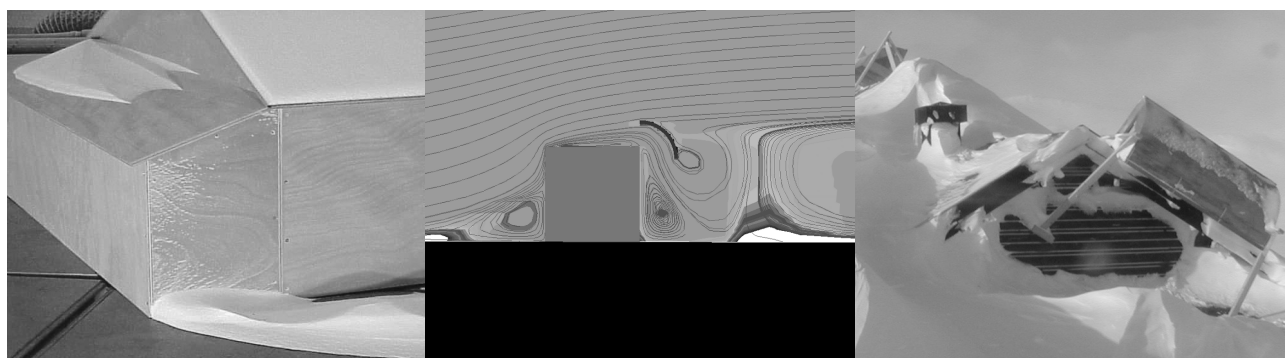


Thomas K. Thiis

Erfaringer med bruk av snøspylere til fjerning av snøfonner

Delrapport fra prosjekt 3 i FoU-programmet
«Klima 2000»



Prosjektrapport 348
Thomas K. Thiis
Erfaringer med bruk av snøspylere til fjerning av snøfonner
Delrapport fra prosjekt 3 i FoU-programmet «Klima 2000»

Emneord:
Snø, vind, snøspylere, klimatilpasning, bygning, tak, yttervegg,
snøskjermingstiltak, sikkerhet, feltundersøkelse, simulering,
vindtunnelforsøk

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0794-6

300 eks. trykt av
S.E. Thoresen as
Innmat:100 g Kymultra
Omslag: 200 g Cyclus

© Copyright Norges byggforskningsinstitutt 2003

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverkslovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med Norges byggforskningsinstitutt er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 55
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

Hovedsamarbeidspartnere

Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Husbanken, Statens bygningstekniske etat (BE), Norges forskningsråd, Finansnæringens Hovedorganisasjon (FNH), Statsbygg, Undervisningsbygg Oslo KF

Bransjepartnere

Selmer Skanska AS, Optiroc AS, A/S Rockwool, Brødr. Sunde as, Glava A/S, Jackon AS, Icopal as, Isola as, Protan A/S, Moelven ByggModul AS, Scandiaconsult AS, Interconsult ASA, Aadnesen as, Dr. Techn. Kristoffer Apeland A/S, Isolitt as, Vartdal Plastindustri AS, Løvolds Industri AS

Norske fagmiljøer

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Arkitektthøgskolen i Oslo (AHO), Høgskolen i Narvik, Det norske meteorologiske institutt (DNMI), Norges landbrukshøgskole (NLH), CICERO Senter for klima-forskning, Riksantikvaren, Norges byggstandardiseringsråd (NBR)

Bransjeforeninger

Byggenæringens Landsforening (BNL), Isolasjonsprodusentenes forening (IPF), Takprodusentenes forskningsgruppe (TPF), Boligprodusentenes Forening, Byggevarerindustriens forening, Norges byggmesterforbund, Ventilasjons- og blikkenslagerbedriftenes landsforbund (VBL), Plastindustrifondet (PIF)

Forord

Arbeidet i denne prosjektrapporten er utført innenfor prosjekt 3 *Snødrift og fonndannelse omkring bygninger og i terreng* i FoU-programmet *Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner*.

Programmets hovedmål er gjennom forskning og utvikling å oppdatere prinsipløsninger for konstruksjoner som både gir økt bestandighet mot og økt pålitelighet ved ytre klimapåkjenninger, samt kartlegge mulige virkninger av klimaendringer på det bygde miljø - og hvordan samfunnet best kan tilpasse seg endringene. Hensikten er å definere klarere kriterier og anvisninger for projektering og utførelse av kritiske konstruksjonsdetaljer, hovedsakelig knyttet til bygningers ytre klimaskjerm. Det skal i tillegg utvikles retningslinjer for hvordan de ulike aktører i plan- og byggeprosessen kan medvirke til å unngå at en bygning får skader eller ulemper som er forårsaket av fukt.

Programmet er et viktig ledd i arbeidet med utvikling og revisjon av anvisninger i Byggforskserien og produktdokumentasjon i form av tekniske godkjenninger og sertifiseringer. Programmet ledes av Norges byggforskningsinstitutt (NBI) og gjennomføres i samarbeid med Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Husbanken, Statsbygg, Finansnæringens Hovedorganisasjon (FNH), Undervisningsbygg Oslo KF, Statens bygningstekniske etat og Norges forskningsråd, samt andre fagmiljøer og sentrale aktører i BAE-sektoren. Programmet som ble igangsatt i august 2000, og vil pågå frem til utgangen av år 2006, består av 14 ulike prosjekter.

Denne rapporten presenterer resultater fra feltundersøkelser, vindtunnelforsøk og numerisk modellering av snøspylere til fjerning av snøfonner. Feltundersøkelsene er gjennomført vinteren 2002 ved Universitetet i Oslo (UiO) sin høyfjellsøkologisk forskningsstasjon på Finse. Deltagere i prosjektet har vært Kim Robert Lisø, Per Skare, Werner Øvretveit, Maik Wæber og forfatteren. Meteorologiske institutt (MI) har stilt data fra den meteorologiske målestasjonen på Finsevatn til disposisjon.

Vindtunnelforsøkene ble gjennomført av Marc DuFresne de Virel og Philippe Delpech ved Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) i Nantes, Frankrike.

Oslo, mars 2003

Kim Robert Lisø
Programleder
Norges byggforskningsinstitutt

Thomas Thiis
Prosjektleder, prosjekt 3
Norges byggforskningsinstitutt

Sammendrag

For å unngå snøfonner som legger seg i lesener bak bygninger er det prøvet ut en type snøspylere som har til hensikt å føre vind inn i lesenen og på denne måten forhindre at snøpartikler akkumuleres og danner snøfonner. Det er gjort numeriske (CFD) simuleringer av vind og drivsnø samt feltforsøk med fire stk. snøspylere i full skala. Feltforsøkene ble utført på Finse forskningsstasjon vinteren 2002. I tillegg er det gjort vindtunnelforsøk for å undersøke ulike plasseringer av snøspylere. Snøfonner omkring bygninger kan for en stor grad grupperes i lo-, le- og sidefonner definert ut fra plassering og utviklingshastighet. Lofonner dannes på vindsiden av en bygning i en viss avstand fra bygningen. Sidefonnene er vanligvis forlengelsen av lofonnen ved siden av bygningen og har sammen med denne ofte formen av en hestesko. Lefonner dannes i lesener der vindhastigheten er lav samtidig som det er tilførsel av drivsnø. Slike lesener dannes ofte i forbindelse med tilbygg. Plasseringen av snøfonnene er avhengig av vindretningen, og i mange områder er vindklimaet så skiftende at det ikke er mulig å skille ut de enkelte snøfonnene. Ved hjelp av snøspylere er det mulig å fjerne enkelte snøfonner. Ved noen tilfeller vil det ved bruk av snøspylere imidlertid skapes snøfonner i soner der det tidligere ikke la seg snø. Dette skyldes at snøspyleren hindrer luftstrømmen oppstrøms og at det dermed skapes en ny snøfonn. Dette gjelder og langs randen av sonen der luftstrømmen treffer bakken eller en flat overflate. Det skapes her en stagnasjonssone hvor snø kan akkumuleres.

For vertikalt plasserte snøspylere bør derfor forholdet mellom tverrsnittsarealet i inn- og utåpningene være omkring 1. For snøspylere som er plassert noe over bakkenivå og som ikke er utsatt for store mengder drivsnø kan dette forholdet være ned til 1.17 uten at blokkering oppstår. Dette øker lufthastigheten ut av snøspyleren.

Tilnærmet horisontal plassering av snøspyleren på enden av bygningene gir best snøfjerningseffekt. Radius $r = 760$ mm er tilstrekkelig til å fjerne en snøfonn som ligger ca 3 m under snøspyleren. Det er ved slik plassering mulig å unngå nye snøfonner ved at snøen spyles ut i luftstrømmen som passerer bygningen rundt hjørnene. CFD simuleringer viser at det er mulig å beregne enkelte nøkkelparametere i utforming og plassering av snøspylere. På bakgrunn av slike simuleringer kan man slutte at buede snøspylere fører til at lefonnen plasseres lenger vekk fra leveggen enn tilfellet er med plateformede snøspylere. Ved vertikal plassering av snøspylere må luftstrømmen fra snøspyleren vinkles slik at den treffer leveggen som den er ment å skulle spyle ren. Det er ved en slik plassering fare for at det akkumuleres snøfonner oppstrøms snøspyleren. I denne sonen bør det derfor ikke være dører, vinduer eller andre kritiske konstruksjoner som kan begraves.

Bruk av snøspylere er gjerne aktuelt som tiltak for å fjerne snøfonndannelse på og omkring bygninger som i utgangspunktet er plassert eller utformet uheldig. I disse tilfellene har en god kjennskap til vind- og snøforholdene på stedet. For at snøspylere skal fungere etter hensikten må de installeres i et område med høy frekvens av vindepisoder med høy vindhastighet. Dette fordi området rundt snøspyleren må blåses rent etter hvert snøfall ellers vil snøspyleren begraves og miste sin effekt. Det er også viktig at vindretningen stort sett er uniform. Uten uniform vindretning kan snøspyleren begraves i tilfeller med vindretning fra en kant den ikke er dimensjonert for.

Videre utvikling av snøspylere må inkludere studier av effekten av varierende radius og hvordan radius må variere med høyden og størrelsen på lesenen. Rapporten skal danne underlag for utarbeidelsen av anvisninger for utforming og plassering av bygninger, samt retningslinjer for snøskjermingstiltak der dette er hensiktsmessig.

Innholdsfortegnelse

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
INNHALDSFORTEGNELSE	5
1 INNLEDNING	6
2 FYSISKE PROSESSER	7
2.1 VIND	7
2.2 DRIVSNØ	7
2.3 AKKUMULASJON OG EROSJON AV SNØ RUNDT BYGNINGER OG KONSTRUKSJONER.	9
2.4 SNØSPYLERENS VIRKEMÅTE.....	9
2.4.1 <i>CFD studier</i>	11
2.4.2 <i>Vindtunnelstudier</i>	12
3 FELTFORSØK	13
3.1 PRØVEOMRÅDE.....	13
3.2 VIND	14
3.3 PRØVEOPPSETT	15
3.4 RESULTATER.....	17
3.4.1 <i>Snøspylere I</i>	17
<i>Snøspylere II</i>	18
3.4.2 <i>Snøspylere III</i>	19
3.4.3 <i>Snøspylere IV</i>	19
4 VURDERINGER	21
5 KONKLUSJONER	22
REFERANSER	23

1 Innledning

Snøfonner som legger seg rundt bygninger skaper ofte problemer for tilgjengelighet til bygningene. Sett fra et sikkerhetssynspunkt vil blokkering av innganger og tilfartsveier kunne være kritisk. Snørydding representerer derfor ofte en stor utgift i mange driftsbudsjetter både kommunalt og privat. Utforming og plassering av bygninger på steder med værhardt klima krever derfor detaljert kunnskap om vindens strømningsmønster og snølagringsmønsteret på stedet.

Gjennom flere år er det ved norske og utenlandske institutter gjennomført forskning innen området snødrift og fonndannelse rundt bygninger og i terreng. Store deler av denne kunnskapen er vanskelig tilgjengelig og lite praktisk anvendbar. Det er derfor viktig å omforme denne kunnskapen til generelle metoder og retningslinjer for planlegging, plassering og utforming av bygninger og bygningsmiljøer på værharde steder, for dermed å bedre planleggere, ingeniørers, arkitekters og utbyggeres muligheter til å ta hensyn til snødrift og fonndannelse.

For å unngå snøfonner som legger seg i lesoner bak bygninger er det prøvet ut en type snøspylere som har til hensikt føre vind inn i lesonen og på denne måten forhindre at snøpartikler akkumulerer og danner snøfonner.

Flere forskjellige posisjoner og innstillinger av slike snøspylere er forsøkt, og effekten dokumentert.

Arbeidet i denne rapporten er utført som en del av prosjekt 3 *Snødrift og fonndannelse omkring bygninger og i terreng* i FoU programmet *Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner*. Nærmere omtale av programmet er gitt i (Lisø et al. 2002).

2 Fysiske prosesser

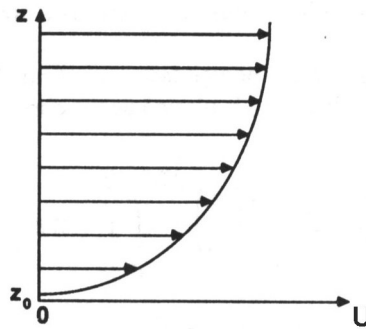
2.1 Vind

Ved stabil atmosfære øker vindhastigheten med høyden over bakken som vist i figur 1. Ligning 1 beskriver denne variasjonen.

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1)$$

Her er z_0 [m] overflatens ruhet, i praksis den høyden der midlere vindhastighet er lik 0. κ er von Karmans konstant (lik 0.4) og u_* [m/s] er friksjonshastigheten. Friksjonshastigheten har sammenheng med skjærspenning ved bakkenivå, τ_0 [N/m²] og luftens tetthet ρ [kg/m³] på følgende måte:

$$u_*^2 = \frac{\tau_0}{\rho} \quad (2)$$

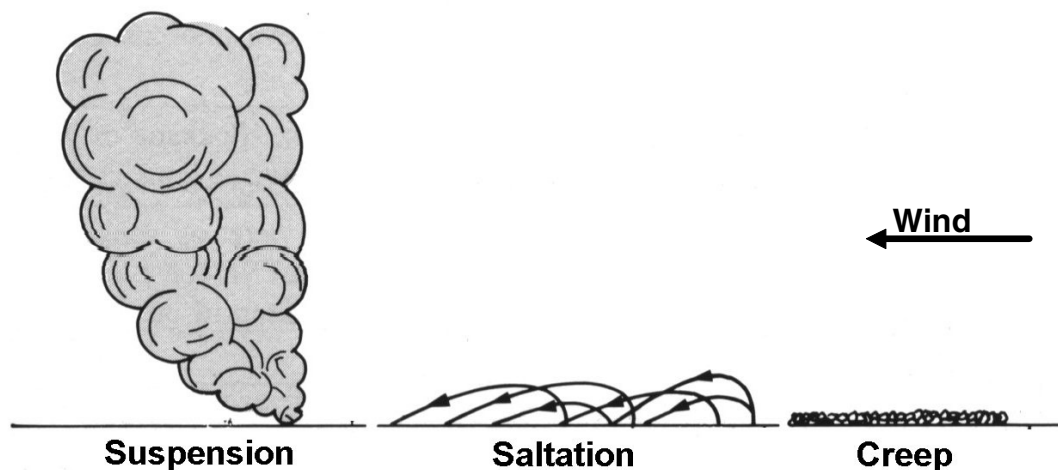


Figur 1
Vindhastighetens variasjon med høyden ved logaritmisk vindprofil

2.2 Drivsnø

En snøpartikkel kan transporteres av vinden på tre forskjellige måter. Transportmåten avhenger av vindhastighet og størrelsen på partikkelen. Er vindhastigheten lav eller partikkelen stor ruller partikkelen langs bakken, fagtermen for dette er *kryping*, på engelsk *creep*. Er vindhastigheten høyere vil partiklene begynne å bevege seg i små hopp 0-10 cm over bakken, også kalt *saltasjon*. Ved høyere vindhastighet beveger partiklene seg i suspensjon, fritt flygende i luften. Når snø transporteres i suspensjon er begge de to andre transportmåtene også aktive. Mesteparten av snøtransporten skjer i saltasjon og suspensjon. De ulike transportmåtene er illustrert i figur 2.

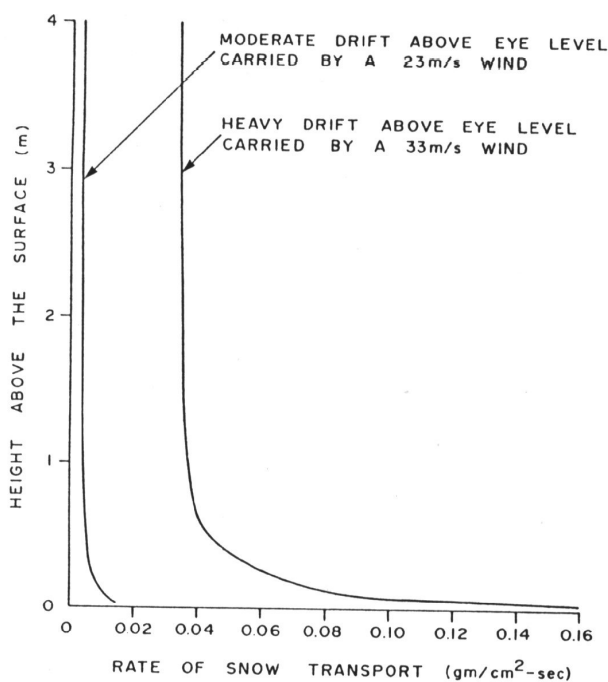
Før en snøpartikkel kan transporteres med vinden må den rives løs fra snøoverflaten. Denne meddrivingen er et resultat av både vindkreftene og energien fra andre partikler som kolliderer med overflaten. Et mål for når snøtransporten stopper er *threshold friction velocity* eller terskelfriksjonshastigheten for drivsnø, u_{*f} . Terskelfriksjonshastigheten er avhengig av snøens fysiske tilstand. Nysnø, som har svake bindinger mellom snøpartiklene, har en lav terskelfriksjonshastighet, fra 0.07 til 0.25 m/s. Hard snø som er pakket av vinden, og gammel snø har terskelfriksjonshastighet, fra 0.25 til 1 m/s (Kind, 1981).



Figur 2
Transportmåter for vindtransportert snø (Norem, 1994)

Massetransporten er størst den nederste halve meteren over bakken. Tykkelsen av det laget som transporterer snø avhenger av vindhastigheten og av topografien. Tykkelsen på laget vil sjelden overstige 10 – 15 m. Figur 3 viser typiske profiler av snøtransport ved to forskjellige vindhastigheter. Empiriske studier av massetransporten av snø har vist at total masse pr. sekund og meter bredde på tvers av vinden [g/ms] kan uttrykkes som

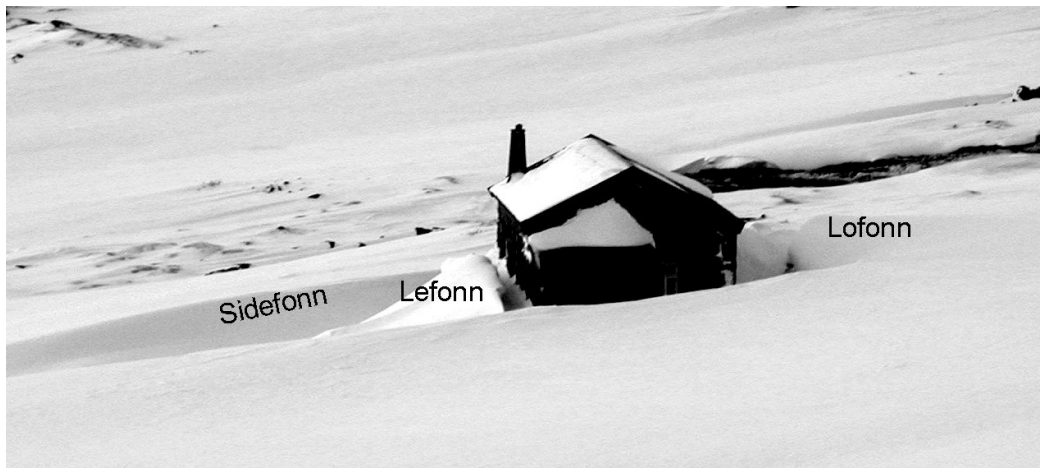
$$Q = 0.2(u_1)^{2.7} \quad (3)$$



Figur 3
Typiske vertikale profil av snøtransport ved to forskjellige vindhastigheter (Mellor, 1965)

2.3 Akkumulasjon og erosjon av snø rundt bygninger og konstruksjoner

Snøfonner omkring bygninger kan for en stor grad grupperes i lo-, le- og sidefonner definert ut fra plassering og utviklingshastighet. Lofonner dannes på vindsiden av en bygning i en viss avstand fra bygningen. Sidefonnene er vanligvis forlengelsen av lofonnen ved siden av bygningen og har sammen med denne ofte formen av en hestesko. Lefonner dannes i lesoner der vindhastigheten er lav samtidig som det er tilførsel av drivsnø. Slike lesoner dannes ofte i forbindelse med tilbygg. Plasseringen av snøfonnene er avhengig av vindretningen, og i mange områder er vindklimaet så skiftende at det ikke er mulig å skille ut de enkelte snøfonnene. Figur 4 viser hvordan snøfonnene ligger rundt en hytte plassert i et område med uniform vindretning.



Figur 4

Plassering av snøfonner rundt bygning, vindretning fra høyre (foto: T. Thiis, NBI)

For at det skal kunne danne seg snøfonner må to kriterier oppfylles. Det må være snøpartikler tilstede for akkumulasjon, og friksjonshastigheten, u_* (fra ligning 1), må være mindre enn terskelfriksjonshastigheten u_{*f} . Det er med andre ord ikke tilstrekkelig med lav vindhastighet i et område hvis luften her ikke inneholder drivsnø som kan akkumulere.

Siden snøtransporten nær bakken er svært mye høyere enn lenger oppe i luften dannes lo- og sidefonner raskere enn lefonner. Dannelsen av lefonner er som oftest avhengig av at snø transporteres over bygningen og inn i lesonen. Ved lave vindhastigheter og drivsnø bare i bakkenivå, vil bygningen kunne virke som en "snøplog" og hindre dannelsen av lefonner. En høy vegg vil føre til at drivsnøen fraktes rundt bygningen, ikke over og inn i lesonen, og vil derved forhindre eller redusere dannelsen av lefonn. Lefonner dannes derfor raskest ved episoder med høy vindhastighet og episoder som inkluderer vind og nedbør fordi det da er snøpartikler som transporteres inn lesonen.

2.4 Snøspylersens virkemåte

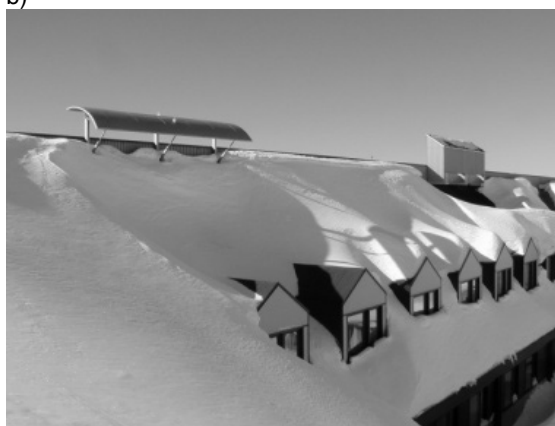
For å redusere problemet med lefonner kan man installere snøspylere som øker vindhastigheten i lesonen og spylere vekk snøpartikler. Vind med høy hastighet fanges opp og ledes inn i soner med lavere vindhastighet. Plasseringen av slike snøspylere er dermed avhengig av bygningens utforming og fremherskende vindretning. Ved bruk i områder med varierende vindretning, må det sørges for at snøspyleren ikke blir installert i et område der det legger seg snøfonner. Snøspyleren kan således bli begravet og miste sin funksjon. Figur 5 viser eksempler på flere forskjellige typer snøspylere.



a)



b)



c)



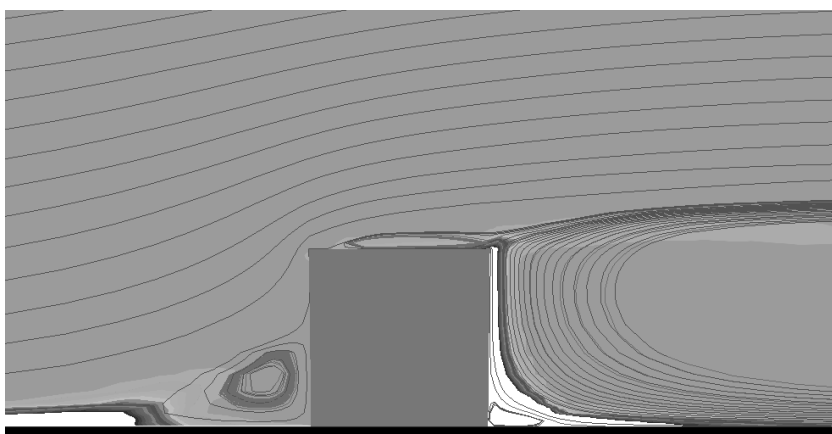
d)

Figur 5

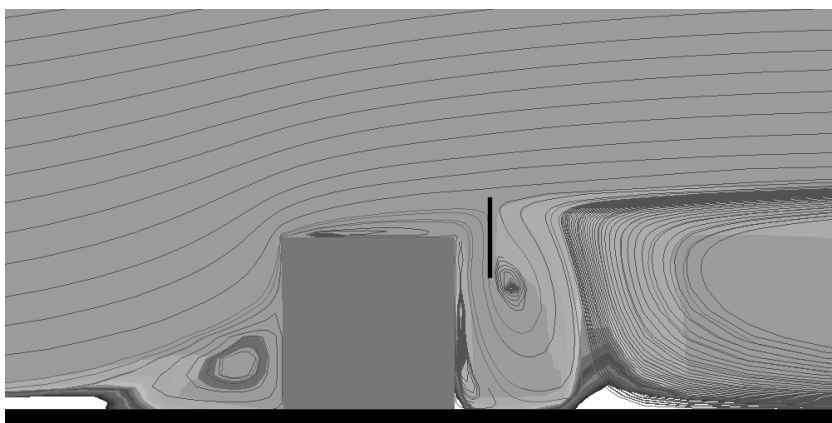
a) Snøspylere i Canada beskrevet av Strub (1996). b) Waechter (2002) viser en snøspylere som er integrert i bygningen, c) Barfoed (2002.) har prøvet ut to forskjellige snøspylere på Grønland, d) snøspylere for å beskytte en vei mot drivsnø (Tabler, 1994)

2.4.1 CFD studier

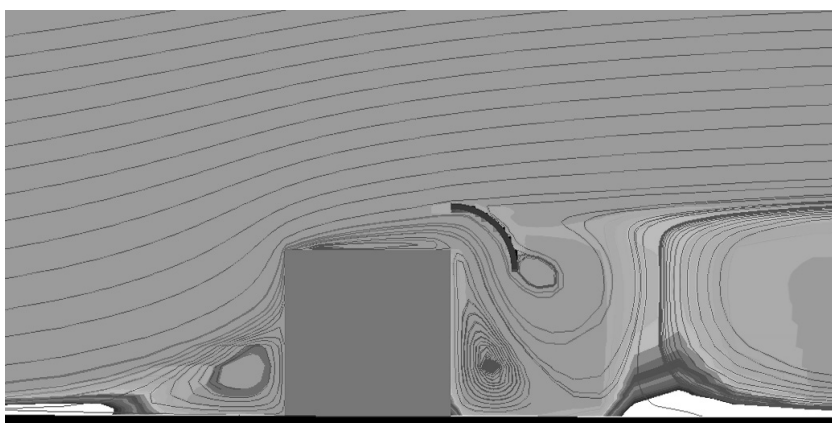
Forut for feltforsøkene ble det gjort numeriske (*Computational Fluid Dynamics, CFD*) simuleringer av strømningsforholdene rundt to forskjellige snøspylere for å undersøke hvilken utforming som gav best resultat. Metoden som er benyttet baserer seg på endelige volumers metode og er dokumentert i Thiis (2000). Basert på erfaringer fra Grønland (Barfoed, 2002 og Strub, 1996) ble en flat og en kurvet snøspyler undersøkt. Figur 6 viser prinsippet bak en snøspyler og effekten av to ulike utforminger. CFD simuleringene viste at en kurvet snøspyler gir større avstand mellom lefonn og vegg enn en snøspyler som er formet som en flat plate.



6a) Vindmønster og snøfonner rundt en bygning uten snøspyler, vind fra venstre, lesone til høyre for bygning.



6b) Vindmønster og snøfonner rundt en bygning med snøspyler formet som en flat plate med høyde $0.6 \cdot H$, der H er høyden på bygningen, vind fra venstre. Snøspyleren øker vindhastighet i lesonen. Et stykke nedstrøms bygningene vendes luftstrømmen oppover. Avstand fra bygning til lefonn: $0.68 \cdot H$.

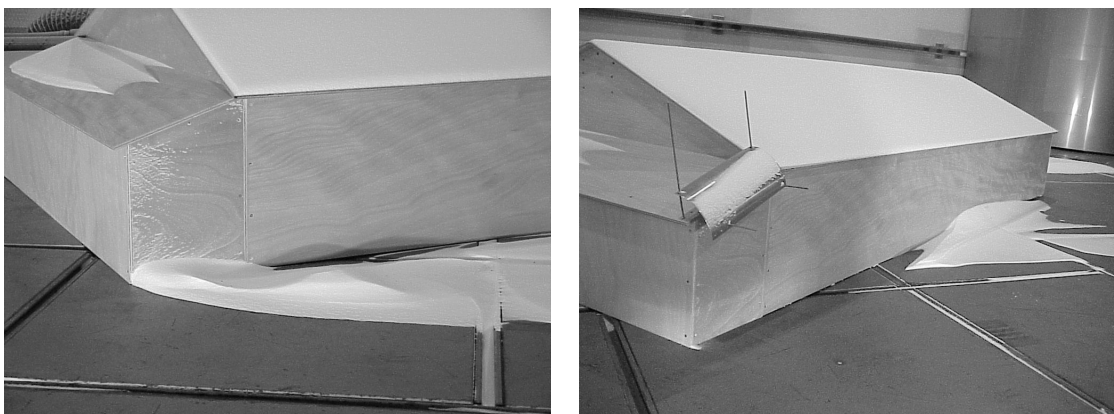


6c) Vindmønster og snøfonner rundt en bygning med kurvet snøspyler, radius $0.3 \cdot H$, vind fra venstre. Et stykke nedstrøms bygningene vendes luftstrømmen oppover. Avstand fra bygning til lefonn: $1.0 \cdot H$.

Figur 6 a) b) og c)
Virkingen av to ulike typer snøspylere

2.4.2 Vindtunnelstudier

Plassering av en snøspylere ble undersøkt i et vindtunnelforsøk ved Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB) i Nantes, Frankrike. Forsøket ble utført i skala 1:10 med kunstsnø fra snøkanoner som snømedium. Laboratoriet er beskrevet av Gandemer et. al. (1997). Bygningen som ble benyttet var tilsvarende en av dem som ble benyttet i fullskala feltforsøk. Snøspylere radius var 100 mm og forholdet mellom tverrsnittets areal i inn- og ut-åpningene 1.17. Figur 7 viser prøveoppsettet før og etter installasjon av snøspyleren. Forsøket viser at metoden i stor grad gjorde det mulig å reprodusere opprinnelig snøfonner og at snøspyleren hindrer fonndannelse.



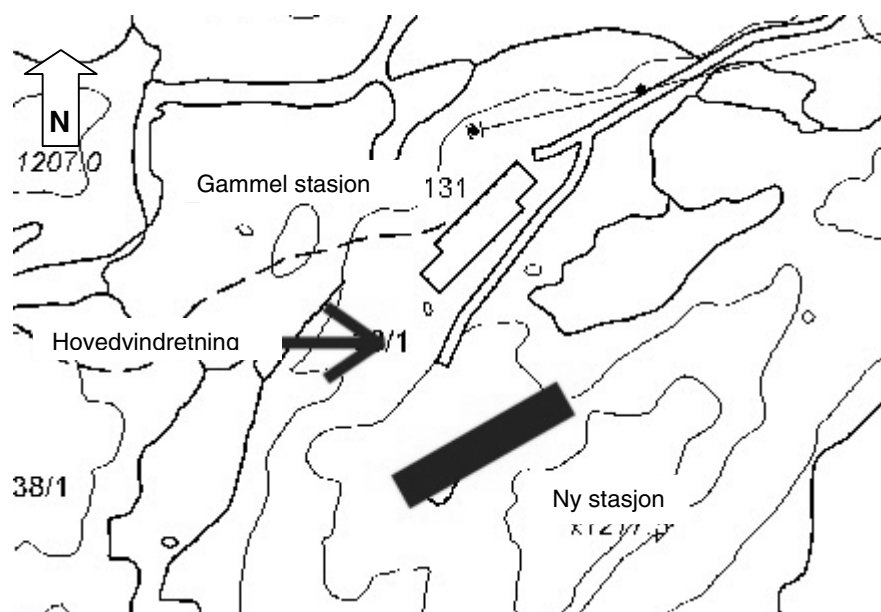
Figur 7

Vindtunnelforsøk før (venstre) og etter (høyre) installasjon av snøspylere (foto: CSTB)

3 Feltforsøk

3.1 Prøveområde

Forsøkene ble utført på Finse høyfjellsøkologisk forskningsstasjon, lokalisert på Finse. Forskningsstasjonen består av to bygninger, hver ca. 70 meter lange. Finse ligger ca. 1200 meter over havet, og klimaet her kan klassifiseres som "polarklima" i følge Köppens klimaklassifisering. I månedene januar til mars er middeltemperaturen mellom -10 og -8 °C. I disse månedene er vindretningen for en stor grad vestlig og gjennomsnittlig nedbør ca. 240 mm/måned. Bygningene er plassert i hellingen opp fra et søkk i terrenget, under en liten kolle, se figur 8. Bygningenes langvegger ligger med en vinkel mot hovedvindretningen på henholdsvis ca. 40 og 20 grader, se figur 8 og 9. Ca. 200 meter syd for stasjonen er det installert en målestasjon som måler vindretning, vindstyrke og nedbør. Data for den aktuelle prøveperioden er presentert i figur 10 og 11. Det er store problemer med drivsnø i området, og det er vanlig at store deler av bygningene dekkes av snø om vinteren. Dette skyldes blant annet at bygningene er plassert i en sone der det er naturlig at snø akkumuleres, men trolig og bygningenes orientering mot vindretningen som fører til at store snømengder akkumuleres nær bygningen.



Figur 8
Kart over forsøksområdet.

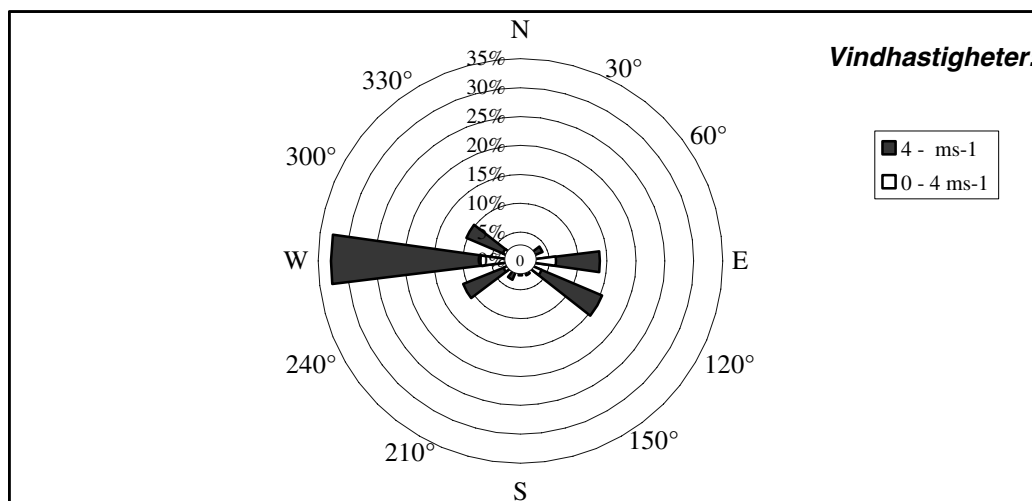


Figur 9

Finse høyfjellsøkologisk forskningsstasjon, gammel bygning til høyre, ny til venstre. Hovedvindretning er fra høyre mot venstre (foto: E.A.Leslie, UiO)

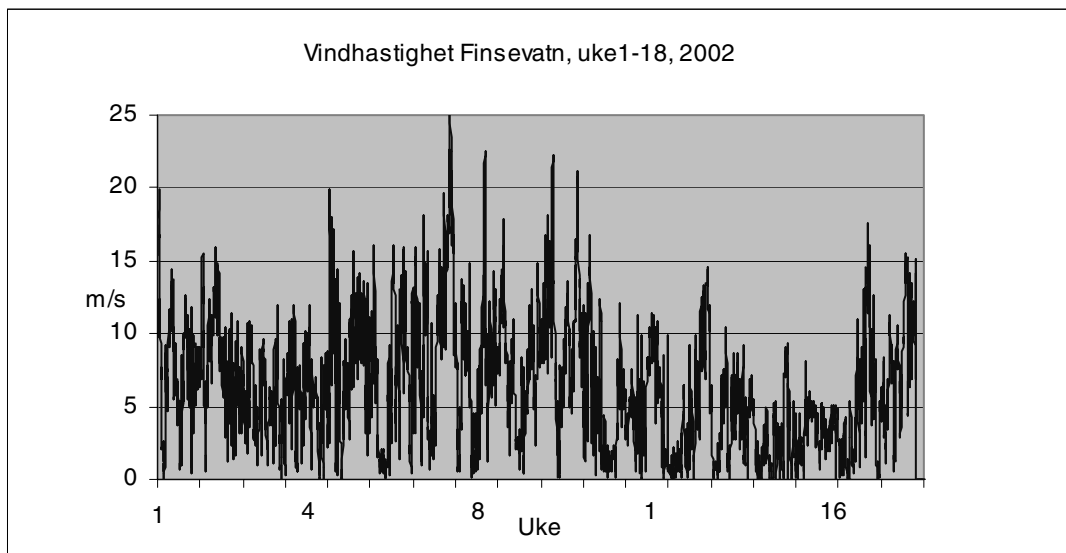
3.2 Vind

Vindretningen i prøveperioden er vist i figur 10. Figuren viser at vestlig vindretning er representert ca. 54 % av tiden. Figur 11 viser timemidlet vindhastighet i perioden. Middelerdien for hele perioden var 6.4 m/s og det var ca. 20 enkeltstående episoder der vinden oversteg 15 m/s, som tilsvarer stiv kuling. Ca. 90 % av alle disse tilfellene var ved vestlig vindretning.



Figur 10

Vindretning på Finsevatn i prøveperioden (uke1-18, 2002) (data fra Meteorologisk Institutt)



Figur 11
Vindhastighet ved Finsevatn i prøveperioden (data fra Meteorologisk Institutt)

3.3 Prøveoppsett

Snøspylere som ble benyttet var formet som kvarte deler av sylinderskall og produsert i to lag vannfast 4 mm kryssfiner, festet til en treramme. Lengden var 2400 mm og radius 760 mm, se figur 12. Kryssfinerplatene var både skrudd og limt for å øke styrken og stivhet.







Figur 12
Produksjon av snøspylere (foto: T. Thiis, NBI)

Det ble plassert ut to snøspylere på hver bygning, til sammen fire snøspylere på de to bygningene. Etter installasjon av snøspylere ble snøfonnene i spylereans antatte virkeområde fjernet, slik at spylereffekt kunne studeres. Tabell 1 gir en kort oversikt over snøspylereans plassering og funksjon.

Tabell 1

Beskrivelse og funksjon til installerte snøspylere (alle foto: T. Thiis, NBI)

Snøspylernr.	Beskrivelse og funksjon	Bilde
I	<p>Gammel bygning mot syd, tilbygg med pulttak. Lefonn blåses vekk med snøspylere som tar vind som kommer over pulttaket.</p> <p>Relevante mål: Bredde tilbygg, 9.9m Dybde tilbygg, 3.1m Takvinkel hovedbygg, 22° Spylerråpning mot vindretning, 700 mm Spylerråpning mot lesonen, 600 mm. Vinkel på pulttaket, ca. 10°</p> <p>Vind fra venstre i bildet.</p>	
II	<p>Gammel bygning mot nord. Lefonn bak kortsiden av bygget spyles vekk med vind som ledes inn ved hjelp av en vertikal snøspylere plassert på hushjørnet mot nord.</p> <p>Relevante mål: Bredde hovedbygg, 9.9m Takvinkel hovedbygg, 22° Høyde v/raft, 3.2m Avst. bakke-snøspylere, 0.3m Vinkel kant snøspylere-langvegg, 0° og 25° Vind fra høyre i bildet.</p>	
III	<p>Ny bygning, tak: Vind ledes inn i lesonen på taket av hovedbygning.</p> <p>Relevante mål: Takvinkel hovedbygg, 25° Vinkel takflate-kant snøspylere, 0°</p> <p>Vind fra høyre i bildet.</p>	
IV	<p>Ny bygning mot nord. Tak på tilbygg over tilbygg blåses fritt ved hjelp av snøspylere montert på gavl.</p> <p>Relevante mål: Takvinkel hovedbygg, 25° Takvinkel tilbygg, ca. 10° Vinkel kant snøspylere-gavl, 23°</p> <p>Vind fra høyre i bildet.</p>	

Figur 13 viser plasseringen av forskningsstasjonen og tre av snøspylere. Bildet er tatt like etter at spylere er installert og opprinnelige snøfonner fjernet.



Figur 13

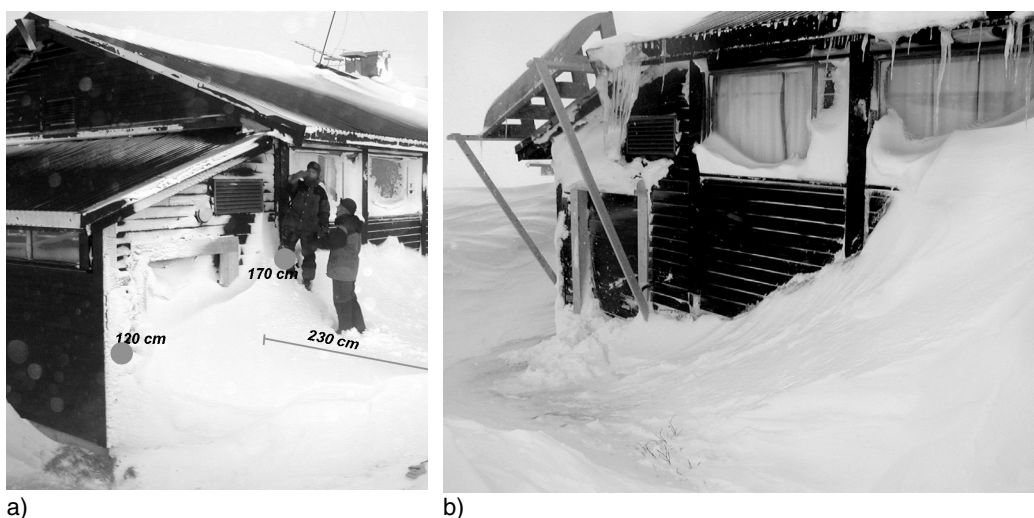
Finse forskningsstasjon med tre av de fire installerte snøspylere. Bilde er tatt mot vest (foto: T. Thiis, NBI)

3.4 Resultater

Effekten av snøspylere ble dokumentert ved hjelp av fotografier og enkle oppmålinger i felt. Tre ganger ble snøfonnene fotografert, den 25/1-02, 8/3-02 og 10/3-02. I perioden mellom 8/3-10/3 var det en kraftig snøstorm som gjorde det mulig å dokumentere effekten av justeringer av snøspylere II.

3.4.1 Snøspylere I

Snøspylere I fjerner effektivt snøfonnen foran døren i tilbygget. Det ser ut til at snø som kommer inn foran døren blir spylt ut i vindstrømmen som passerer rundt hjørnet av bygningen. Figur 14 a) viser snøfonnen som vanligvis legger seg i denne sonen. Snøfonnen var ca. 170 cm høy og lå helt inn til veggen. Den strekker seg fra hushjørnet og langs hele langveggen. Figur 14 b) viser hvordan snøsituasjonen var den 8/3-2002, etter en periode med mye nedbør og vind. En ser her at området fra hushjørnet og ca. 5 meter langs langveggen er tilnærmet fritt for snø. Nord for dette området ligger det en snøfonn tilsvarende den som legger seg i en normalsituasjon.

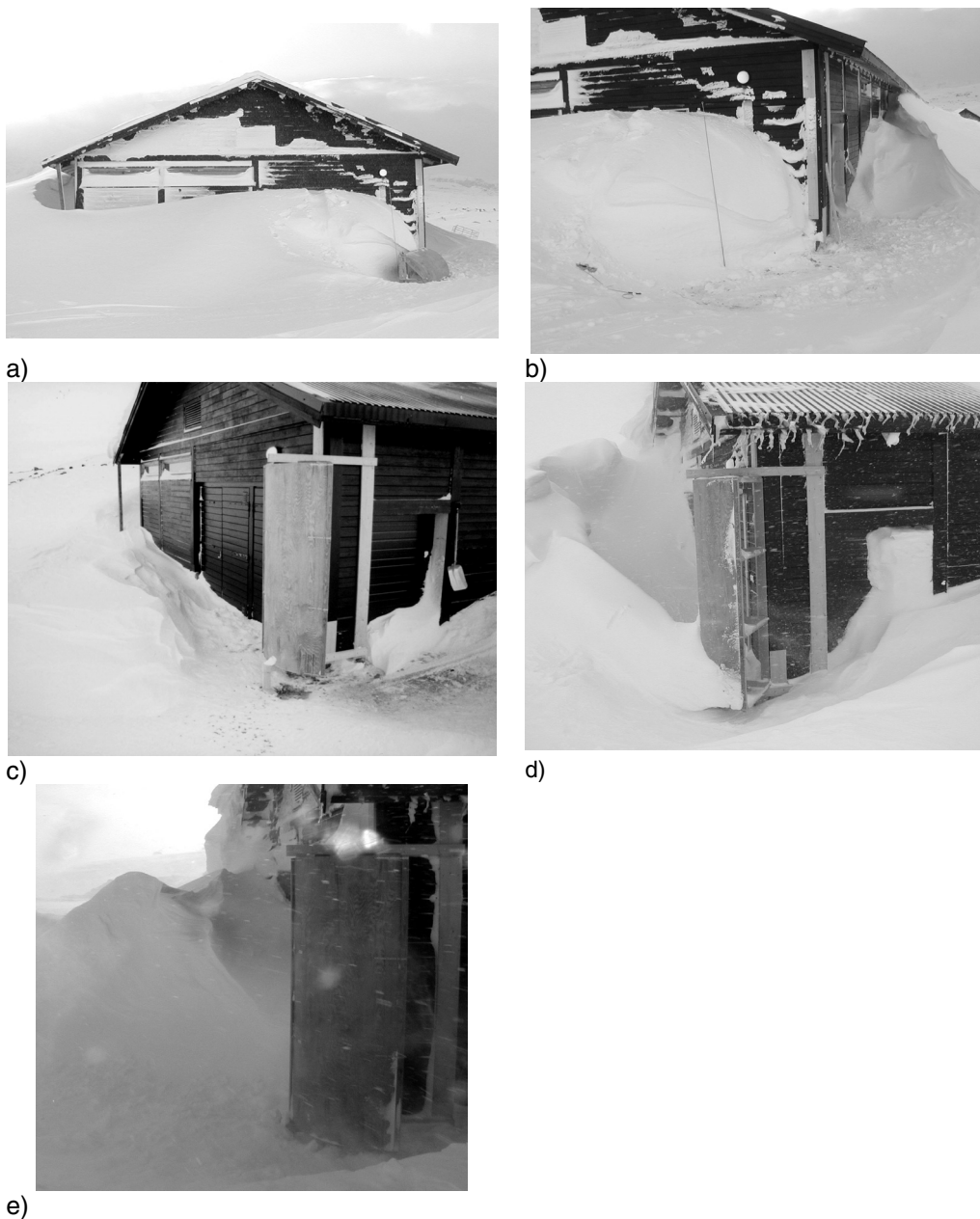


Figur 14

Akkumulasjonsområde før (til venstre) og etter (til høyre) installasjon av snøspylere I (foto: T. Thiis)

Snøspylar II

Denne snøspyleren ble prøvet ut med vinklene 0° og 25° mot langveggen. Med vinkel 25° mot langveggen rettes vindstrømmen mot kortveggen og fjerner deler av lefonnen på nordsiden av stasjonen. Det dannes et åpent område mellom veggen og snøfonnen, se figur 15 c) og d). Effekten av snøspyleren ser ut til å rekke ca.. 3-4 meter inn mot midten av bygningen. Lenger nede på veggen øker snøfonnen i høyde, og legger seg inntil kortveggen. Det ser ut til at spyleren i denne posisjonen skaper en stagnasjonssone på langveggen og at snøakkumulasjonen øker langs langveggen. Bilde 15 c) er tatt den 25/1-2002 og d) den 8/3-2002. Med vinkel 0° mot langveggen dannes snøfonnen helt inntil kortveggen. Årsaken til dette er at luftstrømmen ikke er vinklet slik at den treffer veggen. Utstrekningen av lefonnen i bygningens lengderetning blir imidlertid begrenset av vindstrømmen og tydeliggjør området med øket vindstrøm, se figur 15 e).

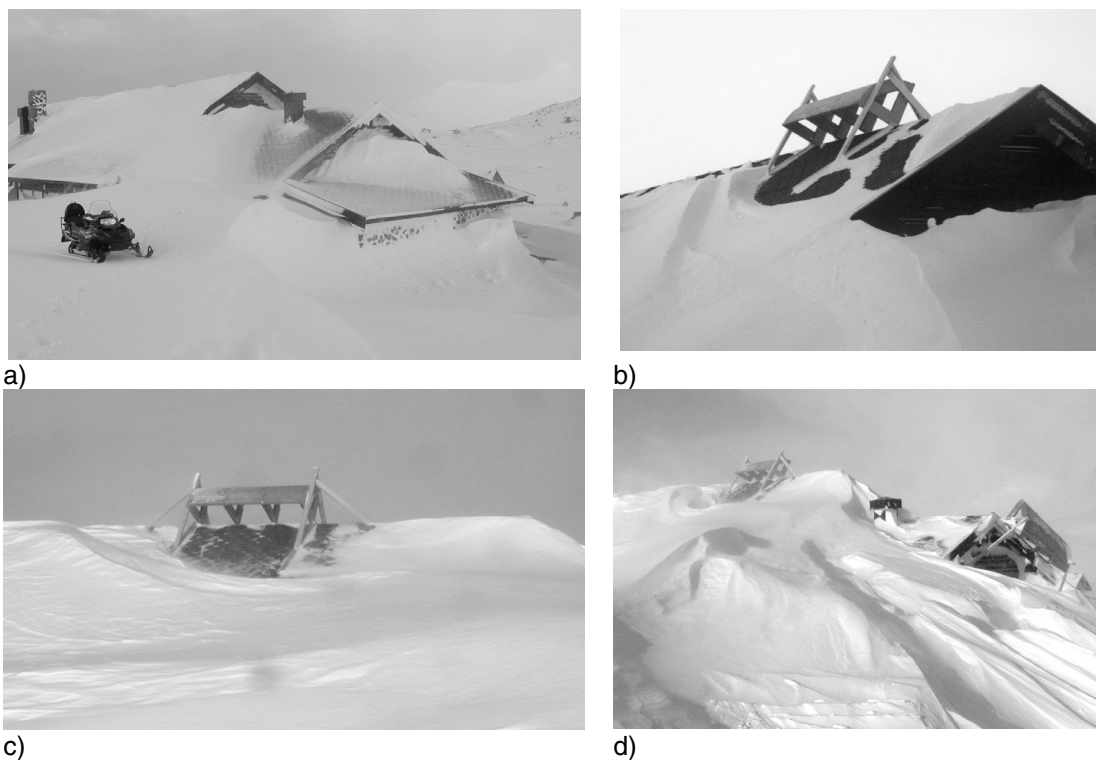


Figur 15

a) og b) Snøfonn før installasjon av snøspylar II. c) og d) snøfonn ved snøspylervinkel 25° mot langveggen, h.h.v 25/1 og 8/3-02. e) snøfonn ved snøspylervinkel 0° mot langveggen (foto: T. Thiis, NBI)

3.4.2 Snøspyler III

Snøspyler III var plassert på toppen av mønet på den nye stasjonen. Hensikten med spyleren var å undersøke hvor stort snøfritt område denne plasseringen gav. Figur 16 a) viser snøforhold før og etter installasjon. Området som blåses helt fritt for snø strekker seg i hele snøspylerens lengde og ca. 3 meter nedover takflaten. Snøspyleren har dessuten en viss effekt helt fram til kanten av mønet. Dette skyldes vinkelen mellom hovedvindretningen og innretningen på bygningen. Det ser ikke ut til at snøspyleren forårsaker nye snøfonner ved denne installasjonen.



Figur 16

a) Snøfonn før installasjon av snøspyler III b) c) og d) snøspyler h.h.v. 25/1, 8/3 og 10/3-02 (foto: T. Thiis, NBI)

3.4.3 Snøspyler IV

Snøspyleren ble installert for å undersøke hvordan gavlmontering påvirker snøfjerningseffekten på tilliggende pulttak. For å øke snøfjerningseffekten helt inne ved gavlveggen, ble snøspyleren vinklet slik at luftstrålen ble rettet mot veggen over pulttaket.

Snøfonnen som lå ved gavlveggen på taket av tilbygget ble fjernet i en halvsirkel med maksimum avstand fra gavlvegg til snøfonn lik 2.4 meter. Utenfor denne halvsirkelen ble det dannet en ny snøfonn. Årsaken til dette er trolig en stagnasjonssone som er skapt av snøspyleren. Effekten av snøspyleren blir derfor at snøfonnen flyttes ut fra veggen og at det dannes en ny snøfonn i en halvsirkel utenfor nedslagsfeltet til luftstrålen. Figur 17 viser snøfonndannelsen før og etter installasjon av snøspyler.



Figur 17
Akkumulasjonsområde før (til venstre) og etter (til høyre) installasjon av snøspylar IV (foto: T. Thiis, NBI)

4 Vurderinger

De undersøkte snøspylere virker etter hensikten idet de fører vind med høy hastighet inn i lesoner og dermed hindrer at snø akkumuleres.

Radius $r = 760$ mm gir kraftig nok luftstrøm ut av snøspyleren til å forhindre lefonn ved snøspylere I og IV. Ved snøspylere II er trolig tverrsnittet av luftstrømmen ut av snøspyleren for lite til å fjerne hele lefonna på kortveggen. Ved å benytte en større radius på snøspyleren vil lufthastigheten ut av snøspyleren bli kraftigere og effekten av snøspyleren virke lenger inn på kortveggen. Noen av snøspylere skaper imidlertid nye snøakkumulasjonssoner i området der luftstrømmen som blir ført inn i lesonen dreier oppover et stykke nedstrøms bygningen, se figur 6 b). Som det er vist i forsøket med snøspylere I er det mulig å unngå denne snøfonna ved at denne spyles ut i luftstrømmen som passerer rundt hushjørnet.

Det er også observert at snøspylere hindrer luftstrømmen oppstrøms, og at det kan danne seg snøfonner her, jf. snøspylere II. I tilfeller der luftstrømmen blir hindret oppstrøms spyleren kan det dannes en så stor snøfonn at effekten av snøspyleren avtar eller også at den begraves helt. Ved neste vindepisode vil det igjen akkumuleres snø i lesonen. Snøspyleren har da virket mot sin hensikt idet den har forårsaket snøakkumulasjon oppstrøms spyleren i tillegg til den opprinnelige lefonna. Slik blokkering av luftstrømmen inntraff ikke ved snøspylere I selv om forholdet mellom arealet av inn- og utstrømningsåpningene var større her. Årsaken til dette er trolig at mengden drivsnø i luften var lavere i dette tilfellet, og at vindhastigheten trolig var noe høyere enn ved spylere II, jf. figur 1 og 3.

Vinkelen mellom snøspylere og lesone avhenger av bygningsutformingen og vindretningen. Ved snøspylere I er det ikke nødvendig å vinkle snøspyleren inn mot leveggen. Det er imidlertid nødvendig ved snøspylere II og IV. Disse snøspylere må vinkles for å berøre lesonen nærmest veggene. Vinkelen 20- 25 ° er trolig tilstrekkelig til også å lede vind inn i disse sonene. Vinkelen er også styrende for hvor spyleeffekten opphører og ny snøfonn akkumuleres.

Ved installasjon av snøspylere er det viktig å ta hensyn til eventuelle nye snøfonner som kan skape nye problemer.

Ved hjelp av CFD simuleringer ble snøspylere med to ulike former prøvet ut. Simuleringene var todimensjonale og kan derfor sees på som en uendelig lang snøspylere. For en buet snøspylere ble avstanden mellom ny ”sekundær fonn” og vegg beregnet til 2.5 m. Dette er tilnærmet lik avstanden som ble målt ved snøspylere IV. Selv om forholdene mellom feltforsøk og simuleringer ikke er identiske, gir disse studiene en god indikasjon på at CFD simuleringer er et velegnet verktøy ved vurderinger av plassering og utforming av snøspylere.

Bruk av snøspylere er gjerne aktuelt som tiltak for å fjerne snøfonn dannelse på og omkring bygninger som i utgangspunktet er plassert eller utformet uheldig. I disse tilfellene har en god kjennskap til vind- og snøforholdene på stedet.

For at snøspylere skal fungere etter hensikten må de installeres i et område med høy frekvens av vindepisoder med høy vindhastighet. Dette fordi området rundt snøspyleren må blåses rent etter hvert snøfall ellers vil snøspyleren begraves og miste sin effekt. Det er også viktig at vindretningen stort sett er uniform. Uten uniform vindretning kan snøspyleren begraves i tilfeller med vindretning fra en kant den ikke er dimensjonert for.

5 Konklusjoner

Ved Finse høyfjellsøkologiske forskningsstasjon er det i hovedsak vestlig vindretning som transporterer drivsnø og som forårsaker snøfonner rundt bygningene. En snøspylers funksjon er at den fører vind med høy hastighet inn i en lesone med lav vindhastighet. Luftstrømmen gjør at snøfonner ikke akkumuleres innenfor spylereens virkeområde. Ved hjelp av snøspylere er det med god planlegging mulig å fjerne uønskede snøfonner.

Ved noen tilfeller vil det ved bruk av snøspylere skapes snøfonner i soner der det tidligere ikke la seg snø. Dette kan skyldes at snøspyleren hindrer luftstrømmen oppstrøms og at det dermed skapes en snøfonn som kan hindre luft i å passere snøspyleren. For vertikalt plasserte snøspylere bør derfor arealforholdet av tverrsnittene til inn- og ut- åpningene være omtrent 1. For snøspylere som er plassert noe over bakkenivå og som ikke er utsatt for store mengder drivsnø, kan dette forholdet være 1.17 uten at blokkering oppstår. Dette øker lufthastigheten ut av snøspyleren.

Det skapes også nye snøfonner langs randen av sonen der luftstrømmen treffer bakken eller en flat overflate. Det skapes her en stagnasjonssone hvor snø kan akkumulere. Denne sekundære snøfonnen er det mulig å unngå hvis den ledes så langt ut fra veggen at den blir fanget opp av vinden som passerer rundt bygningen.

CFD simuleringer viser at det er mulig å beregne enkelte nøkkelparametere i utforming og plassering av snøspylere. På bakgrunn av slike simuleringer kan man slutte at de buede snøspylere fører til at lefonna plasseres lenger vekk fra leveggen enn tilfellet er med plateformede snøspylere.

Ved vertikal plassering av snøspylere må luftstrømmen fra snøspyleren vinkles slik at den treffer leveggen som den er ment å skulle spyle ren. Det er ved en slik plassering fare for at det akkumuleres snøfonner oppstrøms snøspyleren. I denne sonen bør det derfor ikke være dører, vinduer eller andre kritiske konstruksjoner som kan begraves.

Tilnærmet horisontal plassering av snøspyleren på enden av bygningene gir best snøfjerningseffekt. Radius $r = 760\text{mm}$ er tilstrekkelig til å fjerne en snøfonn som ligger ca. 3 m under snøspyleren. Det er ved slik plassering mulig å unngå nye snøfonner ved at snøen spyles ut i luftstrømmen som passerer bygningen rundt hjørnene.

Videre utvikling av snøspylere må inkludere studier av effekten av varierende radius og hvordan radius må variere med høyden og størrelsen på lesonen.

Rapporten skal danne underlag for utarbeidelsen av anvisninger for utforming og plassering av bygninger, samt retningslinjer for snøskjermingstiltak der dette er hensiktsmessig.

Referanser

- Barfoed, P. (2002)
Pers. med., Tegnestuen Nuuk, Postboks 420, DK-3900 Nuuk, Grønland
- DuFresne de Virel, M, Delpech, P. (2002)
Wind tunnel modelling of snowdrifts around the Finse Building, Internal note, CSTB, France
- Gandemer, J., Palier, P. and Boisson-Kouznetzoff, S. (1997)
Snow simulation within the closed space of the Jules Verne Climatic Wind Tunnel. M. Izumi, T. Nakamura and R. Sack (eds.), *Snow Engineering: Recent Advances. Proceedings of the Third International Conference on Snow Engineering*, Sendai, Japan, 1996, pp. 347–352, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Lisø, K. R., *et al.* (2002)
Klima 2000 - Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner - Program 2000 - 2005, Programbeskrivelse, rev. dato 04.04.2002, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- Mellor, M. (1965)
Blowing Snow, CRREL project report DA IV025001A130, USA
- Kind, R. J. (1981)
Snowdrifting, Handbook of snow, Principles, Processes, Management and use, pp. 338-359
Gray, D. M., Male, H. ed.
- Norem, H. (1994)
Snow Engineering for roads, Handbook no.174. ISBN 82 7207 3536
- Strub, H. (1996)
Bare Poles - Building design for high latitudes, Carleton University Press, ISBN 0-88629-278-6
- Tabler, R. D. (1994)
Design Guidelines for the Control of Blowing and Drifting Snow, US National Research Council, SHRP-H-381
- Thiis, T. K. (2000)
Experimental validations of numerical simulations of snowdrifts around buildings and in terrain, Ph.D. thesis, Norwegian University of Science and Technology (NTNU) 2000:87
- Waechter, B. (2002)
Working with Nature – Wind Deflection Fins in Action, *Technotes Newsletters #5*, RWDI Inc., Canada (see www.rwdi.com/technotes/technotes_issue_5.pdf)



Norges byggforskningsinstitutt's forskningsprogram Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner retter søkelyset mot klimatilpasning av bygninger og bygningskonstruksjoner under strengere ytre klimabelastninger. Programmet vil pågå frem til utgangen av 2005 og består av 14 ulike prosjekter. Programmets hovedmål er gjennom forskning og utvikling å oppdatere prinsipløsninger for konstruksjoner som både gir økt bestandighet mot og økt pålitelighet ved ytre klimapåkjenninger, samt kartlegge mulige virkninger av klimaendringer på det bygde miljø – og hvordan samfunnet best kan tilpasse seg endringene.

Hensikten er å definere klarere kriterier og anvisninger for prosjektering og utførelse av kritiske konstruksjonsdetaljer, hovedsakelig knyttet til bygningers ytre klimaskjerm.