 Energieffektiviseringar/Energioptimering

Faktorer som påverkar energiförbrukningen, vattenförbrukning och snökvaliteten vid snötillverkning är: lufttid, omgivningstemperatur, wet bulb temperatur, luftfuktighet, vind, vatten/luft förhållande och typ av kanon. Om lufttiden vattendropparna utsätts för är lång hinner fler omvandlas till snökristaller och snökvaliteten blir torrare. Det är också möjligt att använda större vattendroppar eller ett högre vatten/luft förhållande. Detta medför i sin tur att det går åt mindre mängd trycksatt luft och att energiförbrukningen blir lägre. Omgivningstemperaturen bör vara under 0°C vid tillverkning av snö. Det går att tillverka snö vid temperaturer över 0°C men då måste luftfuktigheten vara låg.

För att tillverka en kvadratmeter med snö som har en tjocklek på 30 cm (0,3 kubikmeter) går det åt mellan 0,25 kWh och 2,8 kWh beroende på systemets storlek och hur det är uppbyggt. Ett stort system kan förbruka 500 MWh på en säsong. [14]

Den största delen av energiförbrukningen vid snötillverkning går åt till att komprimera luften. Det går att göra stora energibesparingar genom att ha ett väl fungerande system med kompressorer som under större delen av driftstiden körs med hög verkningsgrad [9].

Tabell 3. TechnoAlpins snökanoner [27].

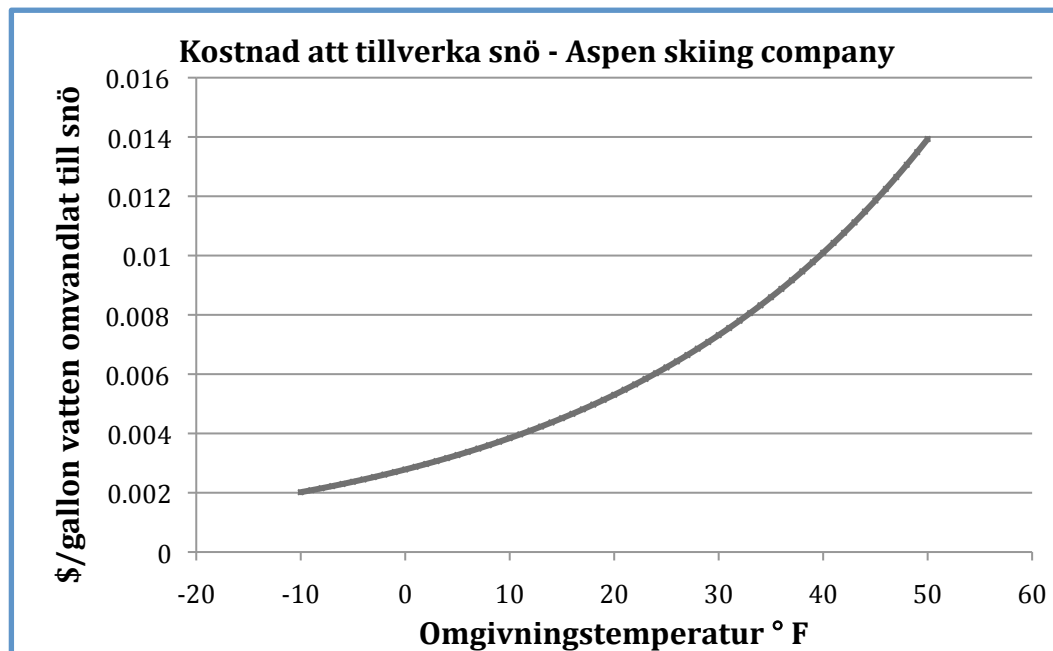
Tillverkare	TechnoAlpin	TechnoAlpin	TechnoAlpin	TechnoAlpin	TechnoAlpin
Modell	T60	M18	M12	A30	A9
Typ	Fläktkanon	Fläktkanon	Fläktkanon	Luft-vatten	Luft-vatten
Effekt (kW)	18,5	12,5	9	Ingen uppgift	9
Vattentryck	8	8	8	12	12

min (bar)					
Ungefärligt pris (€)	45000	41000	36000	10000	9000

3.16 Vikten av rätt temperatur vid snötillverkning

Med driftsdata från 1999 har Hal Hartman på Aspen Skiing Company tagit fram en exponentialfunktion som beskriver kostnaderna att tillverka snö beroende på medelvärde av omgivningstemperaturen.

$C = 0,0027845e^{0,0322 \cdot T}$ Vilket ger kostnaden i \$ per gallon vatten som omvandlats till snö [11].



Figur 9. Kostnad att tillverka snö beroende på omgivningstemperatur [11].

Omgivningstemperaturen är baserad på 24 timmars medelvärde. Faktorer som tagits med för att ta fram funktionen är förluster av vatten genom förångning i närheten av snökanonens utlopp, smältning av snö i gränsskiktet mellan snö och luft, vattenavrinning från den tillverkade snön och kostnad för energi, vatten och arbetskraft [11].

Den omgivande våttemperaturen bestämmer enligt snötillverkningsindustrin när det är möjligt att tillverka snö. Enligt industrin går det att tillverka snö när den omgivande

våttemperaturen är lägre än $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det är alltså möjligt att tillverka snö när den omgivande lufttemperaturen är över $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det blir dock stora mängder energi som går att tillverka relativt små mängder snö. En stor del av snön smälter också på grund av att vattendropparna endast utsätts en kort stund med temperaturer under 0°C . När vattendropparna kommer ut ur munstycket underkyls de och snökristaller bildas. När snökristallerna sedan landat på marken utsätts de för markens och luftens temperatur och är den över 0°C smälter de [11]. Slutsats man kan dra av det resonemanget är att man inte ska tillverka snö vid omgivningstemperaturer över 0°C .

4 Idre Fjäll

4.1 Bakgrund

Idre Fjäll är den näst största skidanläggningen i Sverige om man tittar på varje enskilt bolag. Skistar som driver skidanläggningarna Åre, Lindvallen, Tandådalen-Hundfjället och Vemdalen är överlägset störst med 53,5 % av marknaden och en omsättning på 534,1 miljoner kronor säsongen 2007-2008. Idre Fjäll har en marknadsandel på 6,3 % och omsatte 62,7 miljoner kronor säsongen 2007-2008. Mätt i antalet skiddagar placeras Idre Fjäll på femte plats med totalt 468000 skiddagar, Åre hade flest med sammanlagt 1055000 skiddagar [21].

Idre Fjäll har totalt 32 liftar och 41 nedfarter som ger en total pistlängd på 28 km och en åkyta på 1 750 000 m². Snötillverkningssystemet kan producera 24000 m³ snö per dygn vilket motsvarar 4700 lastbilslaster per dygn med snö [22]. Detta innebär att om det vore möjligt att producera snö konstant skulle det ta ungefär 36 dygn att lägga ett lager med 0,5 meter snö i alla backar.

4.1.1 Snögaranti

Idre Fjäll har snögaranti som innebär att mellan vecka 52 och 16 ska det vara minst 10 nedfarter öppna och 2,5 km med längdskidspår preparerade. Om detta inte uppfylls kan kunden avboka sin bokning och få pengarna tillbaka [23].

4.1.2 Miljöpolicy

Idre Fjäll har en miljöpolicy som går ut på att minska påverkan på miljön. Där klimatpåverkan, förbrukning av naturresurser och påverkan på mark är särskilt viktiga [24].

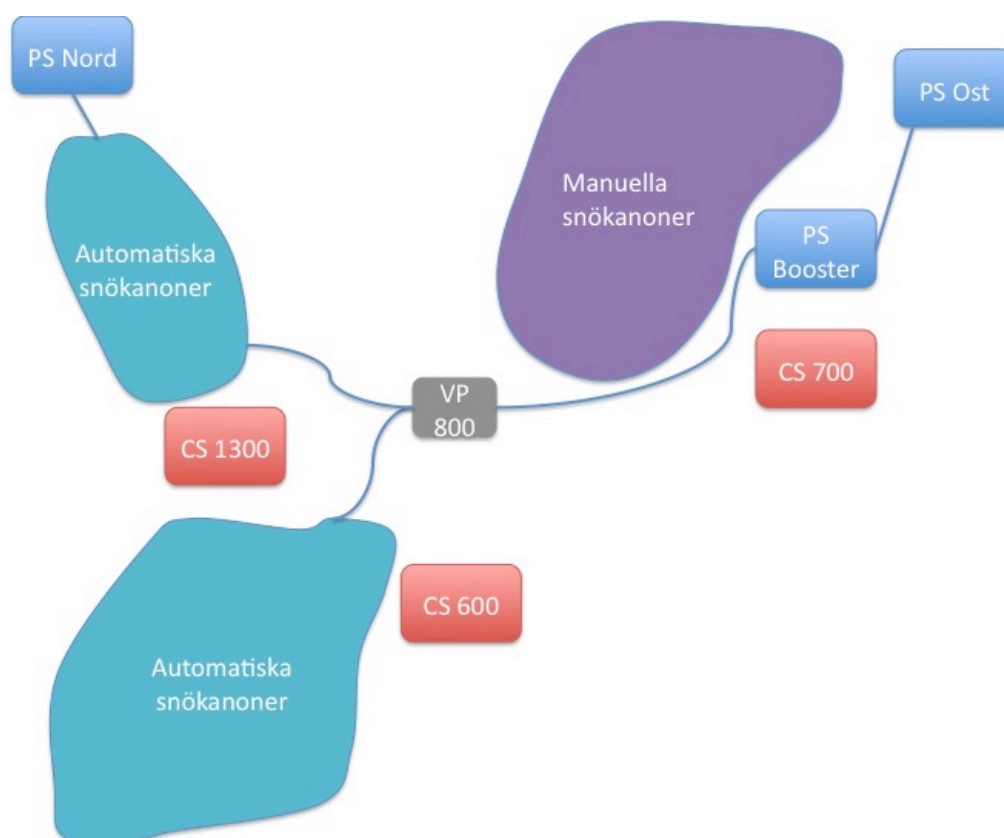
4.1.3 Idre Fjälls elanvändning

Idre Fjäll köper in ungefär 15 GWh miljömärkt el varje år. Elen används till uppvärmning av varmvatten, uppvärmning av byggnader, liftar, snötillverkning och övrigt där bland annat verksamhetsel och utomhusbelysning ingår. 20 % av elen används till snötillverkningen, det vill säga 3 GWh [25]. Av de 3 GWh används 73 % till kompressorerna, 25 % till vattenpumparna och 2 % till snökanonerna.

4.2 Snötillverkningssystem

Idre Fjäll har en del med automatiska snökanoner och en del med äldre manuella kanoner. De automatiska kanonerna är tillverkade av TechnoAlpin från Italien. De

äldre manuella kanonerna kommer från amerikanska Ratnik. Den automatiska delen har snökanoner som körs automatiskt och ställer in sig själva efter rådande väderförhållanden. De manuella kanonerna måste startas och ställas in manuellt. De automatiska snökanonerna, vattenpumparna och luftkompressorerna är sammankopplade till en dator med programvaran Atass som gör det möjligt att styra och ställa in hela systemet eller enskilda delar.



Figur 10. Förenkling av Idre Fjälls masterplan för snöstillverkning

Figur 10. Förenkling av Idre Fjälls masterplan för snöstillverkning visar en schematisk bild över Idre Fjälls snöstillverkningssystem. Masterplanen är en ritning framtagen med hjälp av dator som visar pumpar, kompressorer, snökanoner, rör och kopplingsstationer över fjället.

4.2.1 Vatten

Vattnet till snöstillverkningen tas från två platser en i norr och en i öst, se Figur 10. Förenkling av Idre Fjälls masterplan för snöstillverkning Vattnet tas från en och samma bäck som är ungefär 1,5 meter bred och ungefär 0,5 meter djup. Pumphuset i Norr har två stycken pumpar på vardera 110 kW som är parallellt kopplade. I pumphuset i Ost finns det 5 stycken pumpar på vardera 75 kW som också är

parallellkopplade. Anledningen till att pumparna är parallellkopplade är för att få ett högt flöde och för att säkerställa driftsäkerheten. Om en pump går sönder kör de andra, men flödet blir reducerat. Pumphuset i Norr är beläget relativt nära snökanonerna se Figur 10. Förenkling av Idre Fjälls masterplan för snötillverkning Pumphuset i Ost är beläget längre bort från nedfarterna och snökanonerna vilket medför att vattnet behöver tryckhöjas ytterligare i ett pumphus (PS 200 Booster i master planen). Efter pumphusen leds vattnet i rör ut till snökanonerna.

Pumparna är parallellkopplade och körs för fullt. Flödet och trycket ut i systemet regleras med en Auma-ventil. Det vill säga systemet stryps när det inte behövs fullt flöde och tryck. Kyltorn används inte i Idre Fjäll, anledningen till det är att vattentemperaturen ändå är tillräckligt låg enligt driftspersonalen.

Trycket i vattenrören varierar beroende på plats i systemet. Snökanonerna har ventiler som öppnas vid start. Vissa öppnas för fullt och andra kan reglera flödet in. Antalet munstycken som är öppna för att producera snö avgör det totala vattenflödet ut ur kanonen.

4.2.2 Luft

Totalt finns det tre hus med kompressorer som komprimerar och förser systemet med luft. Det är skruvkompressorer som används och beroende på modell trycksätts systemet med 6-7,5 bars tryck. Alla kompressorer är försedda med avfuktare och oljefilter. Totalt finns det 10 stycken kompressorer. 3 stycken i kompressorhus ost CS700, 4 stycken i kompressorhus nord CS1300 och 3 stycken i kompressorhus väst CS600. Det är dock bara kompressorerna i kompressorhus nord som är inkopplade till datorn med Atass vilket medför att det inte finns någon driftsdata från kompressorhus ost och väst.

Kompressorerna i kompressorhus nord är kopplade och programmerade för att få en så jämn driftstid som möjligt. Den kompressor som har gått minst antal timmar startar först och därefter den som gått näst minst och så vidare. På kompressorerna sitter det mätare som visar hur många timmar kompressorerna körts och antalet timmar kompressorerna gått med full effekt. I kompressorhus Nord CS1300 har större delen av driftstiden gått med full effekt. När trycket sjunker under en viss nivå startar kompressorerna.

4.2.3 Automatisktssystem

De automatiska snökanonerna, pumparna och kompressorerna är kopplade till en dator med programvaran Atass. Med programvaran går det att styra hela systemet eller enskilda delar såsom pumpar, kompressorer och snökanoner. Det går bland annat att ställa in vid vilken wet bulb temperatur systemet eller enskilda snökanoner ska starta eller stoppa vid och även att stänga ner snökanoner vid vissa vindriktningar och vindstyrkor. Totalt finns det 15 stycken väderstationer utplacerade på området som kontinuerligt förser programvaran med information om temperatur och luftfuktighet, 6 stycken av dessa mäter också vindriktning och vindstyrka. När wet bulb temperaturen $-2,5^{\circ}\text{C}$ infinner sig startar snökanonerna att producera snö om systemet är inställt på automatisk körning. Temperaturen kan variera i området och det medför att det inte alltid produceras snö överallt. Det är möjligt att ställa in så systemet att vissa snökanoner ska stängas av vid särskilda vindriktningar och vindstyrkor. I programvaran går det att ställa in vilka tider snökanonerna ska starta när de rätta väderförhållandena råder. Detta underlättar avsevärt och kräver ingen personal under till exempel nattetid för att producera snö.

4.2.4 Snökanoner

Trycket i vattenrören varierar beroende på hur långt snökanonerna befinner sig från pumparna, se avsnittet om transportförluster. Snökanonerna har ventiler som styr flödet och trycket de ska köras med. Arbetstrycket för de flesta kanoner är inställt på 20 bars tryck även om trycket i vattenledningarna är högre. Genom att ha ett högt tryck går det att trycka igenom mer vatten genom munstyckena och på så sätt producera mycket snö vid låga temperaturer. För att snökanerna ska fungera krävs ett visst minimitryck som varierar beroende på modell av kanon. Idre Fjäll har totalt 92 automatiska snökanoner och ett 20 tal gamla manuella kanoner. De manuella kanonerna är så kallade högtryckskanoner som använder en mycket större del luft än vad dagens kanoner gör. De har också ett mycket vasst och fräsande ljud till skillnad mot dagens modernare snökanoner som inte har ett lika obehagligt ljud.

Beroende på väder och driftsfaktorer är ett olika antal gamla manuella kanoner inkopplade. Det är främst luftflödet från kompressorerna som begränsar antalet. De äldre manuella kanonerna förbrukar mycket mer luft än nyare kanoner. Är temperaturen låg krävs det inte lika mycket tryckluft vilket gör det möjligt att köra fler kanoner.

I Tabell 4. visas en sammanfattning av pumphusen, kompressorhusen och snökanonerna. Det är bara kompressorhus Nord CS 1300 av de tre kompressorhusen som är inkopplat till datorn med Atass vilket gör det möjligt att få ut driftsdata.

Tabell 4. Sammanställning av snöstillverkningsutrustning.

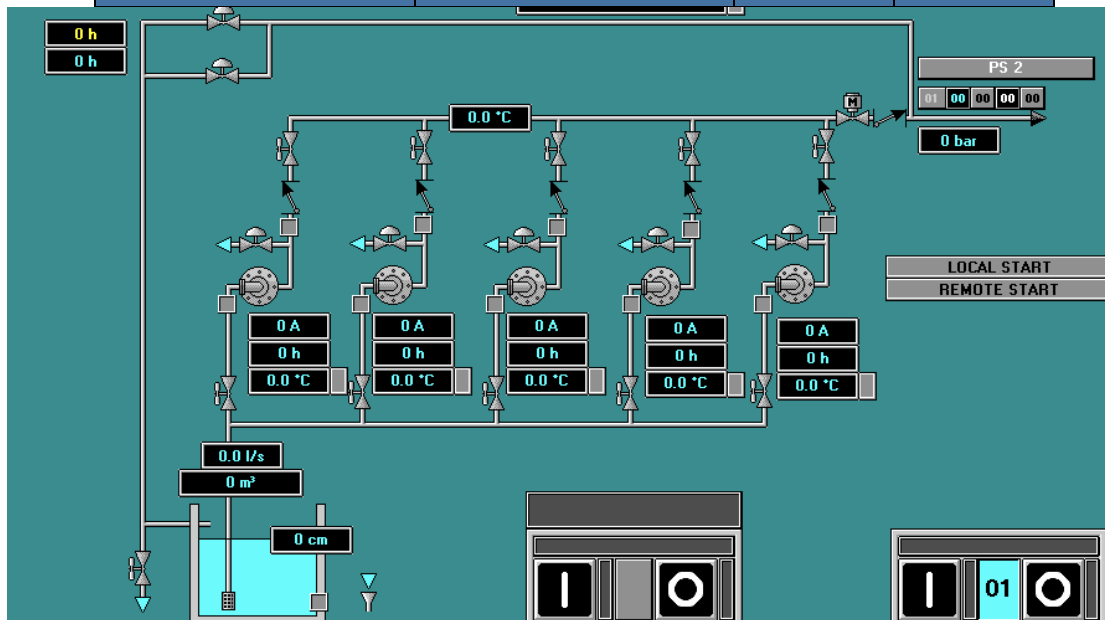
Idre Fjäll			
Pumphus	Pumpar (antal)	Effekt (kW)	Total effekt (kW)
<i>PS 100 Ost</i>	5	75	375
PS 500 Nord	2	110	220
PS 200 Booster	3	75	225
Totalt	10		820
Kompressorhus			
Kompressorhus	Kompressorer (antal)	Effekt (kW)	Total effekt (kW)
CS 600 Väst	3	132	396
CS 700 Ost	3	110	330
CS 1300 Nord	4	132	528
Totalt	10		1254
Snökanon (modell)			
Snökanon (modell)	Antal	Typ	
A30	23	Luft vatten	
A9	50	Luft vatten	
A6	4	Luft vatten	
M18	7	Fläkt	
M15	6	Fläkt	
M12	2	Fläkt	
Totalt	92		
Gamla högtryckskanoner	20	Luft vatten	

I

Tabell 5. och Figur 11. Pumphus PS100 Ost Idre Fjäll. visas pumparna i pumphus PS 100 Ost, dess effekt, flöde, pumphöjd samt hur de är kopplade.

Tabell 5. Pumphus PS 100 Ost.

Pumphus PS 100 Ost			
Pump	Effekt (kW)	Flöde (l/s)	Höjd (m)
P101	75	20	250
P102	75	20	250
P103	75	20	250
P104	75	20	250
P105	75	20	250
Totalt	375	100	250

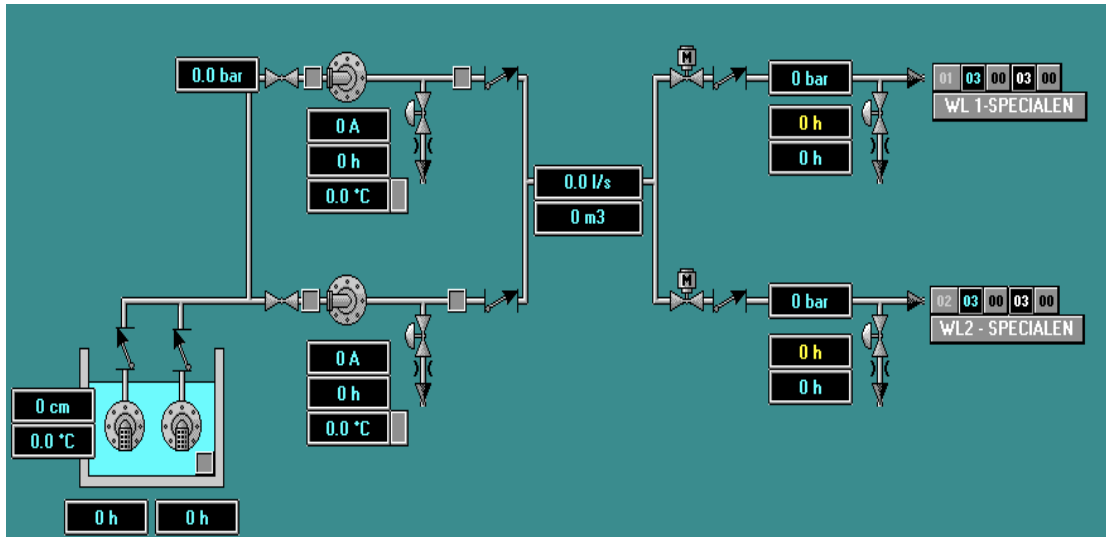


Figur 11. Pumphus PS100 Ost Idre Fjäll.

I Tabell 6. och Figur 12. Pumphus PS 500 Nord Idre Fjäll. visar pumparna i pumphus PS 500 Nord, effekt, flöde, pumphöjd samt hur de är kopplade.

Tabell 6. Pumphus PS 500 Nord.

Pumphus PS 500 Nord			
Pump	Effekt (kW)	Flöde (l/s)	Höjd (m)
P501	110	24	326
P502	110	16	365
Totalt	220	40	345,5

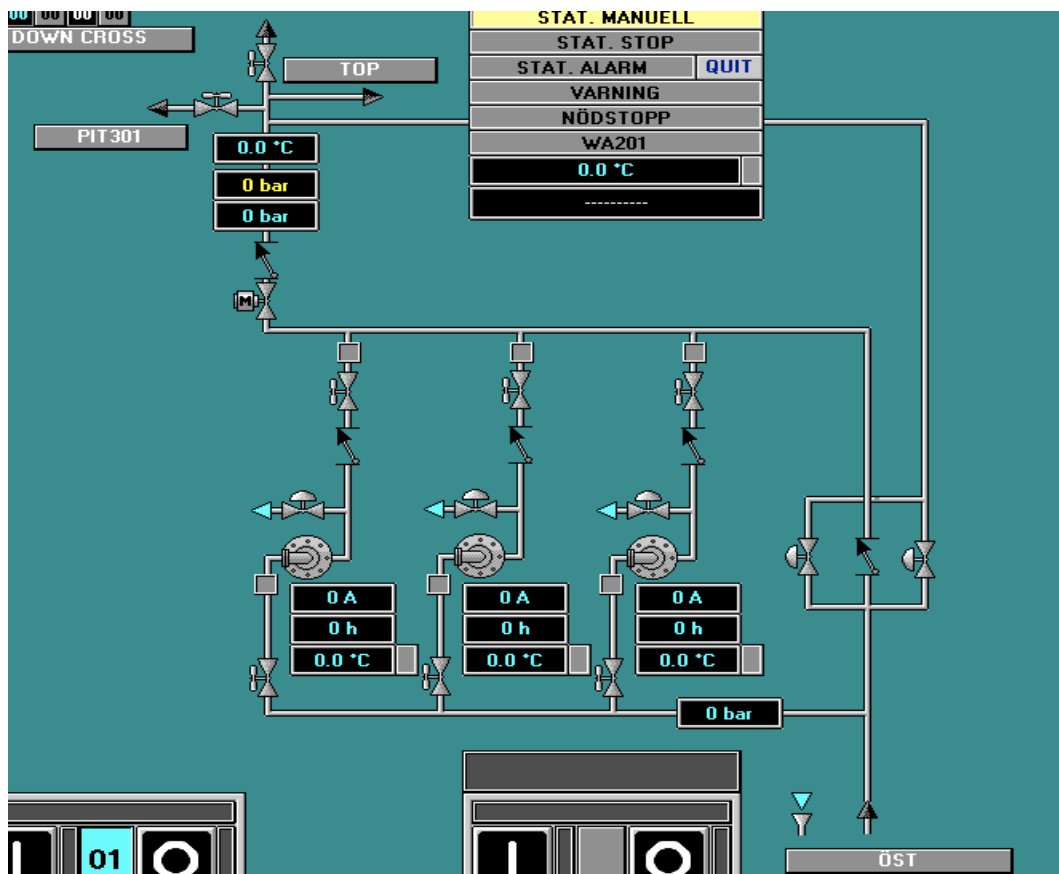


Figur 12. Pumphus PS 500 Nord Idre Fjäll.

I Tabell 7. Pumphus PS 200 Booster Idre Fjäll. och Figur 13. Pumphus PS 200 Booster Idre Fjäll. visas pumparna i pumphus PS 200 Booster, effekt, flöde, pumphöjd samt hur de är kopplade.

Tabell 7. Pumphus PS 200 Booster Idre Fjäll.

Pumphus PS 200 Booster				
Pump	Effekt (kW)	Flöde (l/s)	Höjd (m)	
P201	75	15	282	
P202	75	15	282	
P203	75	15	282	
Totalt	225	45	282	

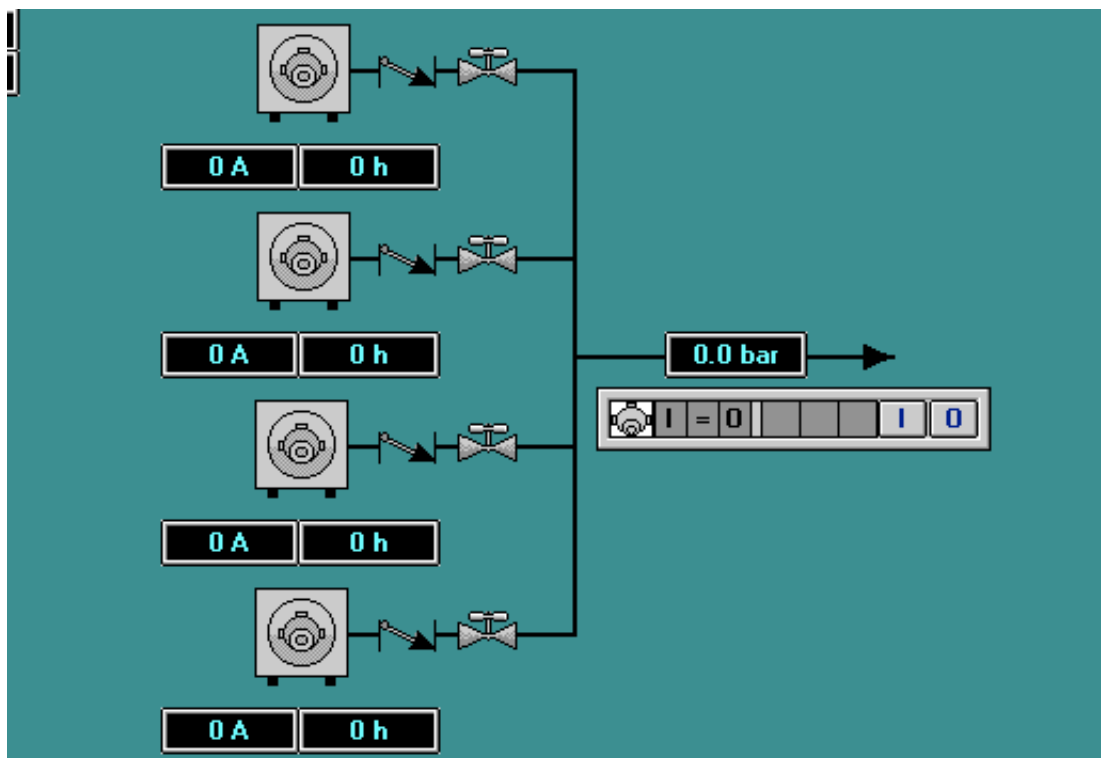


Figur 13. Pumphus PS 200 Booster Idre Fjäll.

I Tabell 8. Kompressorhus CS 1300 Idre Fjäll. och Figur 14. Kompressorhus CS1300 Idre Fjäll. visas kompressorerna i kompressorhus CS1300 Nord, effekt, flöde, tryck samt hur de är kopplade.

Tabell 8. Kompressorhus CS 1300 Idre Fjäll.

Kompressorhus CS 1300			
Kompressor	Effekt (kW)	Flöde (l/s)	Tryck (bar)
C1301	132	24,2	7
C1302	132	24,2	7
C1303	132	24,2	7
C1304	132	24,2	7
Totalt	528	96,8	7



Figur 14. Kompressorhus CS1300 Idre Fjäll.

4.3 Analys av driftsdata

Genom att analysera driftsdatan från Atass programvaran har följande resultat framkommit.

4.3.1 Producerad mängd snö och vattenåtgång

Tabell 9. visar sammanfattning av Idre Fjälls snötillverkning under tidsperioderna 071001 – 080531, 071001 – 080108 och 081001 – 090108. Anledningen till att dessa tidsperioder visas är att snötillverkning brukar starta den 10 oktober, det garanterat inte läggs någon snö i maj och att jag bara har driftsdata tillgänglig fram till 8 januari 2009. Som tidigare nämnts består snötillverkningssystemet av en automatisk och en manuell del. Från den automatiska delen går det att få ut detaljerad driftsdata på bland annat tillverkad mängd snö, vattenförbrukning och energiförbrukning för snökanonerna. För de manuella kanonerna är det endast möjligt att se hur mycket vatten som använts. Detta beräknas på följande vis (vattenmängd manuella kanoner)=(total vattenmängd)-(vattenmängd automatiska kanoner). Detta medför att det endast är möjligt att få ut mängden snö som är producerad med de automatiska kanonerna.

Tabell 9. Producerad mängd snö och vattenmängd.

Tidsperiod	071001 - 080531	071001 - 080108	081001 - 090108
Producerad mängd snö automatiska kanoner (m ³)	240530	234074	256038
Vattenmängd pumphus Nord (m ³)	19009	18499	20452
Vattenmängd pumphus Öst (m ³)	208137	164555	193338
Vattenmängd Booster (m ³)	208137	164555	193338
Total vattenmängd Nord+Öst+Booster (m ³)	435282	347608	407128
Total vattenmängd pumphus Nord+öst (m ³)	227145	183054	213790
Vattenmängd automatiska kanoner (m ³)	92512	90029	98476
Vattenmängd manuella kanoner (m ³)	134634	93025	115314
Andel vatten manuella kanoner	0.59	0.51	0.54
Andel vatten automatiska kanoner	0.41	0.49	0.46

Det är intressant att notera att det under perioden 081001 – 090108 producerats mer snö med de automatiska kanonerna än under perioden 071001 – 080531 som är några månader längre. Anledningen till detta kan vara att medeltemperaturen varit lägre eller att de automatiska kanonerna varit i drift mer än de manuella under respektive tidsperiod. Den totala vattenmängden är antingen vattenmängden från pumphus Nord, Öst och Booster eller bara från pumphus Nord och Öst. I pumphus Booster tryckhöjs bara vattnet från pumphus Öst. Tittar man på den totala pumpade vattenmängden (Nord, Öst, Booster) pumpas bara ungefär 5 % av vattnet i pumphus Nord. Räknas inte pumphus Booster med pumpas ungefär 10 % av vattnet i pumphus nord.

Andel vatten manuella kanoner har beräknats genom att ta mängden vatten som går till de manuella kanonerna och delat på den totala mängden vatten. På samma sätt har andelen för de automatiska snökanonerna beräknats. Det är intressant att mer än 50 % av den totala vattenmängden används i de gamla manuella högtryckskanonerna under samtliga tre tidsperioder som visas ovan. Detta medför att det finns stora besparingar att göra genom att byta ut de gamla manuella högtryckskanonerna mot nya snökanoner som förbrukar mindre vatten, luft och energi.

Jämför man hela snötillverkningssäsongen tidsperiod 071001 – 080531 med tidsperiod 081001 – 090108 syns det att mer snö har producerats under 081001 - 090108 jämfört med 071001 - 080531. Detta är anmärkningsvärt på grund av att 081001 - 090108 är en kortare period än 071001 - 080531. Den totala vattenförbrukningen har också varit lägre för 081001- 090108 jämfört med 071001 – 080531 även fast en större mängd snö producerats. Anledningen till det är att de automatiska kanonerna har körts mer 081001- 090108 jämfört med 071001 – 080531. De automatiska kanonerna kräver mindre mängd vatten jämfört med de manuella för att producera samma mängd snö. Medel wet bulb temperaturen har i drift varit 0,1°C lägre 081001- 090108 jämfört med 071001 – 080531 vilket också påverkar mängden snö som producerats.

Större delen av snön produceras tidigt på säsongen i månaderna oktober, november och december. Det är endast en liten del som produceras i januari, februari, mars och april. Detta syns tydligt om man jämför producerad mängd snö och även vattenförbrukningen för de tre tidsperioderna. I bilaga 1 finns driftsdata för de enskilda månaderna.

4.3.2 Energiförbrukning

Tabell 10. Energiförbrukning pumphus, kompressorhus och snökanoner. Den energi snökanonerna förbrukar går åt till fläktar, kompressorer och värmning av snökanonerna för att vattnet inte ska frysa.

För att beräkna energiförbrukningen har medeleffekten från pumpar och kompressorer tagits från driftsdata och multiplicerats med drifttiden som också finns i driftsdata.

Tabell 10. Energiförbrukning pumphus, kompressorhus och snökanoner.

Tidsperiod	071001 - 080531	071001 - 080108	081001 - 090108
Energiförbrukning pumphus Nord (kWh)	190889	174293	168479
Energiförbrukning pumphus Öst (kWh)	284565	223993	254814
Energiförbrukning pumphus Booster (kWh)	282274	214486	246608
Total energiförbrukning pumphus Nord+Öst+Booster (kWh)	757728	612772	669902
Total energiförbrukning pumphus Nord+Öst (kWh)	475454	398286	423293
Energiförbrukning kompressorhus Nord CS1300 4 kompressorer (kWh)	497670	420301	357770
Energiförbrukning snökanoner värme, fläktar, kompressorer (kWh)	70346	65790	80289
Total energiförbrukning (kWh)	1325743	1098863	1107960

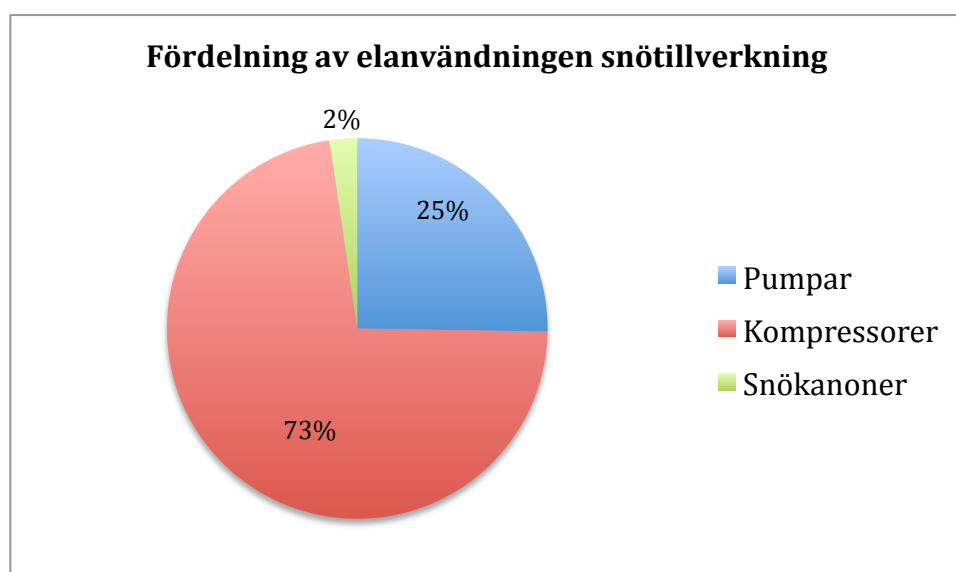
Energiförbrukning för endast fyra av de totalt tio stycken kompressorerna är lägre än den totala energiförbrukningen för alla pumphus tillsammans. Det vill säga om det hade varit möjligt att medräkna de övriga sex kompressorerna skulle energiförbrukningen bli större än för pumphusen tillsammans. Anledningen till denna stora energiförbrukning är på grund av de äldre högtryckskanoner som används och som kräver en avsevärd mycket större mängd luft än moderna snökanoner. Kompressorerna i kompressorhus öst är äldst och har totalt gått ungefär 20000 timmar enligt driftspersonal. Pumphus Nord förbrukar mycket energi med tanke på att det endast där finns en total installerad effekt på 220 kW och två pumpar mot pumphus Ost där den installerade effekten är 375 kW och fem pumpar.

Den totala energianvändningen för snötillverkningen är 3 GWh, se tidigare del om Idre Fjäll. För tidsperioden 071001 – 080531 används 1,3 GWh och då är pumphusen, fyra av tio kompressorer och snökanonernas energiförbrukning medräknad. Det vill säga de övriga sex kompressorerna förbrukar 1,7 GWh!

Delar man upp elanvändningen på pumpar, kompressorer och snökanoner fås fördelningen som syns i Figur 15. Eftersom en så stor del av elen förbrukas av kompressorerna borde det göras närmare undersökningar på vad som kan minska elförbrukningen.

Ett sätt kan vara att byta ut de gamla manuella högtryckskanonerna mot nya kanoner som förbrukar mindre luft. Ett annat kan vara att byta ut de gamla kompressorerna mot nyare mer energieffektiva.

En annan anledning till den höga förbrukningen av luft kan vara att det finns läckor på luftrören.



Figur 15. Fördelning av elanvändning snötillverkning.

4.3.3 Kostnad

Tabell 11. Driftskostnad pumpar, kompressorer och snökanoner.

Tidsperiod	071001 - 080531	071001 - 080108	081001 - 090108
Elpris (kr/kWh)	0,765	0,75	0,78
Kostnad pumphus Nord (kr)	146030	130720	131414
Kostnad pumphus Öst (kr)	217692	167995	198755
Kostnad Booster (kr)	215940	160865	192355
Total kostnad pumphus Nord+Öst+Booster (kr)	579662	459579	522523
(Driftskostnad pumpar Nord+Öst+Booster)*(andel vatten automatiska kanoner)	236084	226028	240685
Total kostnad pumphus Nord+Öst (kr)	363722	298715	330169
Kostnad kompressorhus Nord CS1300 (kr)	380718	321530	279060
Kostnad snökanoner värme, fläktar, kompressorer (kr)	53814	50329	62625

I Tabell 11. Driftskostnad pumpar, kompressorer och snökanoner. har kostnaden för driftskostnaden för pumphus, kompresshus och snökanonerna räknats fram med aktuellt elpris för perioden.

4.3.4 Elpris

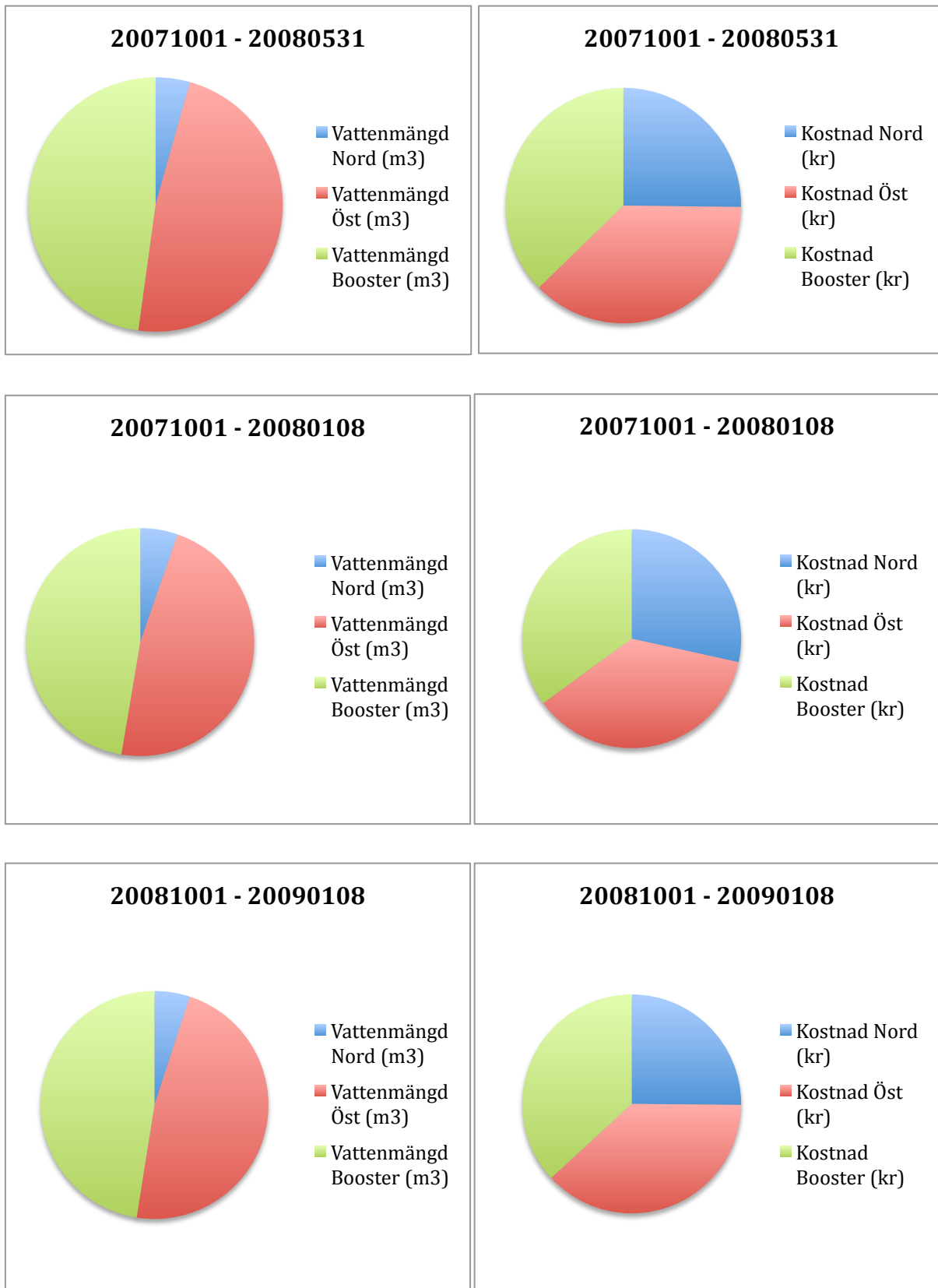
Idre Fjälls medelpris för år 2007 var 0,75 kr/kWh exklusive moms, medelpriset för år 2008 var 0,78 kr/kWh exklusive moms. Idre Fjäll har flera olika abonnemang och det är medelpriserna som visas ovan. Jag har använt ett medel av priserna för år 2007 och år 2008 för att på så sätt slippa dela upp driftsdaten som är kontinuerlig över årsskiften för tidsperioden 071001 - 080531. Medelpriset jag använt mig av är 0,765

kr/kWh. Ulf Bergerin, elchef på Idre Fjäll, tror att elpriset kommer att öka med 0,10 kr/kWh till år 2009.

4.3.5 Vattenmängd och driftskostnad

Ungefär 25 % av driftskostnaderna för pumphusen kommer från pumphus nord om man tittar på alla pumphus. Räknar man inte med pumphus Booster kommer ungefär 40 % av kostnaderna därifrån. Detta är anmärkningsvärt då det tidigare visats att endast 5 % eller 10 %, beror på om man räknar med pumphus Booster eller inte, av vattenmängden pumpas där. Detta visas i Figur 16 för de olika tidsperioderna. I pumphus Öst pumpas ungefär 48 % av den totala vattenmängden men endast cirka 38 % av driftskostnaderna kommer därifrån. För pumphus Booster är siffrorna 48 % av vattenmängden och 37 % av driftskostnaderna.

Det finns två möjliga orsaker till de stora driftskostnaderna och små vattenmängderna i pumphus Nord. Den ena är att det är gammalt och inte fungerar riktigt som det ska och den andra är att pumphuset har startats och körts manuellt och inte med den automatiska körning som är möjlig. Anledningen till att man kört pumparna manuellt vet jag inte. En annan anledning till höjda driftskostnader kan vara att pumparna i pumphus Nord har gått ungefär 200 timmar mer än pumparna i pumphus Öst vilket kan bero på att de körts manuellt.



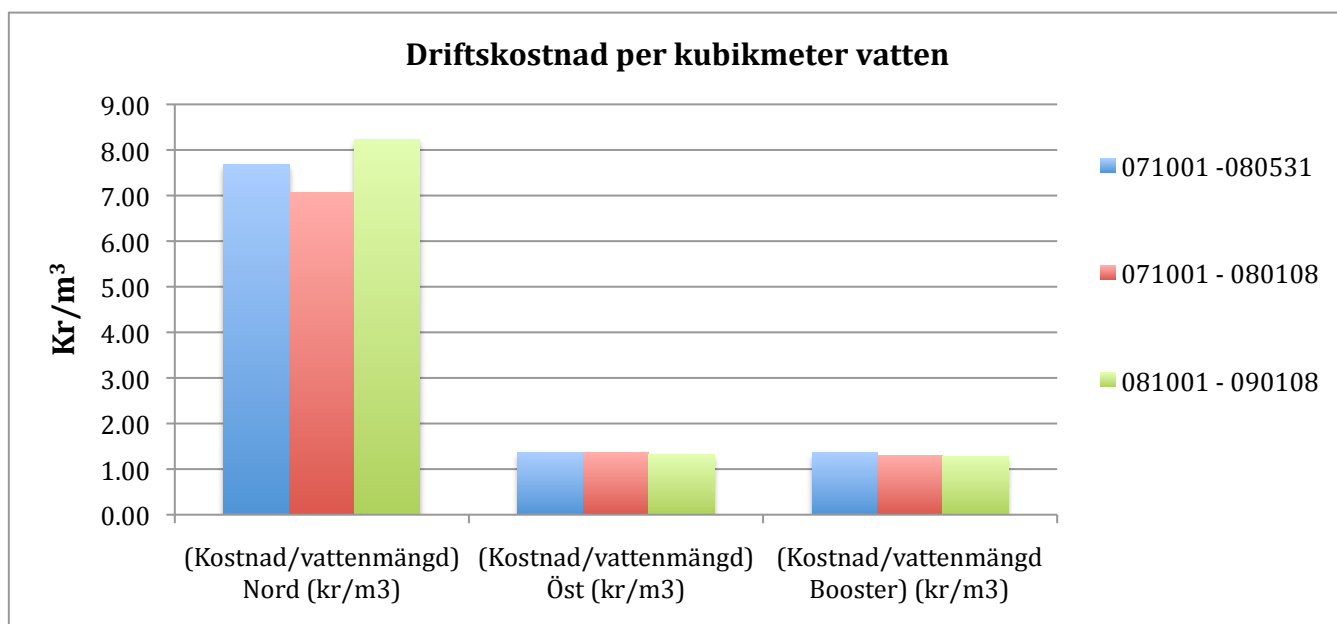
Figur 16. Vattenmängd och driftskostnad för de olika pumphusen under tre olika tidsperioder.

4.3.6 Totala kostnader

Tabell 12. Totala kostnader snötillverkning.

Tidsperiod	071001 - 080531	071001 - 080108	081001 - 090108
Driftskostnader pumpar Nord+Öst+Booster (kr)	579662	459579	522523
Driftskostnad pumpar Nord+Öst+Booster*andel vatten automatiska kanoner	236084	226028	240685
Driftskostnader kompressorer CS1300 (kr)	380718	321530	279060
Personalkostnader (kr)	1566750		
Transportkostnader & underhållskostnader (kr)	929701		
Kostnad strömförbrukning snökanoner värme, fläktar, kompressorer (kr)	53814	49342	62625
Totala kostnader (kr)	3510645	830452	864209
Totala kostnader automatiska kanoner (kr)	3167067	596900	582370

Tabell 12. Totala kostnader snötillverkning. visar en sammanfattning av kostnaderna för snötillverkningen under tre olika tidsperioder. Det är endast fyra av tio kompressorer som är medräknade. Personalkostnaderna och transportkostnaderna är de största kostnaderna när endast driftskostnaderna från den automatiska delen är medräknad. Det är två olika totala kostnader beräknade, en som tar med alla driftskostnader och en som använt viktning av vattenmängden för att beräkna driftskostnaderna för de automatiska kanonerna. Det har också antagits att de fyra kompressorerna i kompressorhus Nord används till de automatiska snökanonerna fullt ut.



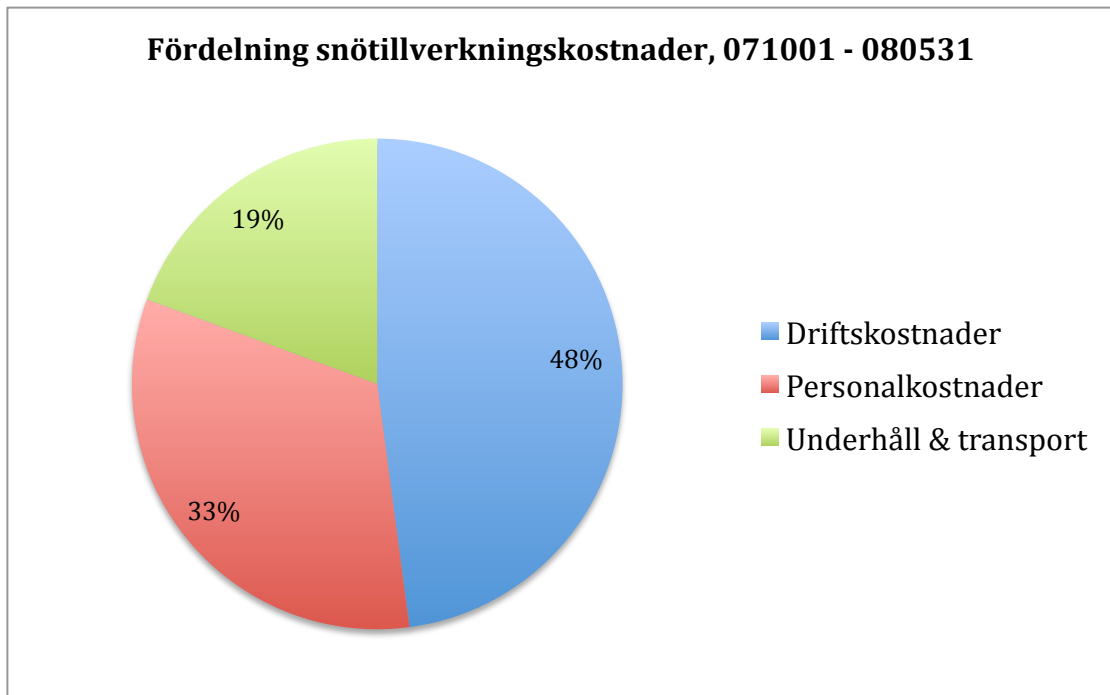
Figur 17. Driftskostnad per kubikmeter vatten vid de tre olika pumphusen.

Som ses i Figur 17. är det ungefär 6 gånger dyrare att pumpa en kubikmeter vatten i pumphus Nord istället för pumphus Öst eller Booster.

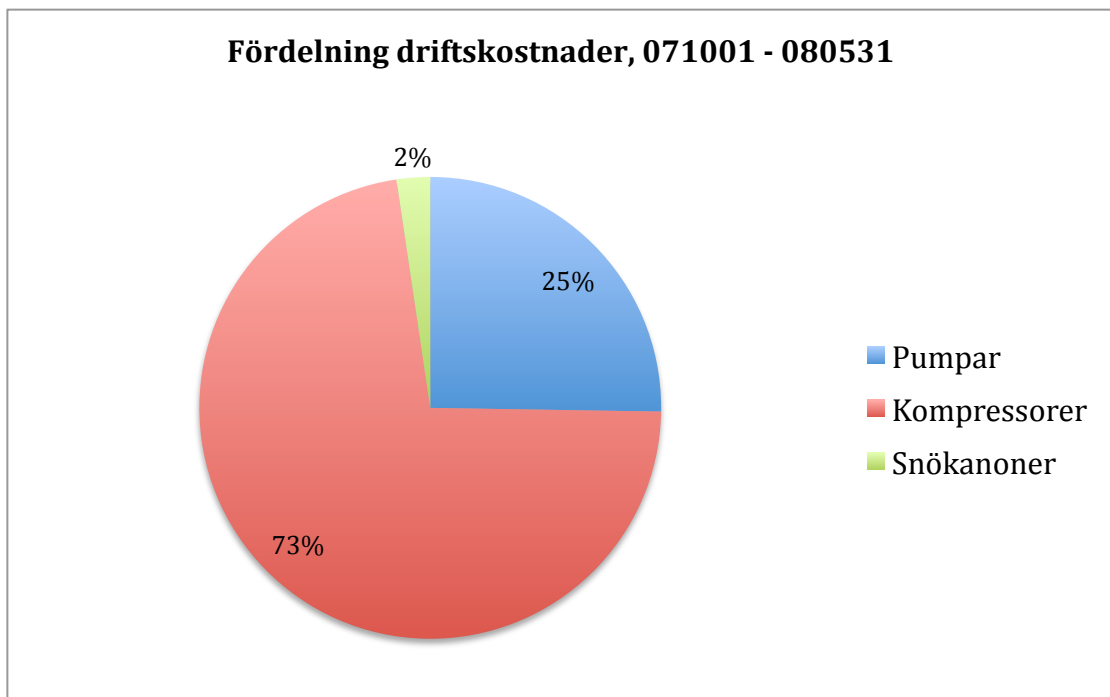
I Bilaga 1 finns driftsdata för de enskilda månaderna.

4.3.7 Sammanfattning

Med kostnadsuppgifter från Idre Fjäll för personal, transport och underhåll sammanfattar följande tre figurer snötillverkningen på ett överskådligt sätt för säsongen 071001 – 080531. Den totala kostnaden för snötillverkningen säsongen 071001 – 080531 är ungefär 4800000 kronor. Den största kostnaden utgörs av driftskostnaden för pumpar, kompressorer och snökanoner, se Figur 18. Fördelning snötillverkningskostnader, 071001 – 080531.. Den största kostnaden av driftskostnaden står kompressorerna för, se Figur 19. Fördelning driftskostnader, 071001 – 080531.



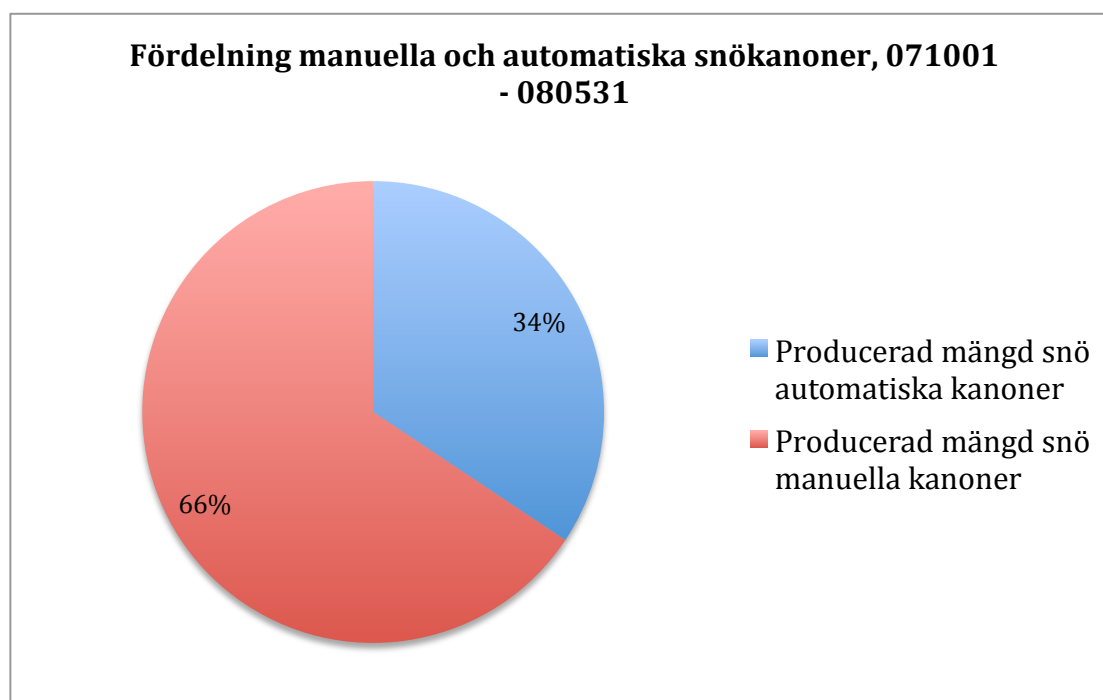
Figur 18. Fördelning snötilverkningskostnader, 071001 - 080531.



Figur 19. Fördelning driftskostnader, 071001 - 080531.

Driftschef Kjell Skoglund uppskattar att ungefär 700000 m³ snö produceras på en säsong. Med dem uppgifterna och driftsdata från Atass programvaran har fördelningen av snötilverknigen, mellan manuella och automatiska snökanoner, beräknats i Figur 20. Fördelning manuella och automatiska snökanoner, 071001 -

080531. Denna fördelning skiljer sig mot den som beräknades tidigare med vattenmängder.



Figur 20. Fördelning manuella och automatiska snökanoner, 071001 - 080531.

Genom att använda ovanstående data går det att beräkna att kostnaden för att producera 1 m³ snö som blir ungefär 7 kr/m³.

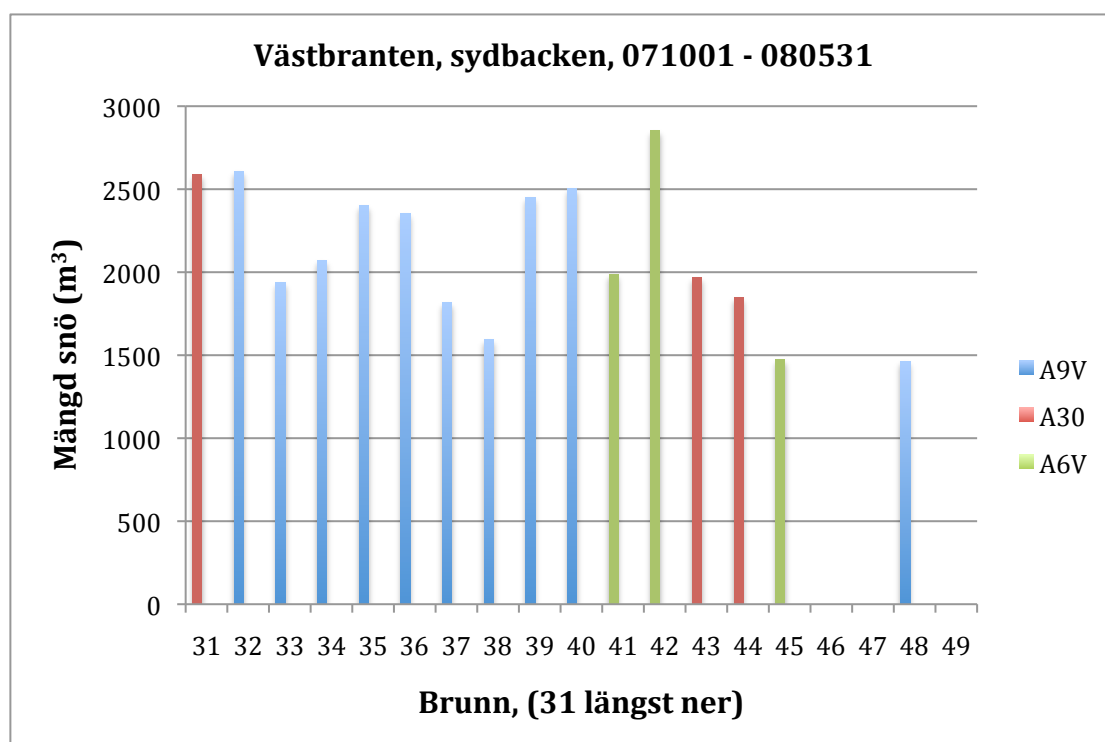
4.4 Analys av snöläggning i nedfarter

Kjell Skoglund är driftschef på Idre Fjäll och säger att Nord Backarna är de backarna de öppnar först och stänger sist. Det är också de backarna som det är mest snö kvar i på våren vid stängningsdags. Anledningen till att det är mest snö kvar i dessa backar är att de ligger i nordlig riktning och att solen inte kommer åt där. Enligt Kjell Skoglund är det svårt att veta hur mycket snö som ska läggas i de nordliga backarna. Det är ingen idé att chansa tycker han. Det kan komma varmperioder under vintern och då kan snön smälta bort till stora delar och det kan bli mycket svårt under senvintern att producera tillräcklig mängd för att täcka backarna igen. De producerar hellre för mycket snö än för lite.

Målet med snötillverkningen är att det ska vara 40-50 cm med tillverkad snö i alla backar. Anledningen till det är att den tillverkade snön slits mycket mindre än naturlig snö. Enligt Kjell Skoglund motsvarar 2-3 meter naturlig snö 40-50 cm med tillverkad snö.

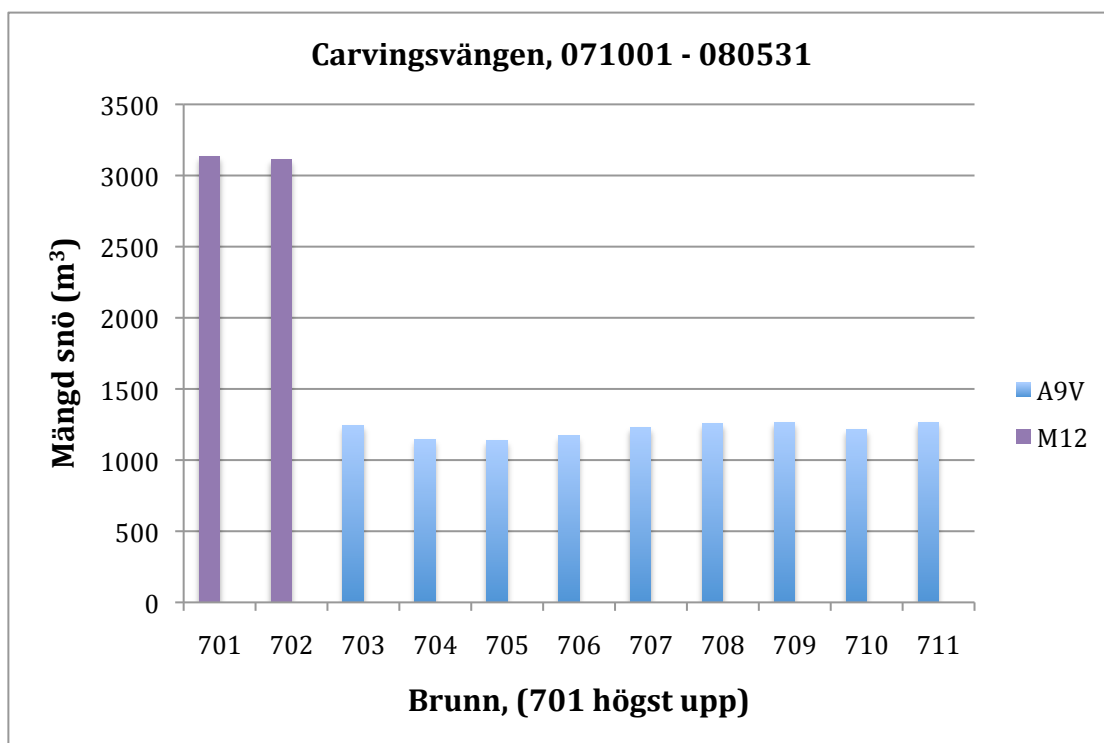
Driftsdata från Atass programvaran gör det möjligt att titta på hur mycket enskilda snökanoner har producerat. Detta kan vara intressant att veta om det läggs mer snö i de övre delarna av backen eller i de nedre. Det är också intressant att jämföra mängden producerad snö för de olika kanonerna.

Genom att använda mängden snö som producerats och nedfarternas ytor är det möjligt att beräkna det producerade snödjupet. Idre Fjäll har som mål att producera 0,5 meter med konstsnö i alla backar enligt driftschef Kjell Skoglund.



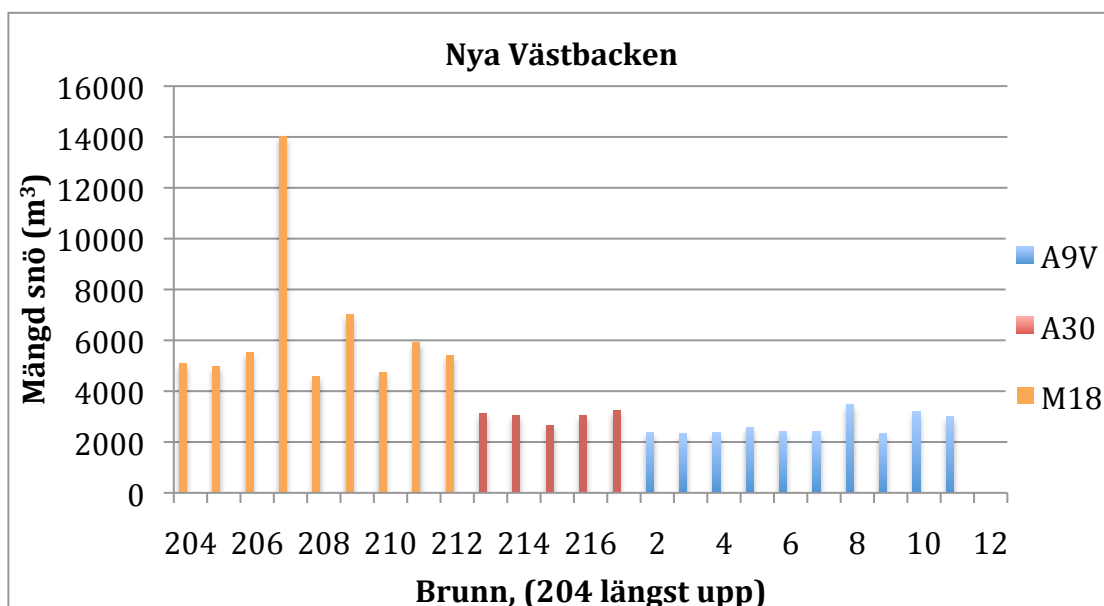
Figur 21. Västbranten och sybacken.

Figur 21. visar hur mycket snö som producerats vid de olika brunnarna i Västbranten och Sybacken. Det producerade snödjupet, beräknat med driftsdata och nedfartsytor, är 1,1 meter. Det går inte att urskilja någon skillnad mellan de olika modellerna av snökanoner.



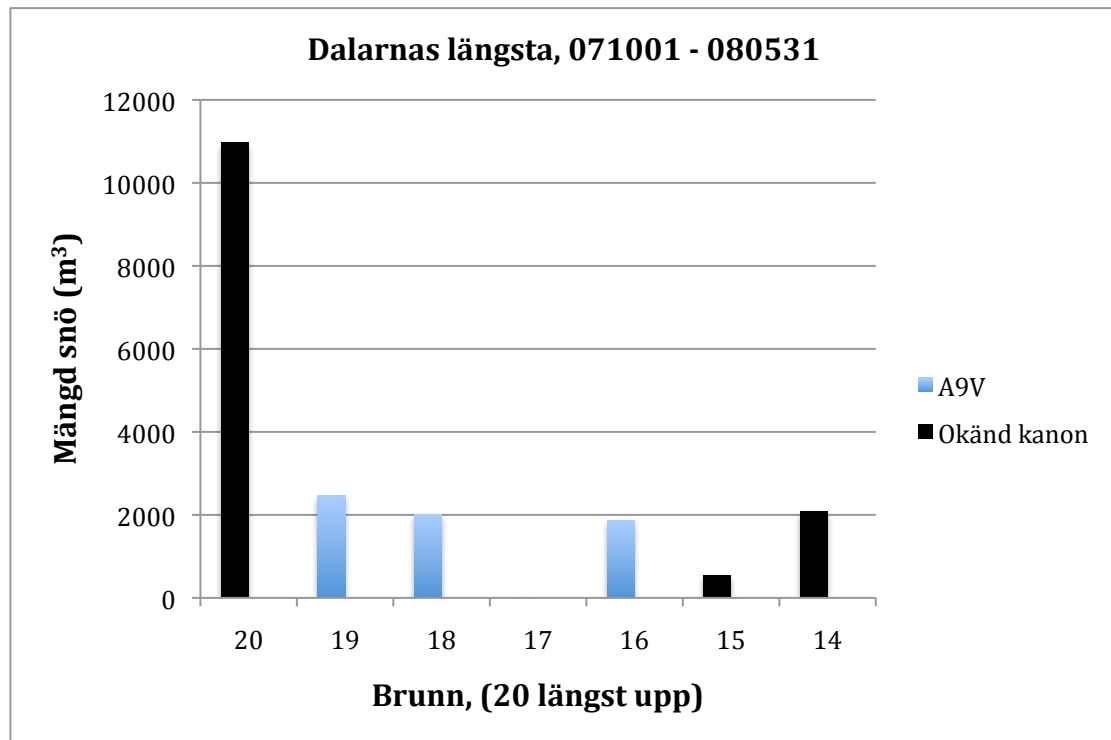
Figur 22. Carvingsvängen.

I Figur 22. syns en tydlig skillnad mellan M12 och A9V i mängden producerad snö. Här är större delen av snön producerad i den övre delen av backen vilket är bra med tanke på att snön flyttas nedåt av åkarna och att det är brantare där. En M12 kanon har nästan producerat tre gånger så mycket snö som en A9V. Det producerade snödjupet från driftsdata och nedfartsytorna är 0,9 meter.



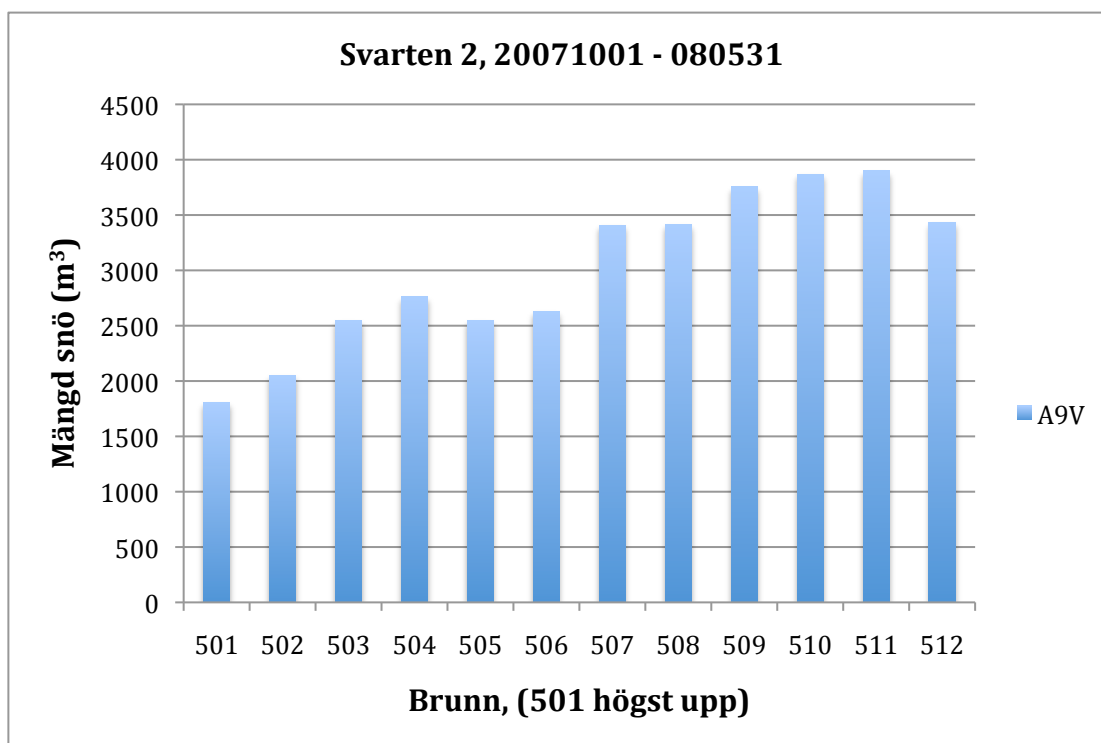
Figur 23. Nya Västbacken.

I Figur 23. är skillnaden mellan de olika kanonerna inte lika stor. Detta kan bero på att de körts olika antal timmar. Det producerade snödjupet från driftsdata och nedfartsytorna är 0,7 meter. Det vore intressant att veta orsaken till den stora mängden snö som producerats vid brunn 207.



Figur 24. Nedre delen av Dalarnas längsta.

I Figur 24. och brunn 20, 15 och 14 går det inte att med master planen för Idre att avgöra vilken typ av kanon som står där. Vid brunn 20 har det förmodligen stått en fläktkanon med tanke på den stora mängd snö som producerats. Det producerade snödjupet från driftsdata och nedfartsytorna är 0,8 meter.



Figur 25. Svarten.

I Figur 25. syns det tydligt att det har producerats mest snö i nedre delen av backen. Det producerade snödjupet från driftsdata och nedfartsytorna är 2 meter om endast Svarten 2 räknas med, det är 1 meter om Svarten 1 och Svarten 2 räknas med. Det är svårt att avgöra med master planen och pistkartan om det gäller båda nedfarterna eller bara den ena. Det har producerats mer snö i de nedre delarna av backen.

Anledning till att det produceras mest snö i nedre delen av backarna kan vara att temperaturen är lägre nere i dalen, vinden kommer inte åt lika mycket eller att det är lägre tryck i rören högre upp vilket gör att det inte går att mata lika stor mängd vatten till kanonerna.

Det är intressant att notera att det producerade snödjupet i Nya Västbacken, som ligger i sydlig riktning, är 2 decimeter tunnare än det producerade snödjupet i Carvingsvängen, som ligger i nordlig riktning. Det borde vara tvärtom på grund av att solen kommer åt mer i Nya Västbacken än i Carvingsvängen. Eftersom Nya Västbacken är en så pass central och stor nedfart antar jag också att fler åker i den vilket medför att snön slits mer och förflyttas nedåt mer än i Carvingsvängen. Vad gäller Svarten backarna har det där producerats i minst 1 meter snö vilket kan tyckas mycket med tanke på att de ligger i nordlig riktning.

4.5 Jämförelse mellan olika snökanoner

Jämförelse mellan Ratnik Snow Giant V, Figur 26. Ratnik Snow Giant V., och TechnoAlpin A9, Figur 27. TechnoAlpin A9 [26]. Båda kanoner är av typen luftvatten kanon med internblandning. Modellerna från Ratnik är från 1980-talet och modellerna från TechnoAlpin är utvecklade under de senaste åren.



Figur 26. Ratnik Snow Giant V.



Figur 27. TechnoAlpin A9 [26]

Tabell 13. Vatten och luftflöde för två olika snökanoner [27].

Modell	Vattenflöde (l/s) vid -5°C	Luftflöde (l/s) vid -5°C
Ratnik Snow Giant V	5	420
TechnoAlpin A9	2	10

Vid en temperatur på -5°C förbrukar en snökanon av typen Snow Giant V från Ratnik ungefär 420 l/s med luft och cirka 5 l/s med vatten [27]. Modell A9V från TechnoAlpin förbrukar vid -5°C ungefär 10 l/s med luft och cirka 2 l/s med vatten. Jämför man de två ovanstående kanonerna syns att Ratnik kanonen förbrukar 42 gånger mer luft än snökanonen från TechnoAlpin. Förhållandet för vattenförbrukning är 2,5. Enligt personal på Idre Fjäll och Snowtech AB producerar en snökanon av TechnoAlpin modell A9 mellan 20 och 30 % mer snö jämfört med de gamla Ratnik snökanonerna.

Dagens luftkapacitet med de tio luftkompressorerna är ungefär 3800 l/s. Det medför att ungefär 9 stycken Ratnik Snow Giant V kanoner kan vara igång samtidigt eller totalt ungefär 380 stycken TechnoAlpin A9V snökanoner om endast luftkapaciteten beaktas och temperaturen är -5°C. Vid lägre temperatur förbrukar de gamla manuella kanonerna mindre luft.

Dagens vattenkapacitet är 140 l/s, 8400 l/min där 6000 l/min kommer från pumphus Öst och 2400 l/min från pumphus Nord. Det gör det möjligt att förse 28 stycken Ratnik Snow Giant V eller 70 stycken TechnoAlpin A9V om endast vattenkapaciteten beaktas och temperaturen är -5°C.

Idag är det alltså främst luftkapaciteten som sätter begränsning för hur många snökanoner som kan köras samtidigt.

Med projekt Burusjön ska vattenkapaciteten utökas till 710 m³/h, 197 l/s, 11833 l/min mot dagens 8400 l/min.

När projekt Burusjön är färdigt och vattenkapaciteten är utbyggd kommer det vara möjligt att öka antalet TechnoAlpin kanoner som körs samtidigt. Med en vattenkapacitet på 11833 l/min kommer det vara möjligt att köra cirka 115 stycken TechnoAlpin kanoner samtidigt beroende på temperatur. Luftkapaciteten kommer fortfarande vara begränsande för hur många Ratnik kanoner som körs samtidigt.

För att bli av med begränsningen i luftkapacitet är mitt förslag att byta ut de gamla manuella kanonerna mot nyare mer energieffektiva snökanoner. Genom att ersätta de gamla manuella kanonerna går det att göra avsevärda besparingar i främst förbrukningen av komprimerad luft. Det som blir begränsningen för hur många nya kanoner man kan skaffa är vattenflödet.

Det går att göra besparingar genom att skaffa mobila kanoner som kan flyttas runt i de olika nedfarterna. Det behövs inte lika många kanoner som om man skaffar fasta kanoner men det ger inte heller samma möjlighet att lägga snö i alla backar samtidigt vilket kan vara nödvändigt om man vill öppna hela systemet tidigt. Det beror också på skicket på rören för vattnet och luften.

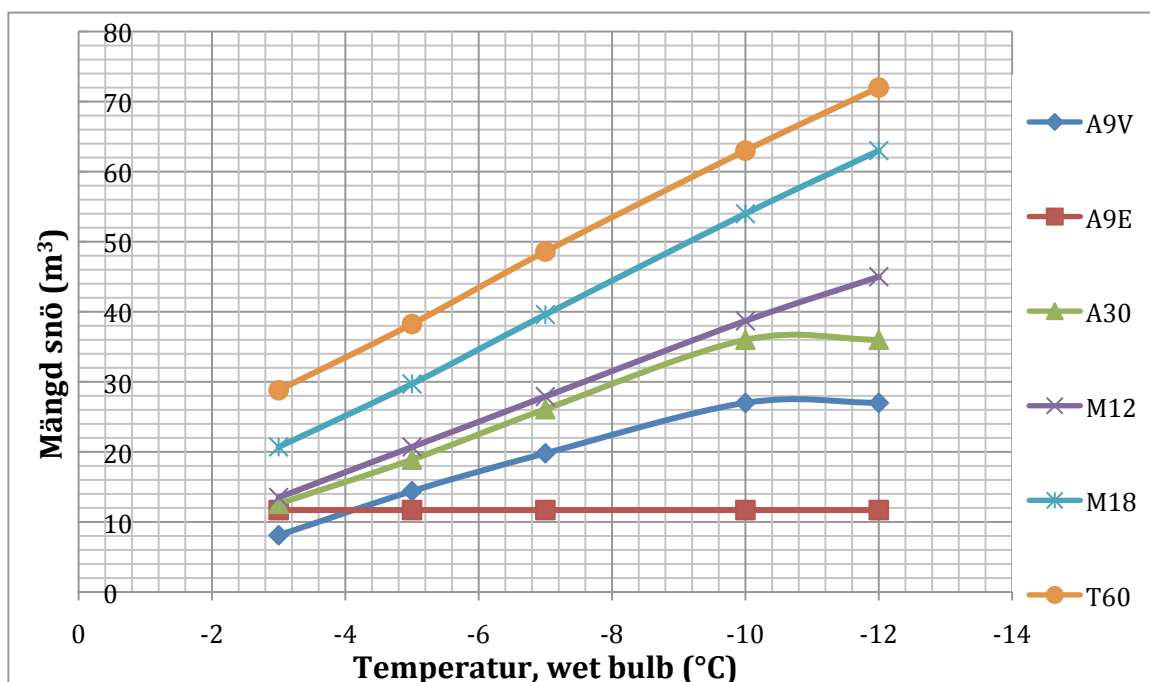
Mitt förslag är att efter införskaffande av nya snökanoner stänga ner kompressorerna i kompressorhus Öst. Detta kommer att sänka driftkostnaderna och det krävs ingen nyinvestering i kompressorutrustning. Kompressorerna i kompressorhus Öst är äldst och behöver förmodligen en större reovering eller att nya införskaffas. Detta behövs inte om nya snökanoner köps in som har en avsevärt lägre förbrukning av luft.

De nya snökanonerna kommer inte bara att medföra en minskning av driftskostnaderna, snökvaliteten kommer även att förbättras avsevärt i de berörda backarna. Sammanfattningsvis kommer dessa förändringar få till följd:

- Minskade driftskostnader.
- Tidigare och säkrare snöläggning.
- Minskad påverkan på miljön.
- Bättre snökvalitet i berörda backar.
- Bättre arbetsmiljö för snölägningspersonal.
- Minskade klagomål från gäster med stuga nära backarna.
- Nöjdare gäster som kommer tillbaka oftare.

4.6 Temperaturens inverkan på snömängd

Med dagens moderna snökanoner från till exempel TechnoAlpin är det möjligt att producera snö med samma kvalitet oberoende av temperaturen. Med äldre kanoner är kvaliteten beroende av temperaturen. Vid en viss wet bulb temperatur går det att börja producera snö med en bestämd kvalitet. När temperaturen sjunker behålls samma kvalitet, det enda som ändras är mängden snö som produceras. Vid en wet bulb temperatur på -3°C kan en A9V från TechnoAlpin producera $8,1 \text{ m}^3/\text{h}$ med snö. När temperaturen sjunker ökar mängden. Vid en wet bulb temperatur på -12°C kan $27 \text{ m}^3/\text{h}$ med snö produceras, det är mer än tre gånger så mycket som vid -3°C .



Figur 28. Producerad mängd snö vid olika temperaturer och modell av snökanon.

Figur 28. Producerad mängd snö vid olika temperaturer och modell av snökanon. visar mängden snö som en snökanon producerar vid en specifik wet bulb temperatur. Snökvaliteten är 400 liter vatten per producerad m^3 snö. A9E är inte reglerbar vilket betyder att det inte går att producera mer snö när temperaturen sjunker. När temperaturen sjunker på de övriga snökanonerna öppnas fler munstycket som sprutar ut vatten och mängden snö som produceras ökar. För att behålla samma snökvalitet vid temperaturer nära $0^{\circ}C$ är endast några få vattenmunstycken öppna. När temperaturen sjunker öppnas fler och den producerade snömängden per tidsenhet ökar. Modell A9V, A9E och A30 är luft-vatten snökanoner med internblandning medan modellerna M12, M18 och T60 är flätkanoner. Som visas i Figur 28. Producerad mängd snö vid olika temperaturer och modell av snökanon. är mängden snö som produceras vid $-10^{\circ}C$ och $-12^{\circ}C$ samma för luft-vatten kanonerna med internblandning medan möjlig producerad snömängd för flätkanonerna ökar från $-10^{\circ}C$ till $-12^{\circ}C$ [27].

Förbrukningen av vatten för en snökanon från TechnoAlpin beror på inställd snökvalitet, wet bulb temperatur, vattentryck vid snökanonen, vattentemperatur. Detta medför att det är mycket svårt att beräkna vattenförbrukningen [27].

4.7 Effektiviseringar som bör genomföras:

Med analysen av driftsdata som bakgrund har jag kommit fram till att nedanstående ändringar bör genomföras för att effektivisera energiförbrukningen vid snötillverkning.

- Stänga ner pumphus Nord. Detta sänker driftskostnader för pumphusen med ungefär 25 – 30 %. Det vill säga det skulle gå att spara ungefär 180000 kWh vilket med dagens elpris är ungefär 140000 kronor. Elpriset kan stiga i framtiden och då blir besparingen ännu större. Genom att stänga ner pumphus Nord besparas 15 % av de totala driftskostnaderna, personalkostnader och transportkostnader är inte medräknade.
- Byta ut de gamla manuella kanonerna mot nya mer energieffektiva, se kapitel 4.5.
- Byta ut de gamla snökanonerna vilket gör det möjligt att stänga ner några kompressorer.
- Inte producera mer snö än nödvändigt i nedfarterna. Målet är att producera 0,5 meter snö i alla nedfarter. I vissa nedfarter produceras mer än det dubbla.
- Ställa in så att snökanonerna inte körs när det blåser så att snön inte läggs i nedfarterna. Detta bör göras för att inte producera snö som blåser iväg och lägger sig på platser där den inte kommer till användning.
- Förflyttning av snö producerad med de automatiska kanonerna istället för att producera snö med de manuella kanonerna.
- När produktionen är klar med de 15 stycken mobila flätkanonerna, bör de flyttas till en annan backe. Till exempel en backe där det vanligtvis står gamla manuella högtryckskanoner.
- Sänka wet bulb temperaturen på kanonerna för att på så sätt producera mer snö under en kortare tid. Förslagsvis till $-3,5^{\circ}\text{C}$ för att på så sätt få ut mer snö per energi och kostnadsdel.
- Producera mer snö i de övre delarna av backarna än i de nedre delarna. Snön flyttas nedåt av åkarna och det är enklare att flytta snön nedåt än uppåt med pistmaskin.

4.8 Slutsatser

En av mina slutsatser vad gäller driftsdata, grundat på tidigare beräkningar, är att stänga ner pumphus Nord när vatten börjar tas från Burusjön. Burusjö-projektet kommer avsevärt att öka vattenkapaciteten vilket kommer att göra det onödigt med pumphus Nord. Genom att stänga ner pumphus Nord kommer en besparing på ungefär 140000 kronor göras per säsong. De ökade driftskostnaderna för Burusjöns pumpar är inte medräknade och eventuella höjningar av elpriset i framtiden. Det bör också undersökas varför pumphus Nord har dragit så mycket energi men inte pumpat särskilt mycket vatten för att undvika att liknande problem uppstår i framtiden.

Genom att minska användningen av de gamla manuella kanonerna och köra de nyare kanonerna större del går det att göra avsevärda besparingar. Det kan vara bra att köra de nya kanonerna mer än vad som är nödvändigt och sedan förflytta snön med pistmaskin istället för att köra de gamla manuella kanonerna. Det finns också möjlighet att flytta de mobila M18 kanonerna när de har lagt snö klart på ett ställe.

Det är mycket anmärkningsvärt att de sex stycken kompressorerna som inte finns med i driftsdatan förbrukar ungefär 70 % av den totala elanvändningen för snötillverkningen. Mitt förslag är att skaffa nya snökanoner och på så sätt minska luftbehovet och göra det möjligt att stänga ner några kompressorer.

Att mer än 50 % av snön produceras med de manuella snökanonerna visar på att det finns mycket stora besparingar att göra. Genom att införskaffa nya snökanoner kommer inte bara driftskostnaderna att sjunka utan även underhållskostnader och möjligtvis personalkostnader.

5 Diskussion

En farhåga jag har med detta arbete är att det finns risk för att Idre Fjäll inte tar till sig informationen och inte förverkligar de ändringar som har föreslagits. Det kan bli så att det helt enkelt inte finns tid eller pengar att genomföra och arbeta vidare med detta.

Ett intryck som slog mig när jag var i Idre i början av januari var att de sa att de inte hade tid att titta på driftsdata eller att arbeta efter någon särskild strategi utan när det väl var tid för snöläggning upptog det all tid.

Det bör göras en närmare analys och undersökning av driftsdata när även säsongen 08/09 är över för att jämföra med säsongen 07/08. I det fortsatta analyserandet bör också den naturliga mängd snö som kommer också tas med för att på så sätt försöka kunna hitta ett samband när snötillverkningen bör minskas, ökas eller omprioriteras. En annan intressant aspekt kan vara att titta på produktion av snö på en plats för att sedan förflytta den till de backar som behövs med pistmaskin eller liknande. Skulle detta vara bättre ur en energisynpunkt än att till exempel köra de gamla manuella snökanonerna?

Detta arbete hade kunnats göra bättre om mer tid hade spenderats på Idre Fjäll i samarbete med driftspersonal och övriga anställda. Anledningen till att det inte blev så beror delvis på Idre Fjälls inte visste vad detta examensarbete skulle kunna leda till men också på att jag inte insåg detta förrän i slutskedet av arbetet. Det hade till exempel varit enkelt för mig att ta reda på personalkostnader och transportkostnader under ett tidigare skede istället för att få uppgifterna några dagar innan rapporten skulle vara klar.

Enligt Jan Mangborg Snowtech AB är jag den första i Norden att titta närmare på driftsdata från Atass programvaran. Det är underligt att skidanläggningarna inte har något intresse i att göra det när det finns tillgängligt. Det kan vara så att de inte vet vilka besparingar det går att göra med en närmare analys av driftsdatan. Det finns många uppslag till fortsatt arbete eftersom många av skidanläggningarna har automatiska system med tillgänglighet till driftsdata men inte använder sig av det.

Angående snökvalitet anser Jan Mangborg på Snowtech att med dagens snökanoner producerar man alltid samma kvalitet i nedfarterna och man eftersträvar inte en hårdare botten eftersom det oftast ger en isig nedfart. Nypreparerade nedfarter är något gästerna efterfrågar och intresset verkar inte speciellt stort att det ska ligga ett lager med nyproducerad snö i nedfarterna varje morgon.

Det är inte säkert att det är ekonomiskt lönsamt att installera frekvensstyrning på pumpar idag på grund av att driftstimmarna är för få för att det ska bli lönsamt. Det kan dock vara ett alternativ om framtida förmodade höjningar av elpriset beaktas.

De senaste årens utveckling med snökanoner som förbrukar avsevärt mycket mindre luft än vad äldre kanoner gör anser jag vara den största innovationen som skett inom området. Det har också skett en stor teknisk utveckling på snökanonerna från att ha varit enkla blandningsmunstycken till dagens högteknologiska datorstyrda snöproduktionsmaskiner.

Förslag till fortsatt arbete kan vara att göra en teknisk jämförelse och utvärdering av snökanoner för att på så sätt se vilken utveckling som skett. Även att jämföra de olika tekniska lösningarna och titta på producerad mängd snö per förbrukad mängd energi är intressant. Miljöpåverkan av oljeutsläpp vid snötillverkning och användandet av tillsatser vid snötillverkning är också intressanta uppslag till fortsatt arbete.

Avslutningsvis anser jag att rapportens innehåll avhandlar de mål som togs upp i syftet.

6 Referenser

- [1] SLAO, *Liftdata Sverige 2007-08*, <http://www.slao.se/Statistik.asp>, 2008-12-01
- [2] Kenneth G Libbrecht, 8 March 2005, *The physics of snow crystals*, *REPORTS ON PROGRESS IN PHYSICS* 68 (2005) 855-895, Norman Bridge Laboratory of Physics, California Institute of Technology, USA.
- [3] Kenneth G Libbrecht, *A Snowflake Primer*,
<http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/primer/primer.htm>, 2008-11-17
- [4] Kenneth G Libbrecht, *Snowflake Branching*,
<http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/dendrites/dendrite.htm>, 2008-11-17
- [5] Kenneth G Libbrecht, *Crystal Faceting*,
<http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/faceting/faceting.htm>, 2008-11-17
- [6] Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/artikel/1126128>, 2008-11-18
- [7] Wilson Bentley, Plate XIX of "*Studies among the Snow Crystals ...*" by Wilson Bentley, "The Snowflake Man." From Annual Summary of the "Monthly Weather Review" for 1902. <http://www.photolib.noaa.gov/htmls/wea02087.htm>, 2008-12-01
- [8] *How does snow making work?* <http://www.articlesbase.com/extreme-sports-articles/how-does-snow-making-work-396358.html> 2008-11-25
- [9] *Greening Your Ski Area A Pollution Prevention Handbook*, Chapter 11, Snowmaking, January 2002, <http://peakstoprairies.org/p2bande/skigreen/>, 2008-11-25
- [10] *Snow Making at Australian Ski Resorts*, 7 Maj 2005
http://www.asaa.org.au/templates/asa/page/page_standard.php?secID=903 2008-12-01
- [11] *ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT REPORT FOR ASPEN SKIING COMPANY SNOWMAKING OPERATIONS*, July 15, 2001, COLORADO STATE UNIVERSITY, Industrial Assessment Center Department of Mechanical Engineering, via e-mail från Auden Schendler 2008-11-28.

- [12] *Nessy*,
http://bachler.cms1.ch/Portals/41/docs/NESSy%20Brochure%20English_Internet.pdf
 2008-12-15
- [13] Kenneth G Libbrecht, *A Guide to Snowflakes*,
<http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/class/class.htm> 2008-12-16
- [14] *Pumps and valves for snow generation*, World Pumps, Volume 2006, Issue 479,
 August 2006, Pages 22-25,
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VJK-4KKPCMP-17&_user=745831&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000041498&_version=1&_urlVersion=0&_userid=745831&md5=c8100866292884ff4ec3be8d54c1a1f6, 2008-12-03
- [15] Young, Donald F. & Munson Bruce R. & Okiishi Theodore H. *A BRIEF INTRODUCTION TO FLUID MECHANICS*, 3rd Edition. 2004. Wiley, John Wiley & Sons, inc.
- [16] Ratnik Industries, *Water Cooling Towers*, <http://www.ratnik.com/wcs.html>,
 2009-01-05
- [17] Ratnik Industries, *Products*, <http://www.ratnik.com/products.html>, 2009-01-05
- [18] Ratnik Industries, *Rotary Screw Compressors*,
http://www.ratnik.com/acs_3.html, 2009-01-05
- [19] Ratnik Industries, *Centrifugal Compressors*, http://www.ratnik.com/acs_4.html,
 2009-01-05
- [20] Çengel, Yunus A & Boles, Michael A. *THERMODYNAMICS, An Engineering Approach*, Fifth edition i SI units. 2006. McGraw-Hill.
- [21] SLAO, *Liftdata Sverige 2007-08*, <http://www.slao.se/Statistik.asp>, 2008-12-01
- [22] Idre Fjäll, *Årsredovisning 2007 Stiftelsen Idre Fjäll*,
http://www.idrefjall.se/koppladefiler/idre_arsredovisning2007.pdf 2008-12-01.
- [23] Idre Fjäll, *Snögaranti*, http://www.idrefjall.se/sn%f6garanti_.html, 2009-01-05

- [24] Idre Fjäll, *Miljöpolicy*,
http://www.idrefjall.se/koppladefiler/Idre_Fjalls_miljopolicy.pdf, 2009-02-06
- [25] Johan Svahn, ÅF-infrastruktur, *Vägvalsanalys energiförsörjning Stiftelsen Idre Fjäll*, 2008-09-16
- [26] TecnoAlpin, *A9*, www.technoalpin.com 2009-03-03
- [27] Snowtech AB, *Internt material*.
- [28] Christian Rixen, Veronika Stoeckli & Walter Ammann, *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes?* *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* (2003) **5**, 219–230