

Veileder for snølagring



Rapport av

Sondre Bergtun Auganæs, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet og Erik Melin
Söderström, Peak Innovation

For prosjektet SNÖRIK høsten 2020

Innhold

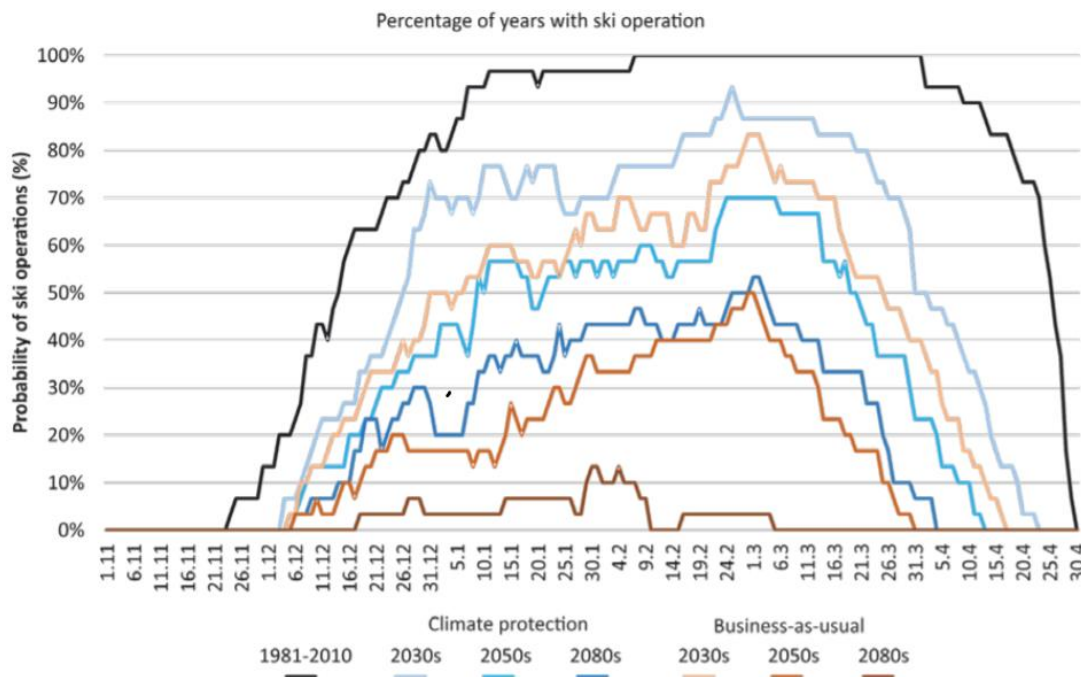
Innledning	3
Faktorer som påvirker volumreduksjon	5
Temperatur	5
Sol og skygge	5
Vind	5
Formen på snølageret	5
Totalt volum	6
Isoleringsmateriale - tykkelse og alder	6
Antall dager med lagring	9
Tetthet på snøen	9
Målinger av snølager	10
Prosessten	11
1. Planlegging	11
2. Infrastruktur	11
3. Snøproduksjon	12
4. Forming og tildekking	13
5. Lagringsperioden	15
6. Avdekking	15
7. Utkjøring og preparering	16
8. Lagring av dekkematerialet	18
9. Islager i botten av snøhögen	18
10. Lagring av snølager i två år	19
Kostnader	19
Duk eller sagflis	20
Optimalisering av flistykkelse basert på kostnader	21
Referanser	23

Innledning

Teknikken med å lagre snø over sommeren for bruk til vintersport er relativt ny. På grunn av global oppvarming har milde vintre gjort naturlige snøforhold mer usikre. Større temperaturvariasjoner, spesielt tidlig i sesongen, gjør det vanskelig for skianlegg å planlegge åpning av løypene (Gildestad, Dannevig, Stieger, & Aall, 2017). Som vist i Figur 1 vil også sannsynligheten for å stå eller gå på ski med naturlig snø minske i fremtiden.

Hovedgrunnen til å starte med snølagring er sikkerheten det gir for å åpne løypene til en gitt dato. For noen anlegg kan dette være med på å sikre større arrangement, for andre kan en tidlig åpning gi økt tiltrekningskraft for hyttefolk, løpere og idrettslag som ønsker å gå på ski. Snølagring blir ofte sammenlignet med snøproduksjon, noe som ikke gir et riktig bilde av problemstillingen. For å åpne løypene med snøproduksjon trenger en temperaturer under -3 grader sammenhengende i en uke med 3 viftekanoner for å kunne produsere nok snø til 3 kilometer løype. Det er ikke sikkert en får slike kuldeperioder før i januar. Denne usikkerheten med snøproduksjon er grunnen til at snølagring kan benyttes for å gi en snøgaranti.

På grunn av et stigende antall av snølager i Skandinavia, trengs det mer kunnskap om optimal utforming, dekkematerialer og hvordan de metrologiske parameterne påvirker snølagring. Dette kan hjelpe anlegg med planlegging og implementering av bedre løsninger.



Figur 1: Viser sannsynligheten for at det er forhold til å stå på ski i perioden 1. november til 30. april for norske skianlegg. Fargene på grafene representerer ulike klimascenarier i fremtiden. Skiforhold er definert som et lag med 40 cm snø (Gildestad et al., 2017).

Det finnes i dag flere ulike alternativer for å sikre seg skiforhold, når natursnøen uteblir. Snøproduksjon er det mest vanlige, men er også avhengig av kuldegrader. Snølager og isfabrikk er mer temperatur uavhengige alternativer. I tabell 1 under har vi vurdert fordelene og ulempene ved de ulike alternativene, for å gi en generell sammenligning.

Hvert enkelt anlegg vil ha egne forutsetninger ut ifra sitt klima. Derfor bør de vurdere følgende parameterne for å gjøre seg opp en mening om hvilken strategi som passer for dem:

- Når trenger løypene å åpnes
- Hvor mye snø kreves
- Hvor skal snøen legges
- Hva er budsjettet
- Hvor mye personell har man tilgjengelig
- Hvor mye kan basere seg på dugnad osv.

	<i>Natursnø</i>	<i>Snøproduksjon</i>	<i>Snølager</i>	<i>Isfabrikk</i>
Sannsynlighet for skiforhold i desember (%)	10	Ca. 50	100	100
Snøsikkerhet	Lav	Middels	Høy	Høy
Pris for 5 km ferdigpreparert langrenn spor, 15 000 m³ snø (NOK)	0	200 000 ^A	830 000 ^B	1 175 833 ^C
Innkjøpskostnad (NOK)	0	Ca. 350 000 og oppover ^D	500 000 ^E	6 500 000 ^F
Tid å opprette spor tidlig i sesong (15 000 m³)	-	10 dager (med 2 kanoner i -5)	7-14 dager	45 dager (ved +15)
Snøkvalitet	Bra	Best	Middels	Dårlig

Tabell 1: Viser en oversikt over de ulike mulighetene en har for å oppnå skiforhold. A: Inkluderer kostnad for elektrisitet, peronalkostnader og avskrivning på 2 snøkanoner over 15 år. B: Kostand for hele snølagringsprosessen, inkludert snøproduksjon og avskrivning på 2 snøkanoner over 15 år, dekkemateriale flis med avskrivning over 5 år og utkjøring. C: Inkluderer elektrisitet, utkjøring av snø til sporet og avskrivning av Techno Alpine Snowfactory over 15 år. D: innkjøp av to av to viftekanoner, E: Innkjøp av to viftekanoner og 1 400 m³ flis F: Innkjøp av en Techno Alpine Snowfactory.

Faktorer som påvirker volumreduksjon

I dette kapittelet blir de faktorene som påvirker volumreduksjonen til et snølager over sommeren diskutert. Analyser av de målingene vi har gjort i prosjektet Snörik, samt data fra andre rapporter som Wolfsberger, Hansueli, and Schneebeli (2019) og (Grünwald, Wolfsberger, & Lehnig, 2017) danner grunnlaget. I tabell 2 kan en se resultatene fra de fleste anleggene vi har målt i prosjektet.

Temperatur

Ved bruk av flis har gjennomsnittstemperaturen gjennom lagringsperioden ikke så stor påvirkning på volumreduksjonen. Ved en grad høyere temperatur kan en regne med rundt 1-2 prosent mer smelting, ved en tykkelse av flis på 40 cm.

Sol og skygge

Ved bruk av flis ser vi at solpåvirkningen har liten effekt. Det har vist seg at reduksjon av snøen som vender mot nord er like lav som den som vender mot sør. Det betyr at skygge mot sør ikke trenger å være en avgjørende faktor ved plassering av haugen når en skal bruke flis.

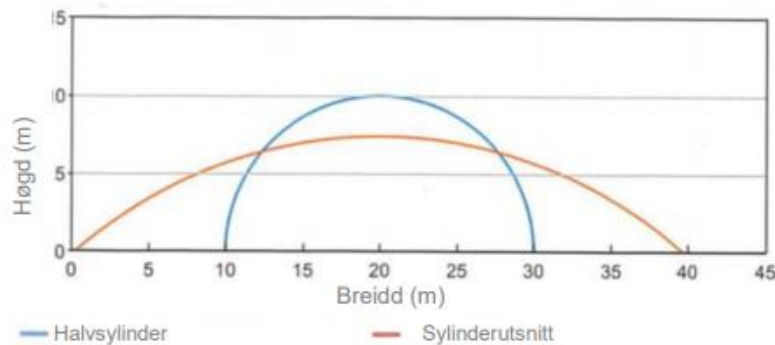
Ved bruk av en 4 år gammel geotekstil har vi sett en forskjell på 4 prosent på siden som er vendt mot sør sammenlignet med siden vendt mot nord, ved bruk av 2 lag geotekstil duk. Ved bruk av ett lag var forskjellen 8 prosent. En må anta at forskjellen vil være noe mindre for en ny duk som ikke er blitt skitten. Det tyder allikevel på at en bør unngå å plassere langsiden mot sør-nord, heller øst-vest. Eventuelt kan en legge et ekstra lag med duk eller ekstra mellomlag på siden som vender mot sør.

Vind

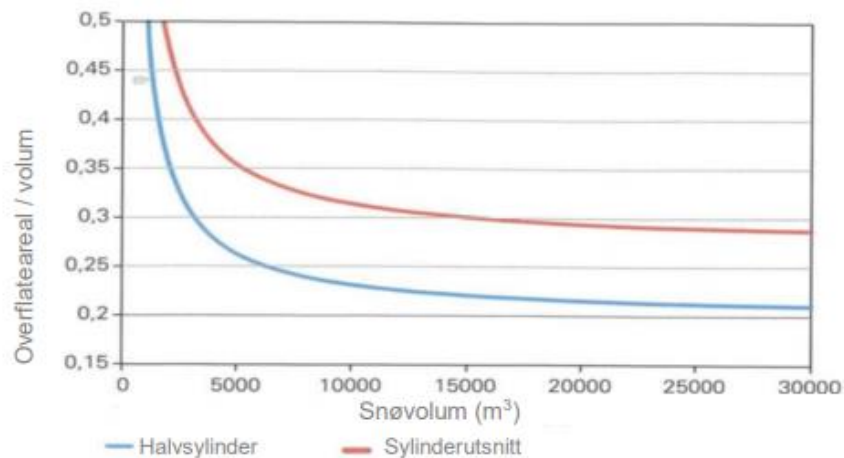
Vindhastigheten vil kunne øke varmeoverføringen fra lufta til snøen (økt turbulent flux). Grünwald et al. (2017) har vist gjennom teoretisk modellering at en tredobling av gjennomsnittlig vindstyrke fra 1 m/s til 3 m/s gir en økt smelting på 2,1 prosent.

Formen på snølageret

Den beste formen på snølageret har vist seg å være den som gir det minste overflatearealet. Det vil gjøre at mindre snø bli eksponert mot overflaten og påvirket av varmeoverføring gjennom sommeren. I teorien er ofte en halvkule/halvsylinder sett på som den ideelle formen. I praksis er det ikke mulig å ha så bratte kanter som 90 grader, da flisen ikke vil bli liggende. Et generelt råd er å streve mot å lage haugen relativt høy med bratte kanter. Vi anbefaler å ha en form som ligner mer på en halvsylinder enn på et sylinderutsnitt som vist i figur 2. Spesielt ved lagring med duk bør en etterstrebe å ha mer enn to meter tykkelse med snø, da det ellers kan smelte vekk helt.



Figur 2: Viser to forskjellige tverrsnitt av former på et snølager (Wolfsberger et al., 2019).



Figur 3: Viser hvordan formen påvirker overflatearealet på to hauger med samme volum (Wolfsberger et al., 2019).

Totalt volum

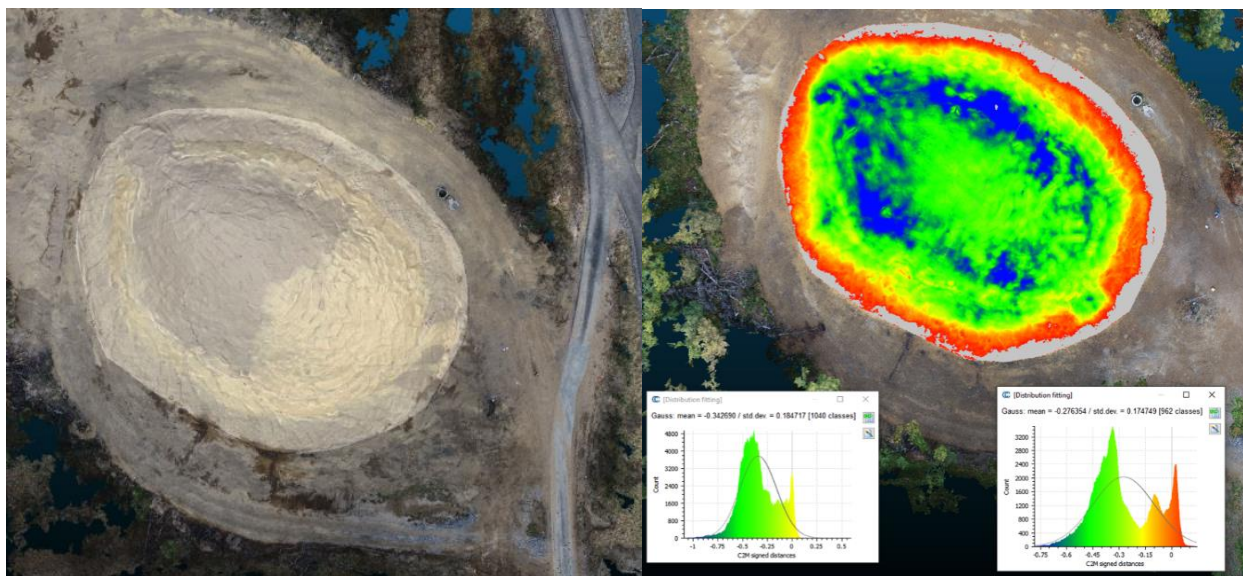
Vi har også sett at det totale volumet på lageret spiller en rolle i hvor stor reduksjonen blir. Med et stort volum vil mindre prosentvis andel av snøen bli eksponert mot overflaten. Med andre ord vil forholdet mellom overflateareal og volum være mindre sammenlignet med et lager med lite volum. Dette er illustrert i figur 3 over. Derfor er det ofte anbefalt å ha et volum over 5000 m³.

Isoleringsmateriale - tykkelse og alder

Kutterflis og/eller bark er de mest vanlige dekkematerialene, da disse har vist seg å være veldig effektive til isolering av snø/is. Volumreduksjonen av snøen ved bruk av flis ligger vanligvis

mellom 10-25 prosent. Anbefalt tykkelse på laget med flis har før vært 40 cm. Vi har gjennom vår økonomiske modell funnet at den optimale tykkelsen med tanke på kostnader ofte er rundt 30 cm. Det vil variere noe ut ifra lokalt klima under snøproduksjonen og hvilken innkjøpspris en får på flisen. I mange tilfeller er det billigere å produsere mer snø enn å kjøpe inn et tykkere lag med flis.

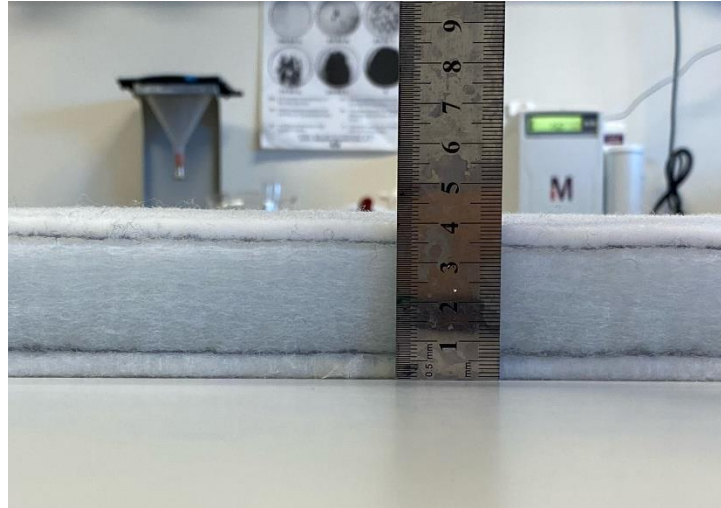
Flisen vil også over tid tape seg da den kan blir mer svart i fargen og bli mer mettet av vann. Det fører til mer absorpsjon av solenergi og mindre transport av vann fra den smeltende snøen. Fra felttester i Vålådalen har vi estimert at flisen taper sin isoleringsevne med rundt **3 prosent per år** samelignet med ny, se Figur 4. En vanlig strategi er å gjenbruke flisen 3-5 år, eller fylle på 10-20 prosent ny flis hvert år.



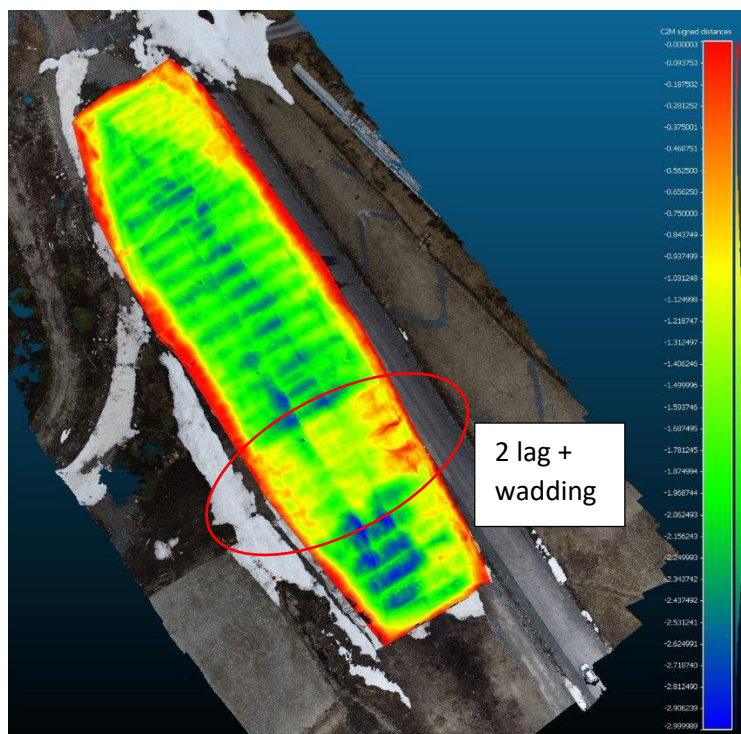
Figur 4: Viser til venstre et snølager i Vålådalen med 3-5 år gammel flis (mørkt område) og det lyse området ny flis. Bildet til høyre viser høydereduksjonen gjennom sesongen. De blå områdene har smeltet mest i løpet av sesongen. Her kan en tydelig se at området med gammel flis har smeltet 0,34 m, mens området med ny flis har smeltet 0,27 m.

I 2020 gjorde vi flere interessante funn fra tester av geotekstil i Idrefjäll. Testene ble gjort med 4 år gammel Geosyntia Coverice 500 og Geosyntia wadding (lett og luftig polstringsduk, se Figur 5). Det er rimelig å anta noe bedre resultater for en helt ny duk som vil ha en hvitere farge enn dukene det ble gjort tester med. Forskjellen mellom 2 lag coverice og 2 lag coverice pluss wadding er illustrert i Figur 6. Følgende resultater har vi sett fra våre tester:

1. For et lag var reduksjonen rundt 60-70 prosent.
2. For to lag var reduksjonen rundt 40-50 prosent.
3. For tre lag, (coverice + wadding + coverice) var reduksjonen 30 prosent.



Figur 5: Viser oppsett av 3 lag med duk. Fra toppen Geosyntia coverice 500, midten Geosyntia wadding og Geosyntia coverice 500 i bunn.



Figur 6: Viser forskjellen i smelting på 2 lag + wadding mot bare 2 lag geotekstil. Området med wadding er ringet rundt og har minsket -1,17 m i gjennomsnitt, mot -1,84 m for resten av haugen med 2 lag geotekstil.

Antall dager med lagring

Antall dager med lagring vil også ha noe å si for den totale volumreduksjonen. Hvor mange dager en lagrer snøen under isoleringsmaterial varierer fra anlegg til anlegg. Vanligvis tildekkes haugene i slutten av april/mai, og dekkes av i oktober/november. Et anlegg med kaldt klima som lagrer 50 dager kortere enn et anlegg med mildere klima, vil naturligvis oppleve en mindre total reduksjon. Derfor er den beste måten å sammenligne snølager på å se på prosentuet snøtap per dag lagring.

Tetthet på snøen

Hvilken tetthet snøen blir produsert på vil også påvirke hvor mye volumet reduseres gjennom sommeren. Som eksempel ligger produsert snø rundt en tetthet på 400 kg/m³. Ved tildekking om våren er den rundt 500-600 kg/m³ og ved utlegging om høsten har tester vist at den kan variere fra 550-700 kg/m³. I Granåsen 2018 tok vi prøver av snøen 20 cm under overflaten og så en økning fra 636 kg/m³ i mai til 681 kg/m³ i november. Denne økningen i tetthet tilsvarer en volumreduksjon på 5 prosent. Grünewald et al. (2017) i Davos rapporterte til sammenligning en utgangstetthet på 555 kg/m³ og en tetthetsøkning på 9 prosent gjennom sesongen. Det tyder på at opptil 5-9 prosent av volumtapet kommer av en økning i tettheten til snøen.

Det har ikke blitt gjennomført tetthetsmålinger på snøen under geotekstil enda, men flere har rapportert mer isete snø på grunn av mer smelting. Dette tyder på at tetthetøkningen vil være enda større her. Det kan være noe av grunnen til at en ser større volumreduksjon på hauger med duk. Den høye tettheten er noe av det som gjør lagret snø motstandsdyktig mot regn og varmt vær (det trengs mer energi for å smelte den).

Målinger av snølager

Plass og år	Dekkemateriale, tykkelse	Volum (m ³)	Overfalte / Volum (m ⁻¹)	Temperatur i måleperiode	Snø tap (%)	Snø tap per dag (%/dag)
Granåsen 2020	Sagflis, 44 cm	29267	0,216	9,87	17,4	0,092
2019	Sagflis, 44 cm	23481	0,234	9,26	20,3	0,099
2018	Sagflis, 46 cm	30055	0,208	11,4	18,5	0,099
2017	Sagflis, 45 cm	18122	0,277	12,84	20,5	0,138
2016	Sagflis, 46 cm	18300	0,274	12,18	24,7	0,131
Beitostølen 2016	Sagflis, -	29677	0,254	-	10,3	0,131
Östersund 2020 P1	Sagflis 45 cm	39897	0,239	11,61	14,6	0,091
P2 2020	Sagflis, 50 cm	30526	0,255		15,7	0,098
P1 2019	Sagflis, 54 cm	38435	0,245	11,64	16,7	0,091
P2 2019	Sagflis, 47 cm	38271	0,240		14,0	0,076
P1 2018	Sagflis, 36 cm	42860	0,245	12,67	17,4	0,108
P2 2018	Sagflis, 42 cm	36715	0,232		15,5	0,096
Vålådalen P1 2020	Sagflis, 48 cm	6021	0,388	10,3	14,4	0,123
P2 2020	Sagflis, 52 cm	4413	0,451		14,2	0,121
P1 2019	Sagflis, 51 cm	5505	0,393	11,6	11,6	0,144
P2 2019	Sagflis, 53 cm	5031	0,371		11,6	0,144
P1 2018	Sagflis, 48 cm	5801	0,402	10,6	14,6	0,0971
P2 2018	Sagflis, 51 cm	4806	0,397		16,5	0,109
Idre 2020- Stadion	Duk, 2 lager*	22797	0,253	10,81	38,5	0,329
P2-bark	Bark, 58 cm	26432	0,265		17,1	0,124
P3 -vest	Duk, 1,5 lag	45710	0,232		47,6	0,402
P4-Nord toppen	Duk, 2 lag	50658	0,195		37,0	0,313
P5-Nord botten	Duk, 1 lag	30277	0,270		63,2	0,535
Buksvallarna 2020	Sagflis, 40 cm	19565	0,289	10,55	15,9	0,158
2016	Sagflis, 35 cm	21624	0,242	10,2	15,1	0,132
Åre 2018	Duk, 2 lag	9739	0,344	-	63,8	0,456
Oppdal 2016	Sagflis	6914	0,324	-	13	0,156
Dombås 2016	Flis	11970	0,250	-	8,37	0,103
Geilo 2016	Duk, 2 lag	20540	0,251	-	30,2	0,378

Tabell 2: Viser de ulike snølagrene vi har målt gjennom prosjektperioden i SNÖRIK. Der det står duk dreier det seg om Geosyntias Coverice 500. *deler av denne haugen var også dekket med et testområde wadding, hvilket reduserte smeltingen.

Prosessten

I denne delen beskriver vi de ulike stegene i prosessen med å gjennomføre snølagring. Det er viktig å begynne tidlig med å planlegge da flere steg er tids- og ressurskrevende. Det kan da hjelpe å vite hvilke ressurser en trenger og når en må utføre de ulike stegene gjennom sesongen. Kapitlet gir også et innblikk i hva som er beste praksis.

1. Planlegging

Det første en må vurdere i planleggingen av snølagring er hvilke krav som stilles til anlegget; når trenger løypene å åpnes, hvor mye snø kreves, hvor skal snøen legges, budsjett, personell osv.

Det neste steget er å planlegge selve snølagerplasseringen. For eksempel må et snølager på 20 000 m³ har en grunnflate på hele 5 000 m². Dette tilsvarer et åpent område som er 100 m langt og 50 m bredt. I tillegg må en ha plass til maskiner som skal komme til og eventuelt lagringsplass til flisen gjennom vinteren.

Siden den største kostnaden ved snølagring er transporten av snø til løypene, ser vi besparelser ved å plassere snølageret sentralt i løypenettet for å minske utkjøringsdistansen. Om en har et stort stadionområde som behøver mye snø er det ideelt å kunne plassere et snølager her, da en enkelt kan skyve ut snøen fra lageret med tråkkemaskiner. Eventuelt bør en også tenke på muligheten for å samle sammen snø fra løypenettet/stadion om våren direkte i et lager.

Mikroklima på snølagringsplassen er også noe en må vurdere. Gjennom våre målinger har vi sett at gjennomsnittstemperatur og solinnstråling har relativt liten påvirkning på smeltingen når en bruker flis som dekkematerial. Det betyr at skygge mot sør og lavere temperatur om sommeren ikke trenger å være en avgjørende faktor for plasseringen. En viktigere faktor er lave temperaturer under snøproduksjonen om vinteren.

2. Infrastruktur

Ofte brukes snøkanoner til å produsere snøen i lageret. Fordelen med kanoner er større produksjonskapasitet og lengre kastlengde. Det er også en fordel at de ikke trenger rør til trykkluft. De trenger igjen strømuttak, som en kan slippe med en lanse. Lanser er også mer energieffektive enn kanoner. Ofte trenger en noe færre snøkanoner og pumpekapasitet for snølagring hvis en kan fordele produksjonen over hele sesongen istedenfor å produsere på kort tid på høsten dersom man ikke har snølagring.

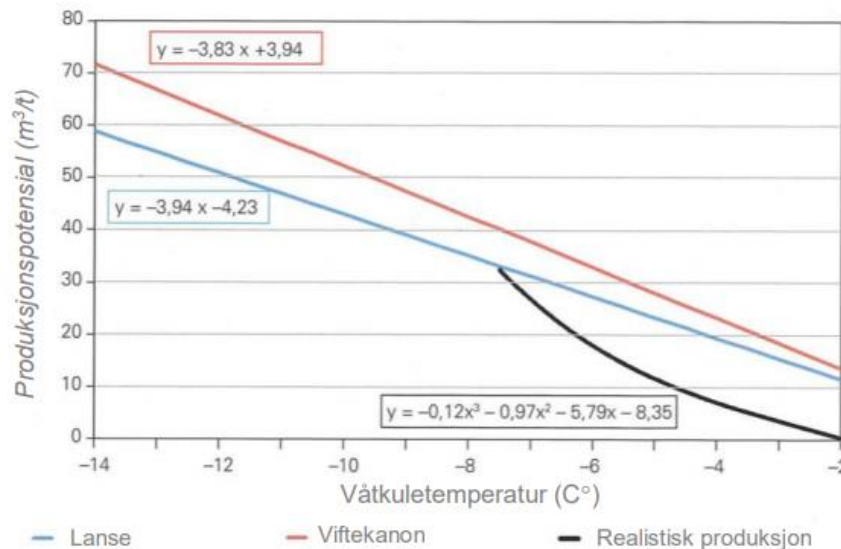
Det er anbefalt å pakke flaten der snøen skal ligge, og den bør være godt drenert, slik at ikke vann blir igjen i snøen, eller at snøen synker ned i våt mark. Løyper og stadion må tåle trykk fra lastebiler uten å bli ødelagt. Dette krever store investeringer. Alternativet er traktor eller rørsystemer.

3. Snøproduksjon

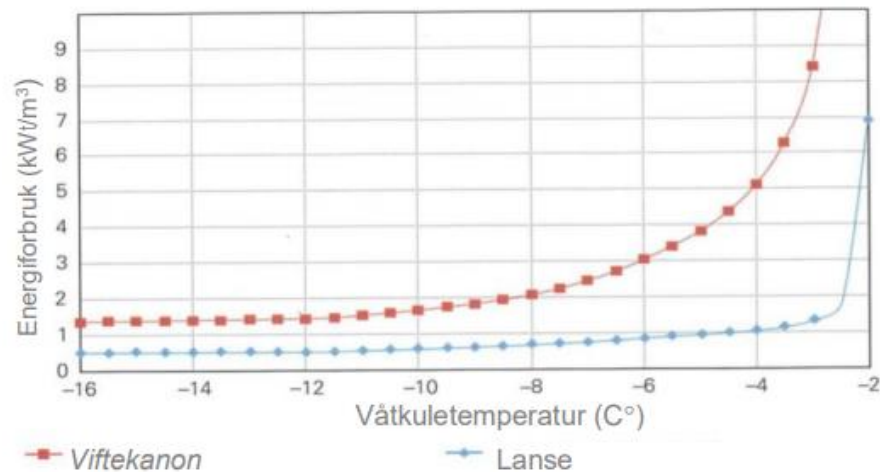
Når alt er planlagt og infrastruktur er på plass blir det neste steget i prosessen å produsere snø. Det kan være lurt å ha en oversikt over hvor lang tid det vil ta å produsere den mengden med snø som en ønsker, med utstyret en har tilgjengelig. For et anlegg som ønsker 20 000 m³ snø og benytter 2 viftekanoner i -5 °C, vil dette ta ca. 273 timer å produsere.

$$\text{Timer snøproduksjon} = \frac{\text{Ønsket snøvolum}}{\text{kapasitet per kanon eller lanse} * \text{antall}}$$

Snøproduksjon ved lave temperaturer og lav luftfuktighet gir mer effektiv produksjon. En vil da kunne produsere mer snø per tidsenhet, som illustrert i Figur 7. Energiforbruket til en snøkanon er omtrent konstant, men energiforbruk per kubikk produsert snø reduseres under kalde temperaturer da en kan slå på mer vann. En får da mer snø per kwh energi, som illustrert i Figur 8. Mer effektiv produksjon vil også gi kortere tid for personell å være til stede for å overvåke snøproduksjonen. Om det også er et effektledd på strømprisen bør en sjekke hvor mange snøkanoner en kan kjøre samtidig for å unngå store effektopper som en må betale ekstra for. Disse satsene varierer for ulike kraftselskap.



Figur 7: Viser hvordan snøproduksjonspotensialet avhenger av våtkuletemperaturen. Det er antatt en konstant tetthet på 400 kg/m³. Den svarte linjen representerer en realistisk potensial når en vurderer tap på 10-20 prosent under produksjonen, ved økt avrenning og tetthet i marginale temperaturer (Wolfsberger et al., 2019)



Figur 8: Viser energiforbruk per kubikk produsert snø (kWh/m³) ved ulike våtkuletemperaturer. Eksempelet er tatt fra en Demacenko Titan 2.0 og en Bächler Sno Tek lanse (Wolfsberger et al., 2019).

4. Forming og tildekking

Når man har produsert ønsket mengde snø bør haugen formes og komprimeres ved hjelp av tråkkemaskin og eventuelt en gravemaskin. Diskutert i delkapittel «Formen på snølageret» bør kantene være relativt bratte for å oppnå et lavere overflateareal, men ikke så bratt at dekkmaterialet ikke blir liggende. Dette er kun et problem for flis og kan utbedres ved å legge litt ekstra flis rundt kanten på haugen som en stopper for flisene ovenfor, slik at disse ikke sklir ned. Da er det mulig å ha noe brattere kanter nærmest bakken.

Ved tildekking med flis bør en prøve å legge laget så jevnt som mulig, slik at ikke noen områder får med smelting enn andre. Da kan det oppstå sprekker i flislaget, som igjen fører til mer smelting. Som beskrevet over vil et lag på rundt 30 cm i mange tilfeller være det mest kostnadseffektive, da du bare vil oppnå en forbedring på 3-4 prosent med å legge et lag som er 40 cm. Jo dyrere pris for flis, og mindre kostnad for snøproduksjonen og kaldere klima i lagringsperioden, jo mindre tykkelse på flislaget bør en ha.

Ved tildekking med duk er det generelt mer arbeidskraft som trengs sammenlignet med tildekking med flis. De mest brukte dukene er Coverice 500, som lages i ruller som måler 6 ganger 50 meter og veier 150 kr da de er tørre. Idrefjäll og Fonnafjellet har spesiallaget jernrør for å pakke opp dukene på, samt et passende aggregat for å montere på gravemaskin, hvilket gjør at en kan få hjelp til å rulle ut dukene av hydrauliken på gravemaskinen, som vist i figur 9. Dukene kan settes sammen med tykke borrelås og det kan være nødvendig å legge vekter på dukene rundt haugen for å unngå at den blåser bort. En bør legge dukene med så lite overlapp

som mulig for å minske ujevn smelting som følger av overlapp. Det vil være en forskjell i smelting der det er ett lag duk sammenlignet med der det er to lag duk (overlappen), slik at snøhaugen ser kulete ut og vann samles i fordypningene mellom kulene, hvilket øker smeltingen i snøen, se Figur 10 og 11. Dette fenomenet er mindre med to lag duk og enda mindre med wadding som mellomlag. Levetiden til dukene er minst 5 år (basert på bruk i Idre fjäll). Når dukene blir skitne og mørkere, tiltrekker de seg mer solenergi og smeltingen øker sammenlignet med en ren eller ny duk. Derfor kan det være lønnsomt å vaske meget skitne duker slik at de kan brukes lengre.



Figur 9: Viser pålegging av duk i Idrefjäll.



Figur 10: Viser en haug i Idrefjäll med to lag geotekstil til høyre og to lager geotekstil med wadding mellom fra midten og til siste fjerdedel begynner. Man kan tydelig se at snølaget er høyere der waddingen ligger, samt kuler på snøhaugen som har dannets pga. overlappende duker.



Figur 11: Viser smeltehull fra dryppende vann, pga. kulene i snøhaugen grunnet ujevn smelting. Hullet går helt ned til bunn av haugen.

5. Lagringsperioden

Ved ujevn smelting kan det danne seg sprekker i flisen gjennom sommeren, det kan da være lurt å gå over disse områdene med en rake for å jevne ut.

Hvis det er meget tørt i flere uker midt på sommeren juni-august kan det lønne seg å vanne haugen, da det fordampede vannet vil kjøle flisen og også snøen.

Når det kommer til lagring under duk, må man kontrollere haugen på sommeren da det finnes en risiko at vinden årsaker glipper og skader i duken. Dette bør unngås da snø som ikke er tildekket smelter meget fort.

6. Avdekking

Avdekkingen blir vanligvis gjort ved hjelp av en gravemaskin som skrapper av flisen ned til kanten rundt haugen. Erfarne gravemaskinførere klarer dette uten å skrape vekk særlig med snø. Det er viktig å få med det meste av flisen, ellers vil denne bli med ut i sporet og fungere som rusk i løypa når denne prepareres av løypemaskinene. Figur 12 illustrerer hvordan dette kan gjøres.

Når det kommer til avdekking av duk er tilnærmingen lignende som da man dekker til haugen, men at man ruller opp duken på jernrørene. Når dukene skal rulles inn på høsten er de våte og veier ofte dobbelt så mye. For å transportere dukene kan det være lurt å lage såkalte dukstativ (se figur 13) for å få med seg alle ruller samtidig. Man bør ikke vent for lange med å fjerne

dukene, da de lett fryser fast ved minusgrader og snøfall, hvilket gjør avdekkingen meget tidskrevende samt at man risikerer å rive sønder dukene.



Figur 12: Viservvdekking av flis med gravemaskin.



Figur 13: Viser dukstativ som gjør at flere ruller duk kan transporteres av en traktor.

7. Utkjøring og preparering

En logistikkplan bør utarbeides for best mulig tidsbruk av ressursene. Hvor mange lastebiler en trenger for kontinuerlig kjøring kan finnes ved å estimere lastetid og kjøretid for en bil. Ofte brukes en gravemaskin til å rive og knuse snø fra lageret og en hjullaster til å laste på bilene,

som vist i Figur 14. Det er best å kjøre ut snøen når den er våt, krosse og pakke snoen nøye slik at det blir en hard og kompakt snø, uten luftlommer, som klarer mye slitasje og smelting. Det er anbefalt å legge snøen i sporet med en tykkelse på rundt 30-60 cm. Et tykkere lag vil være mer motstandsdyktig mot mildere klima. Det er også anbefalt å pakke/jevne kantene på sporet med gravemaskin for å minske smeltingen av den utlagt snøen, som vist på Figur 15.



Figur 14: Viser utkjøring og lasting av snø på lastebil i Granåsen.



Figur 15: Viser utlegging og preparering av løyper i Granåsen.

8. Lagring av dekkematerialet

Mange anlegg lagrer flisen gjennom vinteren ved siden av haugen. Fordelen med dette er at en slipper store transportkostnader ved å flytte på flisen. Det negative er at det er lett å få klumper med is fra nedbør. Det fører igjen til store klumper med flis som er vanskelig å spre ut, og en får et ujevnt lag med flis. Når disse klumpene smelter dannes krater i flisen som gjør at vann kanaliseres på et og samme sted, hvilket gjør at snøen smelter i en traktformasjon under fliskrateret. I de traktformede hullene i snøen samles mye flis, som gjør det arbeidskrevende for gravemaskiner å få vekk disse, som vist i Figur 16. Alternativt kan det bli mye mer flis som kommer med ut i løypene. For å redusere isdanningen i flisen kan en fjerne snøen som legger seg på flislaget før det begynner å smelte på våren, eller dekke over flisen med duker. Noen har også rapportert at det kan gå varmgang i flislaget om det ikke er spredt utover et stort nok området.



Figur 16: Viser traktformede groper som har blitt fylt med flis, på grunn av isklumper i flisen.

9. Islager i bunn av snøhaugen

Når man har kjørt ut all snø fra snølageret kan man se at det ligger et islager der snølageret stod. Islageret dannes av at vann fryser i den kalle bunnen av lageret, som illustrert i figur 17. En teori er at mesteparten av islageret dannes da snøen produseres på snølageret og at ikke-frost vann i snøen renner ned gjennom haugen og fryser på bunn. Det har også blitt observert at isdannelse er mindre eller ikke-eksisterende i hauger som er samlet sammen, hvilket tyder på at islageret i hovedsak dannes ved produksjon og ikke under smelting sommerstid. Islageret kan være alt fra noen cm til en meter og kan derfor påvirke hvor mye snø man egentlig har tilgjengelig i slutten av lagringsperioden.

En snøhaug på 20 000 m³ har et bunnareal på 5 000 m² og hvis det er et islager på 0,5 meter mister man 5 000*0,5 m = 2 500 m³ snø pga. islageret. Ettersom islageret ikke smelter under vinteren vil det bli større og større for hvert år og må etter hvert fjernes. Det er en kostbar prosess som krever store maskiner. For å redusere isdannelse i bunn av snølageret bør man produsere mest mulig tørr snø til snølageret, samt bruke viftfunksjonen på snøkanonene hvis det er mulig, slik at mer vann rekker å fryse.



Figur 17: Viser et islag på rundt 0,5 m som har bygd seg opp i bunnen av snølageret i Östersund.

10. Lagring av snølager i to år

I Östersund ble en del av snølageret et år lagret enda ett år, da ikke all snø ble brukt. Dette ga mulighet for interessante observasjoner for hva som skjer med snø som lagres to år. Observasjoner og dokumentasjon fra snøhaugen viser at snøen har en annen kvalitet enn snø lagret et år. Den to år gamle snøen hadde noe større kornstørrelse (2-3 mm istedenfor 1-2 mm), det var dessuten store deler av ren is inne i snøen. Gravmaskinisten opplevde at snøen var hardere og krevde mer arbeid for å bearbeide enn ett år gammel snø. Oppsummert går det an å lagre snø i mer enn ett år, men snøen blir noe mer isete og krever litt mer arbeid fra gravmaskinist og tråkkmaskinist for å få til gode løyper.

Kostnader

I prosjektet SNÖRIK har vi utviklet en budsjetteringsmodell til snølager. Basert på ønsket mengde snø til utlegging regner modellen ut hvor mye snø som reduseres gjennom sommeren og dermed hvor mye snø som må produseres. En rekke innputtparametere som påvirker snøproduksjonen, volumreduksjonen og prosessen kan varieres for å se hvordan kostnadene endres. I figur 18 vises et utsnitt av modellen der vi tar utgangspunkt i et anlegg som skal ha igjen 15 000 m³ snø på høsten. Til venstre er feltene for input, mens til høyre vises mellomregninger. Her kan en for eksempel se at snømengden en må produsere er 18 397 m³ ved bruk av flis og 27 529 m³ ved bruk av 2 lag geotekstil. I Figur 18 ser en fordeling av kostnadene i prosessen. Som en ser, er de totale kostnadene store for et snølager. Her regner en med kostnaden for dugnadstimer. Om en gjør dette på dugnad i en klubb vil nok kostnadene bli betydelig mindre for snøproduksjon og utkjøring. For eksempel bruker Vålådalen totalt 300 000,- på å lagre rundt 10 000 m³.

Inputvariabler	Fyll inn under	Enhet
Løypelengde	5000	m
Bredde	5	m
Dybde	0,5	m
Stadionområde, lengde	50	m
Stadionområde, bredde	0	m
Sikkerhet, ekstra snø	20 %	
Snømengde slutt	15 000	m³
	15 000	
Inputvariabler	Fyll inn under	
Antall dager med snølagring	150	dager
Temperatur i lagringsperiode	10	C°
Antall lag med duk	2	lag
Tykkelse flis	0,3	meter
Form på snølager	Halvsylinder	
Antall anvedingsår flis	5	år
Antall anvedingsår duk	5	år
Tap av flis hvert år	15	%
Duk Coverice 500	22,5	NOK/m²
Pris sagflis	129	NOK/m³
Pris Velcro borrelås	22,5	NOK/lm
Pris CI sandsekk	34	NOK/stk
Antall viftekanoner	2	
Antall lanser	0	
Luftfuktighet	75	%
Lufttemperatur	-5	C°
Tetthet på produsert snø	450	kg/m³
Timelønn en arbeider	500	NOK/t
Antall arbeidere	2	
Hvor stor del av sin arbeidsdag bruker disse på snøproduksjon	50	%
Strømpris	1	NOK/kWh
Anleggstype for utkjøring	Langrenn	

Snølager	Flis	Duk	Enhet
Overflate areal / Volum	0,229	0,209	l/m
Prosent tap per dag	0,128	0,297	%/dag
Tap per dag	19,2	70,7	m³/da
Snømengd start	18 397,8	27 529,0	m³
Std.avvik, prosent volum tap per dag	0,018	0,075	%/da
Std.avvik volum tap per dag	3,3	20,7	m³/da
Std.avvik total volum	491,5	3 109,4	m³

Snøproduksjon			
Våtkuletemperatur	-	6,75	6,75 C°
Kapasitet kanon	36,55	36,55	m³/t
Kapasitet lanse	22,37	22,37	m³/t
Timer med snøproduksjon	251,66	376,56	timer
Energiforbruk	2,78	2,78	kWh/t

Tildekking			
Overflateareal	4 046,5	5 599,5	m²
Mengde flis	1 213,9		m³
Størrelse duk		11 198,9	m²
Antall duker		37,3	stk
Borrelås		1 866,5	m
Totalpris dekkemateriale	156 598,1	251 975,3	NOK

Figur 18: Viser alle inputparametere for anlegget som påvirker både smeltingen og kostnadene. Til høyre ser vi utregninger som viser total størrelse på haugen, snøproduksjon og mengde isoleringsmateriale.

Duk eller sagflis

Som vist over er sagflis i de fleste tilfeller mer lønnsomt enn duk. Det kan være lurt å vurdere duk i tilfeller der en ikke kan komme til med lastebiler med flis, hvor innkjøpsprisen for flis er veldig høy, eller der en ikke har mulighet til å mellomlagre flisen gjennom vinteren, men må kjøpe ny hvert år. Utvikling av nye dukmaterialer og kombinasjoner av duker pågår (blant annet i prosjektet SNÖRIK) og vi ser at det er pågang alternativer som er bedre enn de eksisterende dukene.

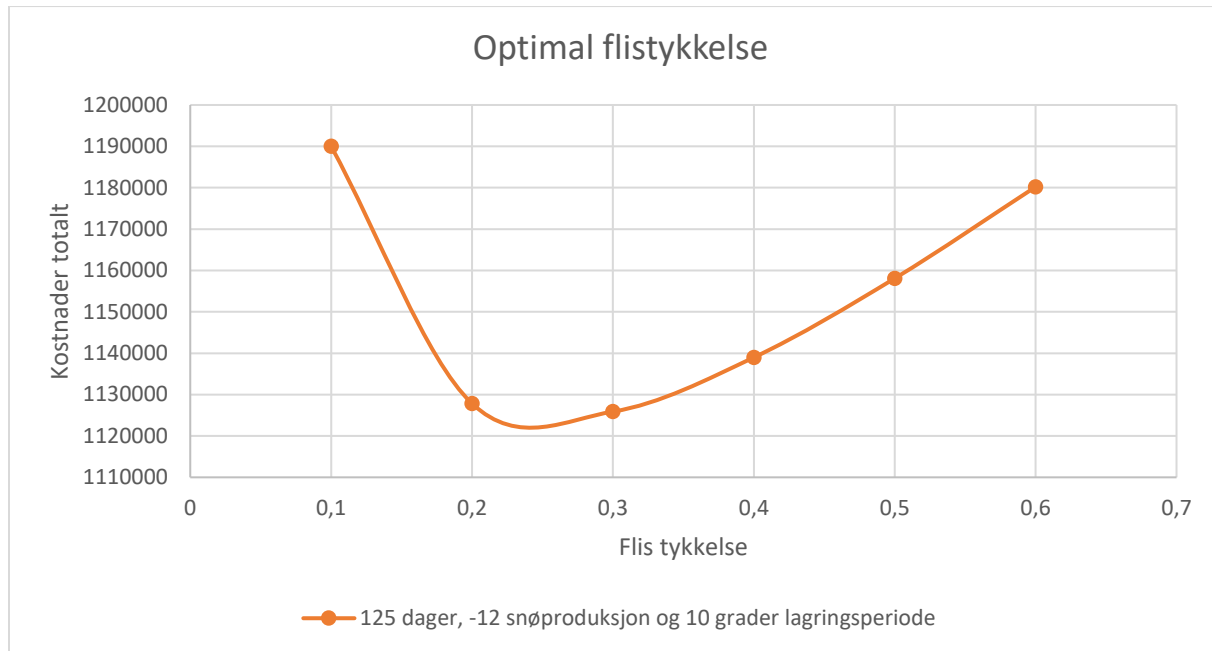
Som eksempel gjorde SNÖRIK tester med 2 lag coverice pluss wadding i Idre. Innkjøpskostnaden for wadding blir noe større siden en må kjøpe et ekstra lag, men på grunn av at det smelter mindre trenger en totalt litt mindre dekkemateriale og mindre snøproduksjon. Derfor vil wadding være mer lønnsomt sammenlignet med bruk av 2 lag coverice om en kan gjenbruke waddingen mer enn 2 år (antatt levetid på 10 år). I tabell 3 ser en sammenligning av kostnader for et snølager på 15 000 m³ og 5 års gjenbruk av isoleringsmaterialet.

	2 lag coverice	2 lag + wadding	Sagflis
Snø volum start (m ³)	27 529	23 835	18 397
Prosent tap snø per dag (%/dag)	0,297	0,209	0,128
Kostnad snøproduksjon (NOK)	264 816	229 281	200 312
Kostnad forming (NOK)	67 721,3	58 634	45 258
Tildekking m/isoleringsmaterial (NOK)	175 757	189 469	154 242
Kostnad avdekking (NOK)	55 350	55 350	78 900
Kostnad utkjøring (NOK)	352 500	352 500	352 500
Totalt kostnad (NOK)	<u>916 145</u>	<u>885 235</u>	<u>831 213</u>

Tabell 3: Viser forskjell i kostnadsfordeling på 2 lag geotekstil mot 2 lag geotekstil pluss wadding og sagflis.

Optimalisering av flistykkelse basert på kostnader

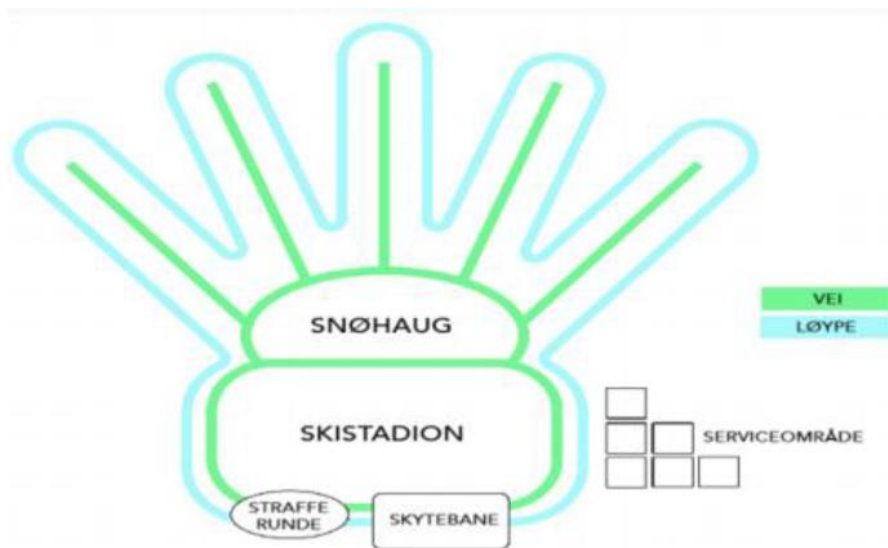
Et annet eksempel er hvordan vi brukte modellen til å finne den beste flistykkelsen for et anlegg med tanke på kostnader. Som vist i Figur 19 ligger den optimale tykkelsen rundt 25 cm for dette anlegget. Her er det billigere å produsere litt mer snø enn å ha over 40 cm med flis som ofte er anbefalt. Den optimale tykkelsen vil variere med innkjøpspris av dekkemateriale, kostnad på snøproduksjon, og klima under lagringsperioden. For eksempel vil et anlegg som produserer mesteparten av snøen i -4 istedenfor -12 ha en dyrere snøproduksjon og dermed vil den optimale tykkelsen på flisen heller ligge mellom 30 og 40 cm.



Figur 19: Optimal flistykkelse for et anlegg med gode snøproduksjonsforhold og kort lagringsperiode, basert på totale kostnader.

Design av skianlegg med tanke på snølagring

For at anlegg skal kunne drive en bærekraftig snøhåndtering er det viktig allerede i startfasen å se på hvordan en bør designe det for en mest effektiv transport av snø. Et design som illustrert i Figur 20 tilrettelegger for enkel distribusjon og preparering av snø. En har også mulighet til å høste snø fra løypenettet og dose den inn i snølagret på slutten av sesongen. En kan også se på muligheten for å ha flere små hauger spredt i løypenettet for å minske utkjøringsdistansen.



Figur 20: Viser et eksempel på hvordan et anlegg kan se ut for å minimere kostnadene for utkjøring av lagret snø.

Referanser

- Gildestad, I. M., Dannevig, H., Stieger, R., & Aall, C. (2017). *Konsekvensar av klimaendringar for norske skianlegg*. Retrieved from
- Grünewald, T., Wolfsberger, F., & Lehnig, M. (2017). Snow farming: conserving snow over the summer season.
- Wolfsberger, F., Hansueli, R., & Schneebeili, M. (2019). *Slope Preparation and Grooming*.