



SIAT – Senter for
idrettsanlegg og teknologi

Snøseminar Steinkjer

Bernhard Haver Vagle
24.09 2016



Agenda

- Hva er SIAT?
- Presentasjon av masteroppgave vår 2016
- Gjennomgang av snøproduksjon og snølagring
- Resultater
- Oppsummering



Senter for IdrettsAnlegg og Teknologi

- Tverrfaglig senter ved NTNU – nasjonalt virkeområde
 - Idrettsanlegg
 - Idrettsteknologi
- 7 heltidsansatte, 14 deltid
- Formidling av kunnskap
 - Gode idrettsanlegg:
<http://www.godeidrettsanlegg.no/>
- Bistand til utbyggere - forskningsbasert
- Forskning og utdanning på ulike nivåer:
 - Ekspert i team
 - B.Sc.
 - M.Sc.
 - Phd.
 - Oppdragsforskning
- www.ntnu.no/siat



SIATs Formål

”

Gjennom forskning, utdanning og formidling
heve kunnskap om **idrettsanlegg og**
idrettsteknologi

- Til det beste for idretten og samfunnet

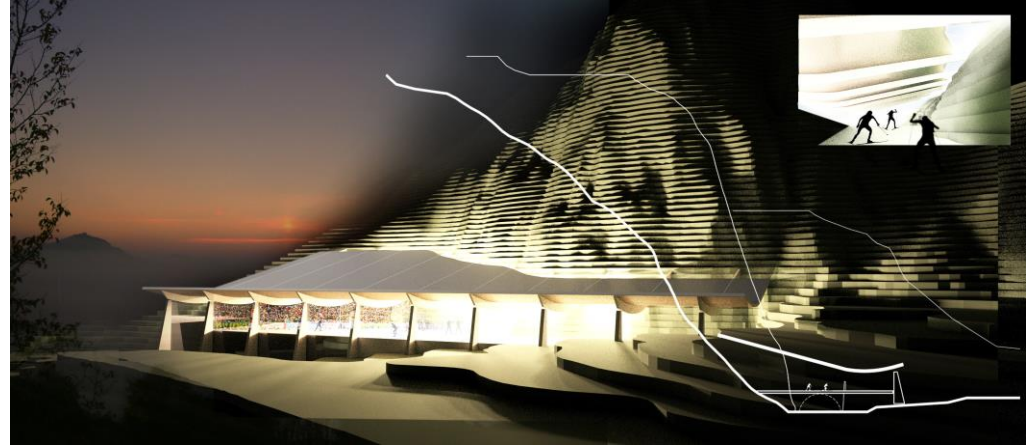


Idrettsanlegg: Planlegging, design,
konstruksjon, drift, vedlikehold,
rehabilitering og utvikling



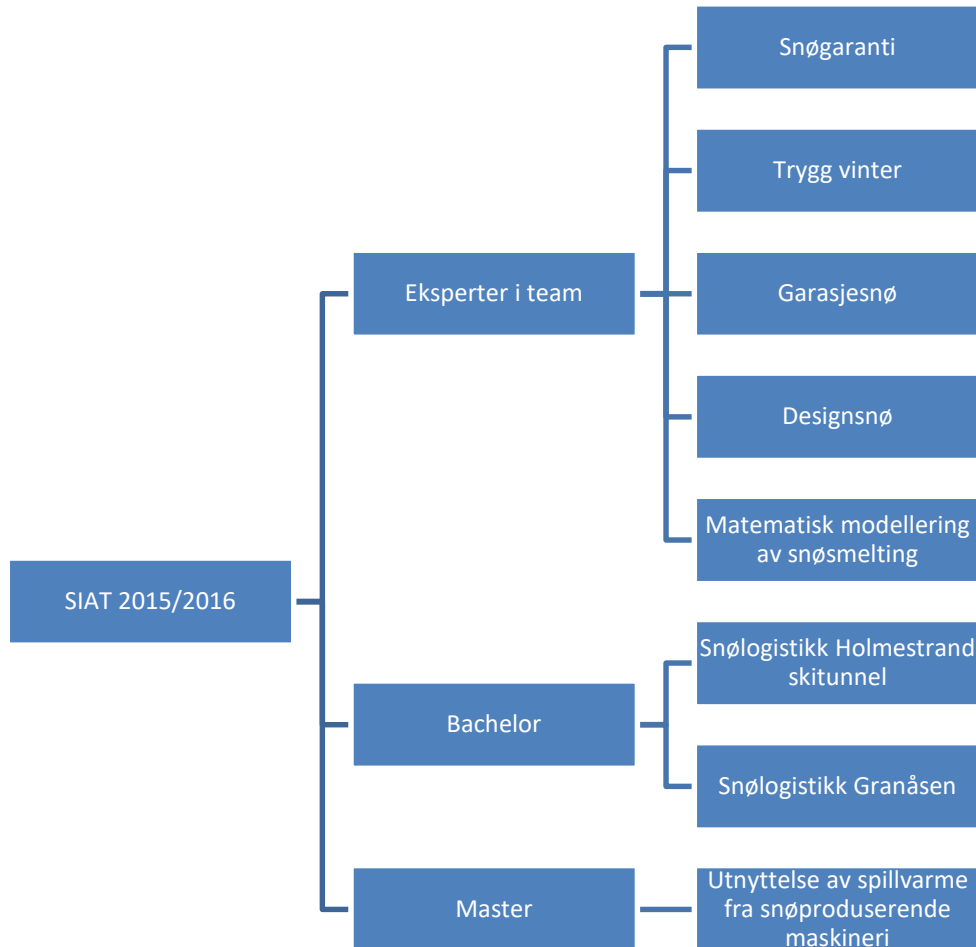
Idrettsteknologi: Utvikling av utstyr og
bekledning

SIAT på snø



- **Fasiliteter**
 - NTNU Snowlab
 - Nasjonale driftsmiljø (bl.a. i Granåsen og Beitostølen)
- **Ressurser**
 - 1-2 forskerstillinger
 - Master-/bacheloroppgaver
 - Eksperter i team
- **Oppgaver**
 - Holmestrand skitunnel - mulighetsstudie
 - Utbygging av Granåsen skisenter
- **Studieturer og samarbeid**
 - Europa
 - Norden
- **Fremover**
 - NTNU SIAT viderefører nasjonalt og internasjonalt snøprosjekt

Studentoppdrag på snø



Masteroppgave vår 2016

- Tittel: «*Utnyttelse av spillvarme fra snøproduserende maskineri*»
- Sammenligning av 4 case for snøgaranti i Granåsen fra 1. november – 30. april
- 5 km = ca. 12.000 m³ snø
- Fokus på varmegjenvinning
- Vurdert med hensyn på energiforbruk og kostnader

Snøproduksjon

- Utviklet på 1950-tallet
- Vann + trykkluft + elektrisitet = snø
- Oppstartstemperatur og produksjonskapasitet kommer an på flere faktorer.



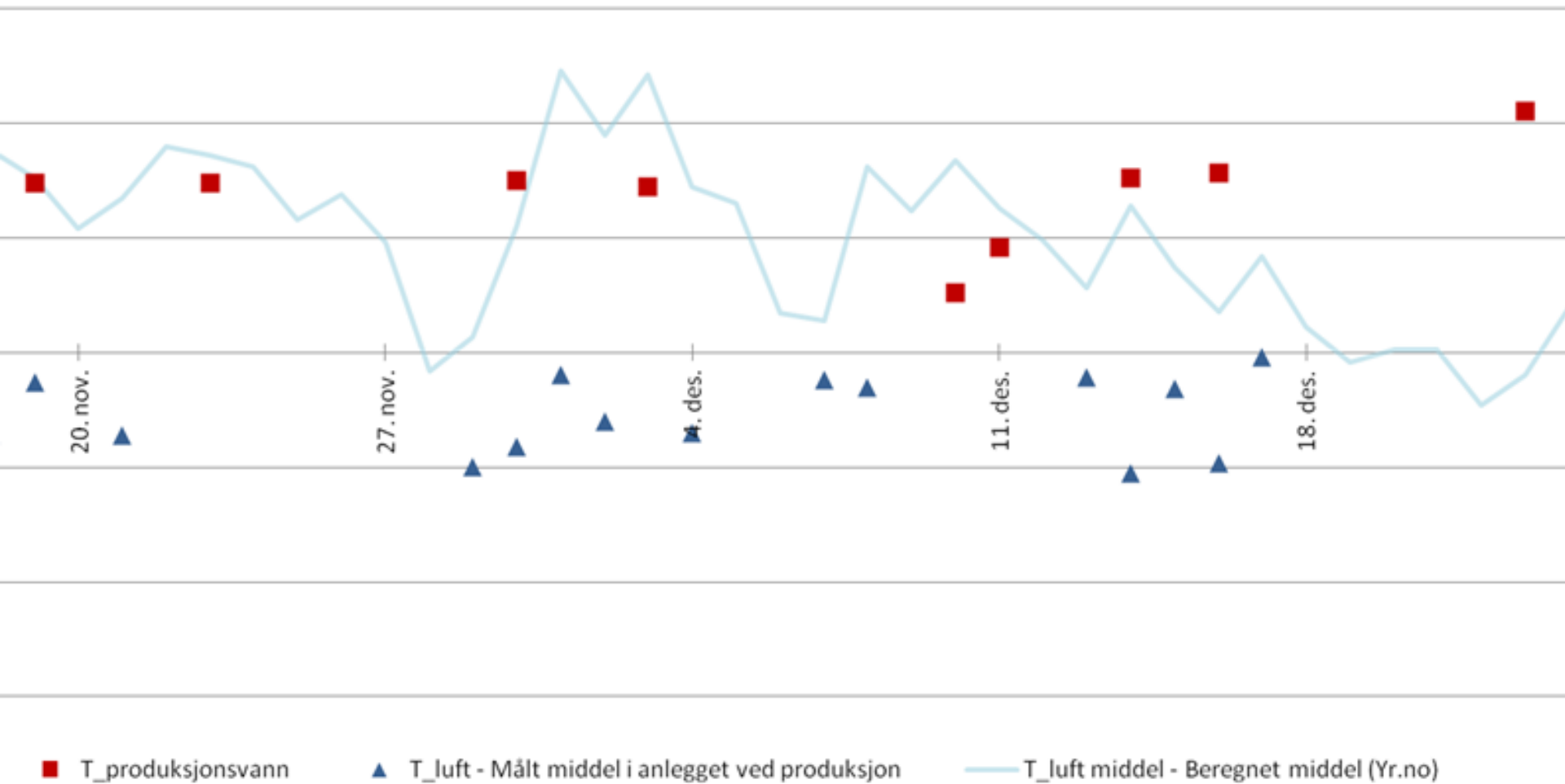
Hva påvirker snøproduksjon?

- **Våtkuletemperatur** (lufttemperatur + luftfuktighet)
- Vanntemperatur (kjøletårn?)
- Vannkvalitet
- Vindhastighet
- Dråpestørrelse
- Forstøving/spredning (dyser)
- Fallhøyde
- Trykkluftsmengde
- Antall snøkanoner (mikroklima)
- Snøkvalitet

«Snowmaking chart»

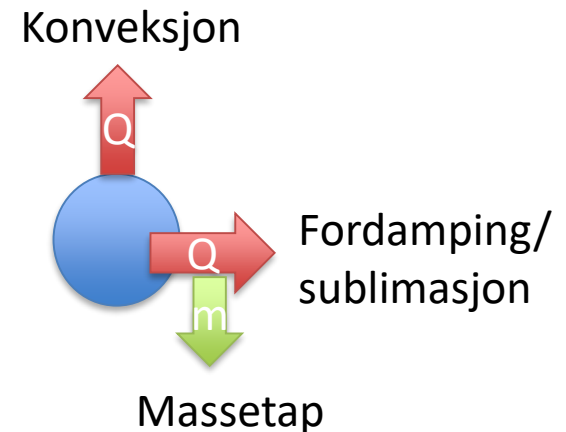
		Good Snow Quality						Poor Snow Quality						No Snowmaking						
		Humidity																		
		10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
Temp C																				
-9		-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9
-8		-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8
-7		-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7
-6		-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6
-5		-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5
-4		-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4
-3		-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3
-2		-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-2
-1		-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1
0		-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0
1		-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	1
2		-4	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	2	2	2
3		-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3
4		-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4

Granåsen skianlegg 2015 - Temperaturmålinger luft og vann



Varmeoverføring

- Konveksjon og fordampingsavkjøling
- Kaldere enn -7 grader (våtkule): konveksjon dominerer
- Varmere enn -7 grader (våtkuletemp.): fordampingsavkjøling dominerer



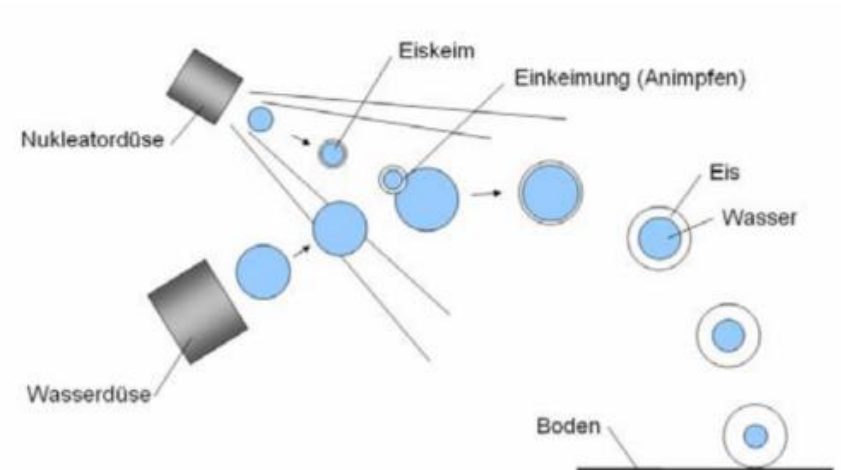
Latent varme, fordamping = 2265 KJ/kg

Latent varme, frysing = 334 KJ/kg

Spesifikk varmekapasitet = 4,2 KJ/kg*K

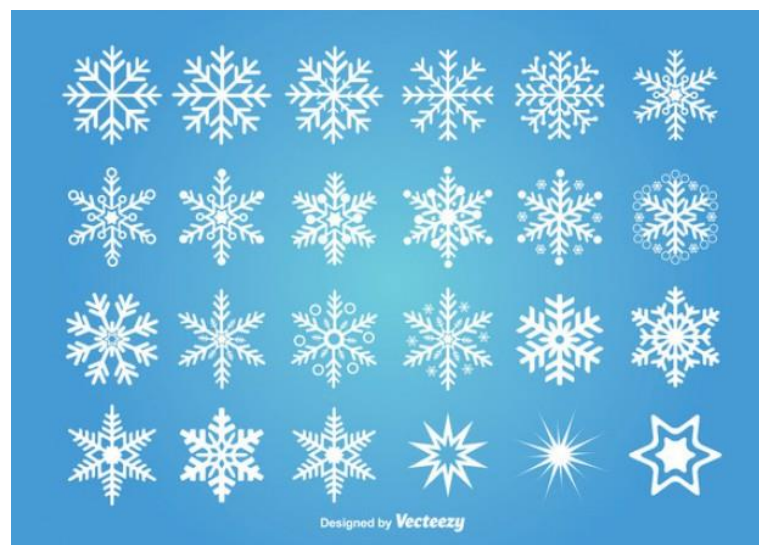
Fryseprosess

- Underkjøling av vann
 - Ned til $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Frysekjerne
 - Vannkvalitet
 - Tilsetningsstoffer
- Nukleatordyse
- Vanndyse
- Joule-Thompson effekt



Kunstsno vs. natursno

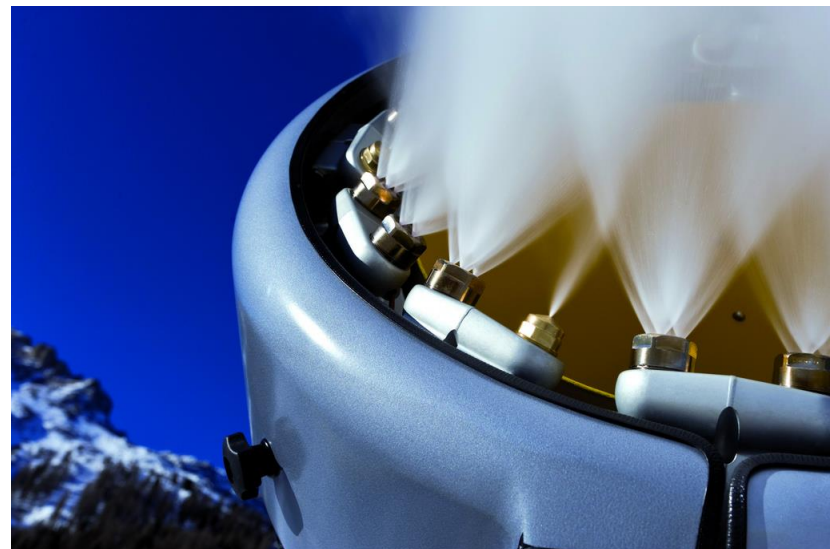
- Natursno vokser i sekskantede strukturer
- Kunstsno fryser inn mot kjernen – blir runde kuler
- Høyere tetthet
- Mer slitesterk mot regn og vind
- God såle



To hovedtyper snøkanoner

- **Vifter**

- Høy produksjonskapasitet
- Bedre i marginale temperaturer
- Innebygd kompressor
- Pris: opp mot 450.000 NOK
- Lang kastelengde – passer til bredere spor (alpinanlegg)



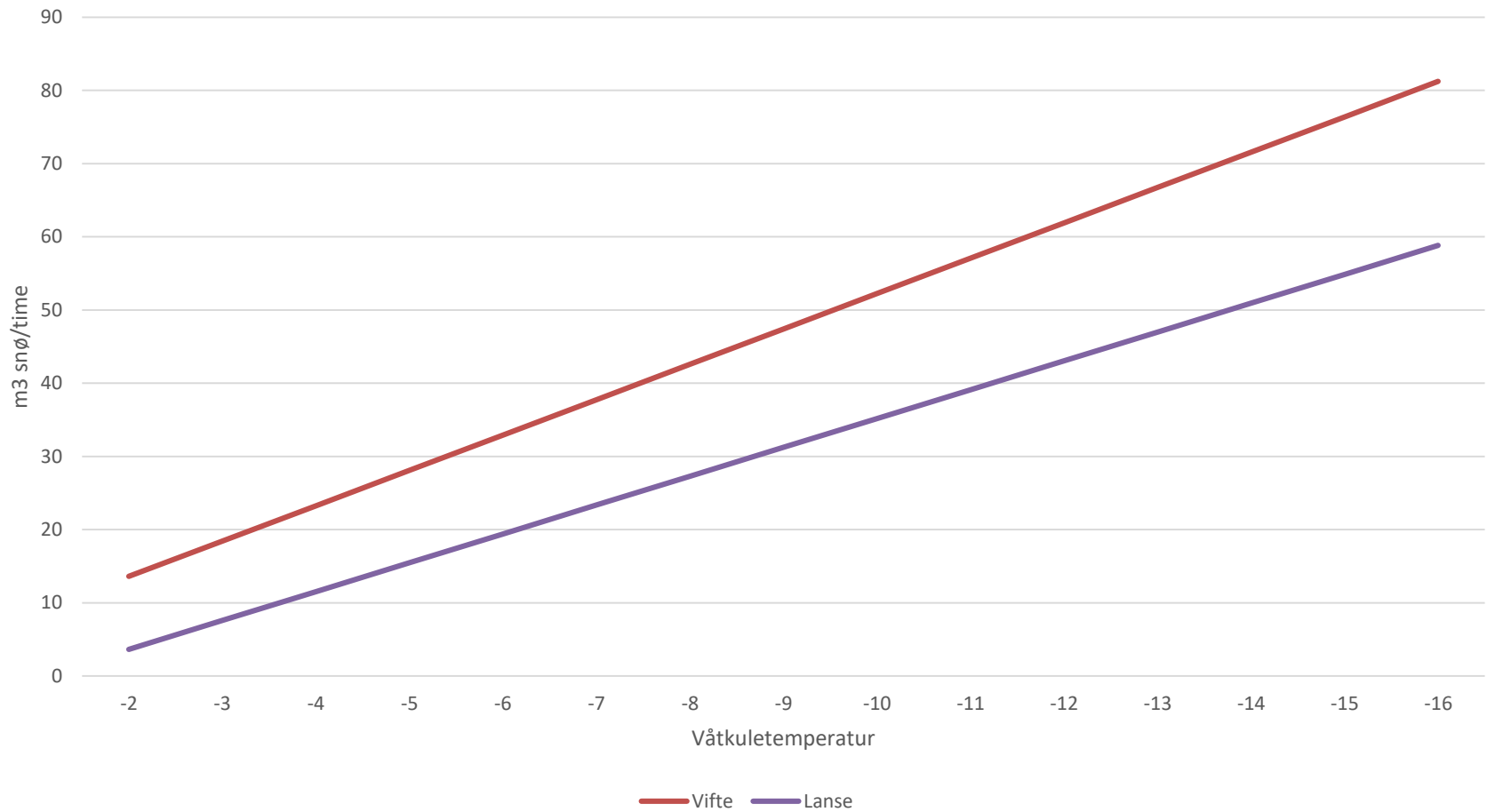
To hovedtyper snøkanoner

- **Lanser**

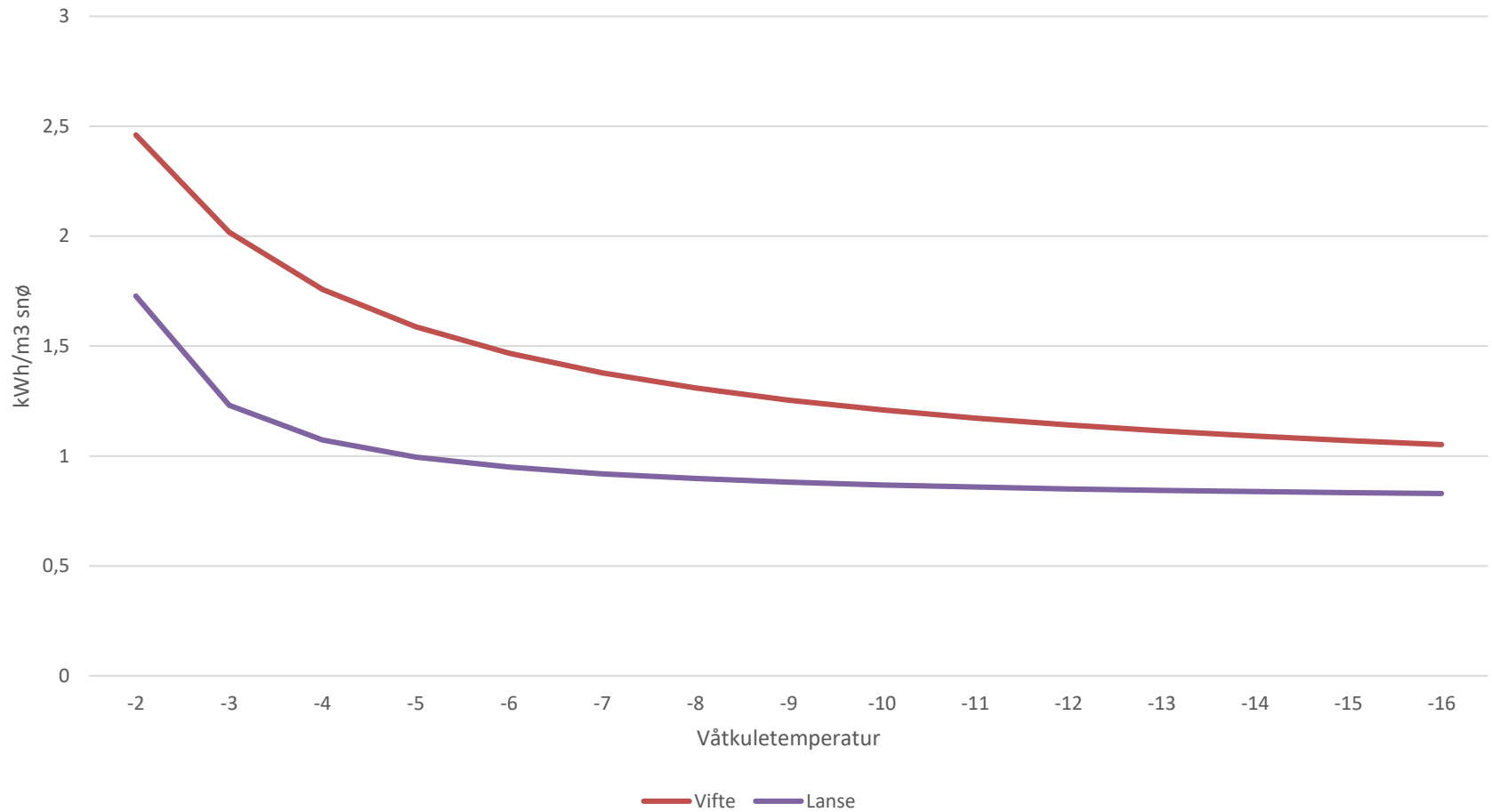
- Mest energieffektive
- Mindre støy
- Ikke nødvendig med elektrisitet
- Krever tilførsel av trykkluft – sentral kompressorstasjon
- Ca. halvert pris
- Ideelt til smalere løyper (langrenn)



Produksjonspotensial



Energieffektivitet

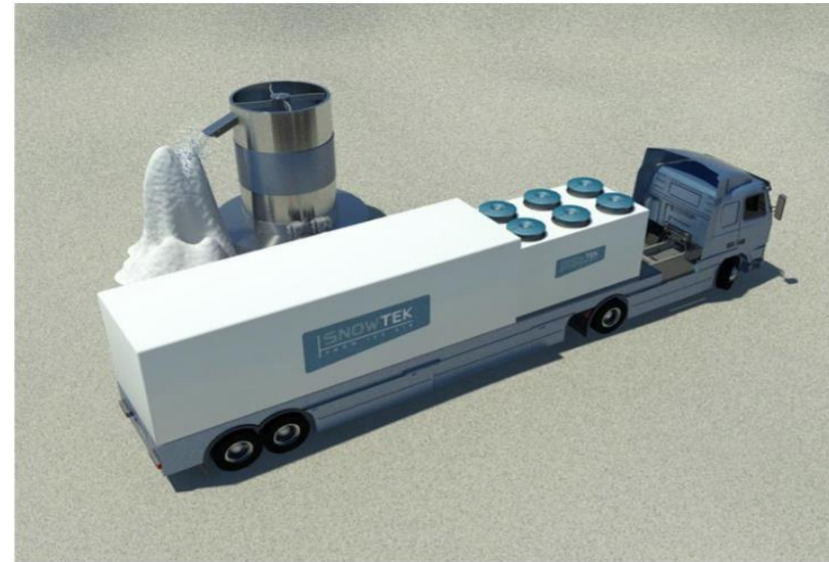


Produksjonspotensial, Granåsen 2006-16

Oppstartstemperatur (våtkuletemp.)	-2	-5	-7
Dager med mulighet for snøproduksjon	45	27	19
Produksjonspotensial, lanse (PPL)	24.000 m ³	20.000 m ³	16.000 m ³
PPL verste år (2008)	9.500 m ³	3.000 m ³	1.000 m ³
Produksjonspotensial, vifte (PPF)	39.000 m ³	30.500 m ³	24.000 m ³
PPF verste år (2008)	19.000 m ³	5.000 m ³	2.000 m ³

Temperaturuavhengig snøproduksjon

- Kan lage snø uansett temperatur
- Modifiserte ismaskiner fra f.eks. fiskeindustrien
- Flakis eller «binærsnø» (slush)
- Høyt energiforbruk
- Lav produksjonskapasitet
- Muligheter for varmegjenvinning
- Snøkvalitet: svært grovkornet «påskesnø»



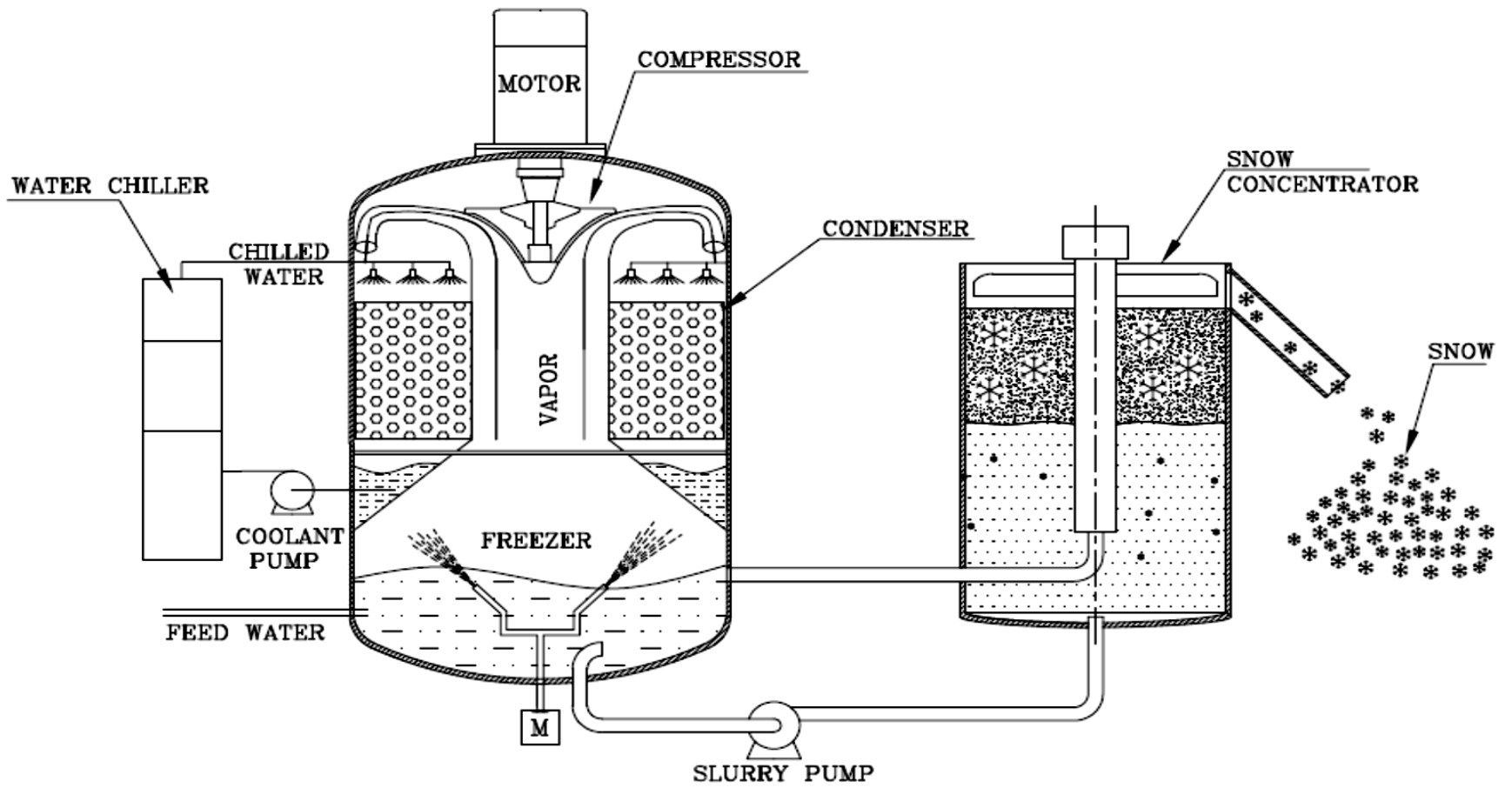
Snøkvalitet - flakis



Nylig produsert



Et par dager gammel



Sammenligning - eksempel

	Lanse	Vifte	Ismaskin
Produksjonskapasitet	375 m ³ /dag (ved -5)	660 m ³ /dag (ved -5)	220 m ³ /dag (ved +15)
Produksjonstid, (12.000 m ³ = 5 km)	32 dager	18 dager	60 dager
Energi per m ³	1-1,5 kWh/m ³	1-2 kWh/m ³	23 kWh/m ³
Totalt energiforbruk (12.000 m ³)	12.-18.000 kWh	12-24.000 kWh	273.600 kWh
Pris	190.000 NOK	450.000 NOK	6,5 mNOK

Snø når vi vil – hvor vi vil?

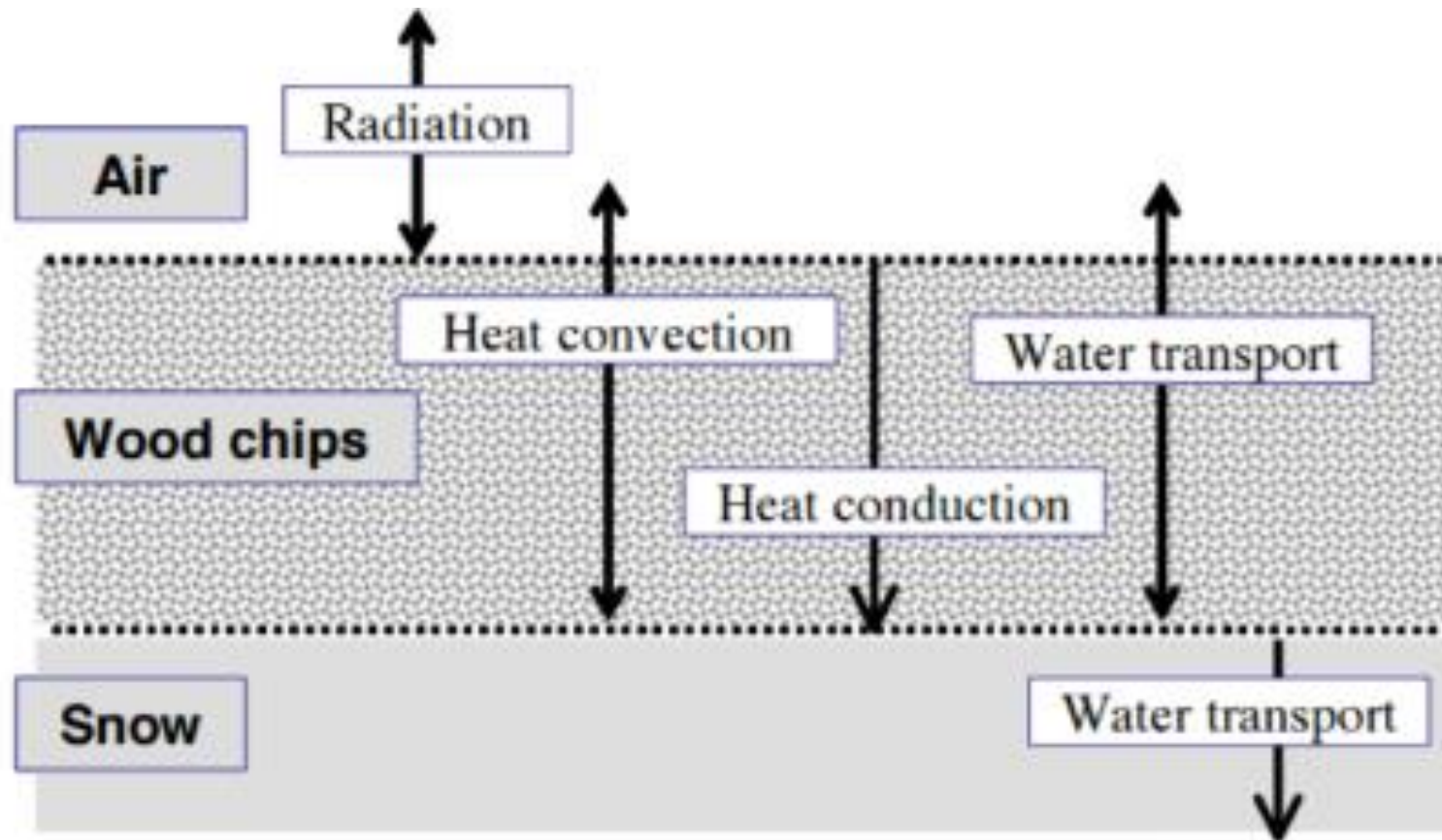


Snølagring

- Sikrer tidlig sesongstart, men snøen kan smelte raskt
- Dyr snø pga. distribusjon
- Store forskjeller i smelting, men over 15-20%
- Sagflis vs. duk
- Beitostølen, Ramsau, Tryvann, Granåsen, Kitzbuhel, Canmore, Oppdal, Sjusjøen, Trysil, Østersund, Davos, Val Martello,++
- Spørreundersøkelse
 - SLF Davos + NTNU SIAT



Energi- og massebalanse i sagflis



Logistikk

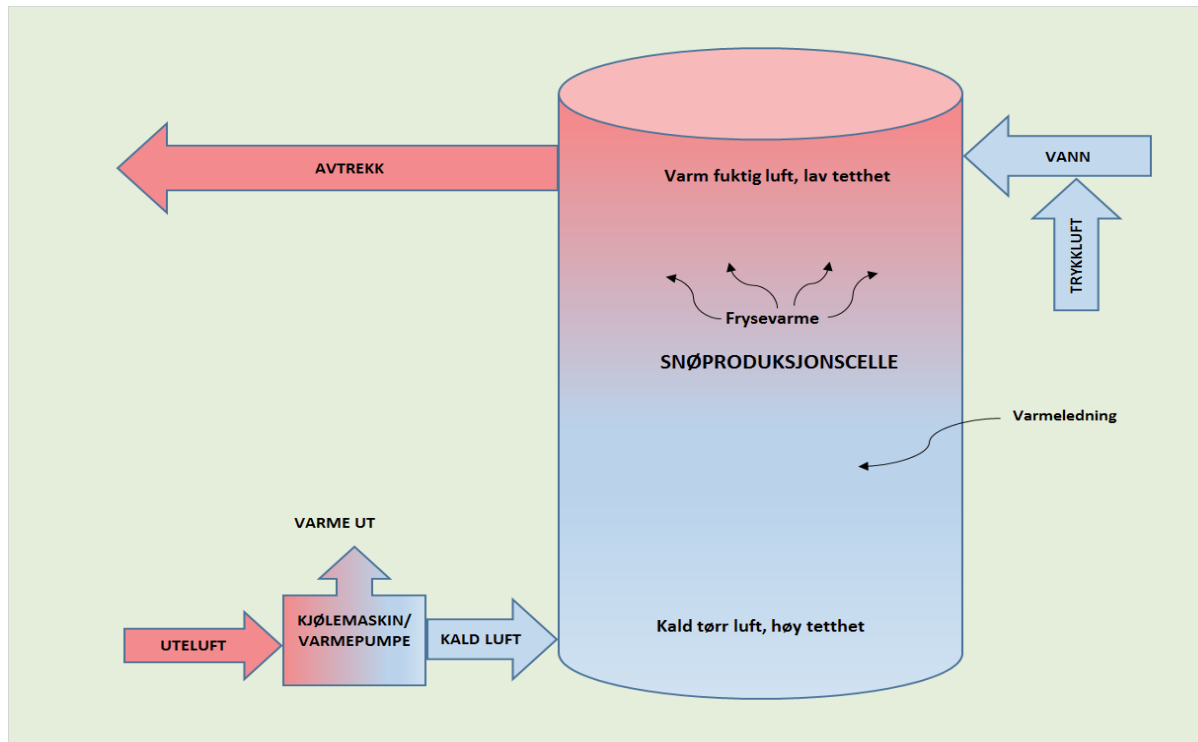
	Tildekning	Snøproduksjon	Distribusjon	SUM
Kostnad per m3 snø	4 NOK/m3	1-2 NOK/m3	54,5 NOK/m3	Ca. 60 NOK/m3

- Basert på 900 maskintimer, Granåsen 2015



Innendørs snøproduksjon

- Energiforbruk på nivå med temperaturuavhengig snøproduksjon



Varmegjenvinning?

- Kan utnytte overskuddsenergi ved temperaturuavhengig snøproduksjon/ innendørs snøproduksjon
- Eksempel: $740 \text{ kW} \times 60 \text{ dager} = 1 \text{ GWh}$
- Hvor mange anlegg har et slikt varmebehov i nærheten?
- Sesongbetinget!
- Høye investeringskostnader

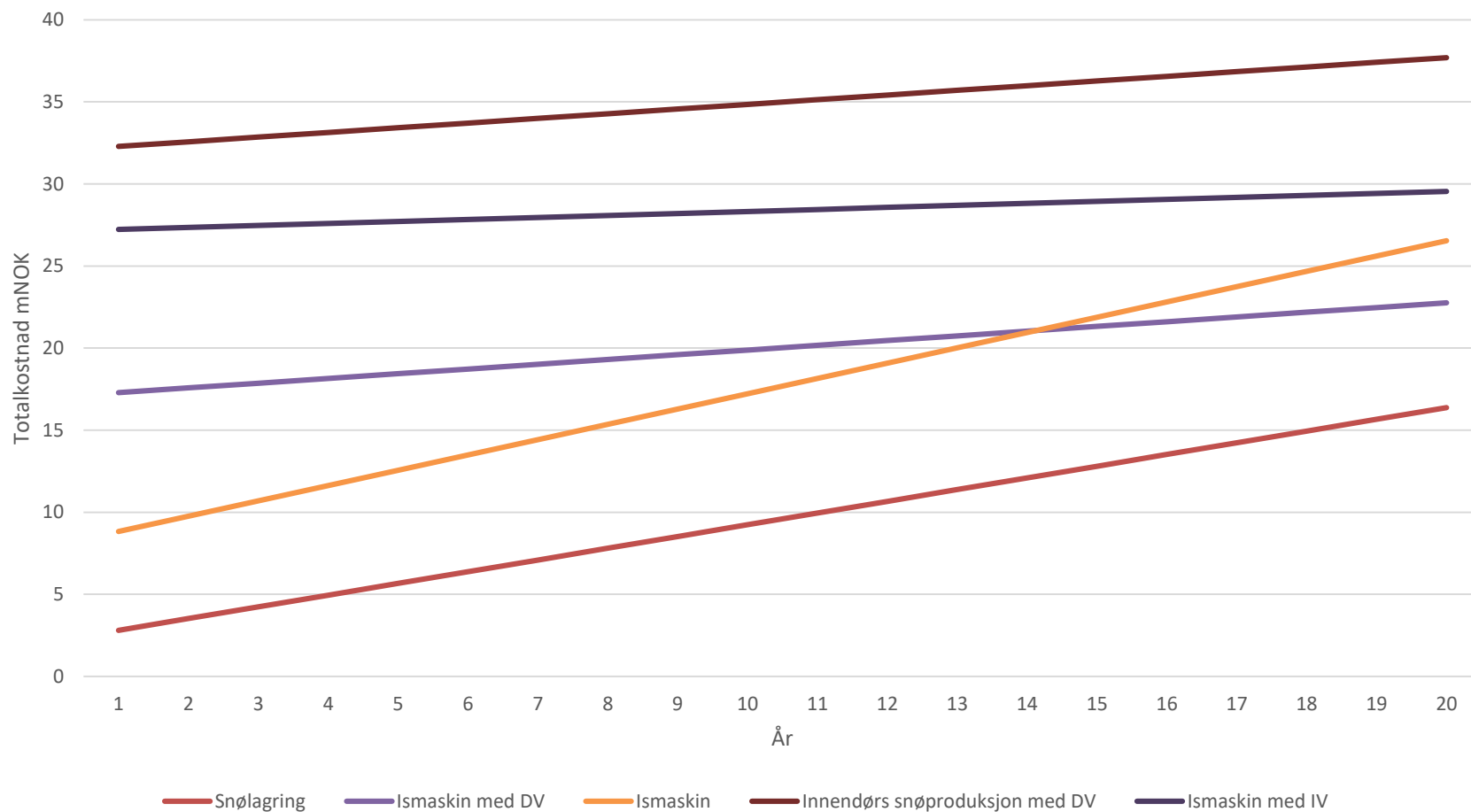
Når er skisesesongen?



Masteroppgave - Case

- Case A: Snølagring
- Case B: Temperaturuavhengig snøproduksjon med direkte varmegjenvinning
- Case C: Innendørs snøproduksjon med direkte varmegjenvinning
- Case D: Temperaturuavhengig snøproduksjon med indirekte varmegjenvinning

Resultater



DV= direkte varmegjenvinning
IV = indirekte varmegjenvinning

Oppsummering

- Når skal vi ha snø?
- Vann
- Vind
- Automatisering – utnytte kuldeperioder
- Logistikk – det er lettere å flytte vann enn snø
- Det er forskjell på lanser/vifter i pris og kvalitet
- Fastmontering/flytting?
- Høyere lanser gir mer falltid, men er med vindutsatt
- Lenge tønne – økt kastelengde, men høyere energiforbruk og mer støy
- Flere dyser – flere reguleringsmuligheter
- Frost
- Tørking av nyprodusert snø
- Dugnad
- Vedlikehold

