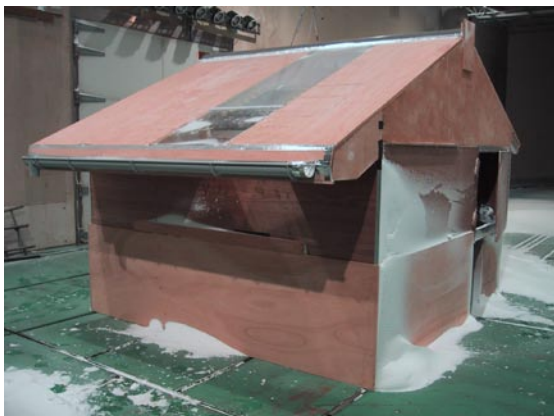


A. Gustavsen, S. Uvsløkk, M. Oustad, V. Hofseth,
T. Thiis, P. Barfoed, P. Delpéch og M. Dufresene de
Virel

Snøinndrev i kalde luftede tak – vindtunnelforsøk



Prosjektrapport 382

A. Gustavsen, S. Uvsløkk, M. Oustad, V. Hofseth, T. Thiis, P. Barfoed, P. Delpech og M. Dufresne de Virel

Snøinndrev i kalde luftede tak – vindtunnelforsøk

Emneord: klimatilpasning, klimapåkjønning, laboratorieundersøkelse, tak, nedbør, vind, fukt, snøinndrev, rafteløsninger

ISSN 0801-6461

ISBN 82-546-0865-9

150 eks. trykt av

S.E. Thoresen as

Innmat: 100 g Kymultra

Omslag: 200 g Cyclus

© Copyright Norges byggforskningsinstitutt 2005

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndverkslovens 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

www.byggforsk.no

Hovedsamarbeidspartnere

Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Norges forskningsråd (NFR), Husbanken, Finansnæringens Hovedorganisasjon (FNH), Oslo kommune Undervisningsbygg Oslo KF, Statsbygg, Statens bygningstekniske etat (BE), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Bransjepartnere

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

Bransjeforeninger

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

Norske fagmiljøer

Arkitekthøgskolen i Oslo (AHO), CICERO Senter for klimaforskning, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB), Meteorologisk institutt, Riksantikvaren, Standard Norge

Forord

Denne prosjektrapporten er utarbeidet på grunnlag av laboratorieforsøk, utført i *Jules Verne Climatic Wind Tunnel* hos "Centre Scientifique et Technique du Bâtiment" (CSTB) i Frankrike. I forsøkene ble snøinndrift i raft og takkonstruksjon studert. Det ble fokusert på hvordan ulike raftekasser hindrer inndrift av snø i takkonstruksjonen. Arbeidet utført i forbindelse med Prosjekt P 4 *Studie av kompakte og luftede isolerte tak*. Prosjektet er en del av FoU-programmet *Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner*. Rapporten er skrevet i samarbeid mellom Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Norges byggforskningsinstitutt (NBI).

Programmets hovedmål er gjennom forskning og utvikling å oppdatere prinsipløsninger for konstruksjoner som både gir økt bestandighet og økt pålitelighet ved ytre klimapåkjenninger. Videre skal programmet kartlegge mulige virkninger av klimaendringer på det bygde miljø, og drøfte hvordan samfunnet best kan tilpasse seg endringene. Hensikten er å definere klarere kriterier og utarbeide bedre anvisninger for prosjektering 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 å utvikle og revidere anvisninger i Byggforskserien og produktokumentasjon i tekniske godkjenninger og sertifiseringer. Programmet ledes av Norges byggforskningsinstitutt (NBI) og gjennomføres i samarbeid med Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Norges forskningsråd, Husbanken, Statsbygg, Finansnærings Hovedorganisasjon, Undervisningsbygg Oslo KF, Statens bygningstekniske etat, og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), 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.

Trondheim, februar 2005

Tore Kvande
Programleder
Norges byggforskningsinstitutt

Sivert Uvsløkk
Prosjektleder, prosjekt 4
Norges byggforskningsinstitutt

Sammendrag

Takkonstruksjoner utføres med lufting av to hovedgrunner; for å ventilere bort fukt i takkonstruksjonen og for å hindre snøsmelting på taktekningen og skadelig ising ved takutstikket.

Utarbeiding av detaljerte og generelle retningslinjer for utforming av luftekanaler for tak og tilhørende åpninger mot det fri innebærer å finne kompromissløsninger som ivaretar flere motstridende interesser. Nødvendig størrelse på luftekanaler og spalteåpninger for å oppnå tilstrekkelig luftgjennomstrømning er avhengig av flere forhold som størrelse på varmetapet gjennom takkonstruksjonen, uttørkingsbehovet, takform, takvinkel, takflatenes størrelse og lokale klimaforhold. Det er samtidig ønskelig at luftespalter og -åpninger er så små som mulig for å begrense faren for brannspredning og inndrift av nedbør.

I Klima 2000 delprosjekt 4, som omhandler luftede tak, er ett av målene å gi svar på hvordan alle hensyn kan ivaretas på best mulig måte. Resultatene fra denne rapporten utgjøre en del av vurderingsgrunnlaget for senere anbefalinger av detaljløsninger for kalde luftede tak.

Et samarbeid mellom NBI, NTNU og "Centre Scientifique et Technique du Bâtiment" (CSTB), har gitt NBI og NTNU tilgang til CSTB's testfasiliteter i Frankrike. "Jules Verne Climatic Wind Tunnel" er en vindtunnel, der man kan gjenskape de fleste naturlige klimatiske forhold vi har på jorda. Denne tunnelen ble benyttet i forsøkene som danner grunnlag for denne rapporten.

Det er forskjellige måter å sikre tilstrekkelig lufting på, avhengig av taktype og beliggenhet. I laboratorieforsøkene som omhandles her ble sju forskjellige rafteløsninger undersøkt med hensyn på risiko for snøinndrift og snøutfelling inne i taket. To av løsningene ble undersøkt for tak med luftekanaler i takplanet, mens alle sju rafteløsningene ble undersøkt for kaldt luftet loft.

De forskjellige rafteløsningene ble montert på en forholdsvis stor modell av et hus som var plassert inne i vindtunnelen. De forskjellige rafteløsningene ble i tur og orden montert på modellen og utsatt for snøstorm i opp til to timer, og utfelt snø i ulike deler av taket ble målt. I tillegg ble trykket i og rundt konstruksjonen og lufthastigheten inne i luftekanalen målt.

Resultatene fra forsøkene bekrefter at faren for snøinndrift og utfelling av snø inne i taket er sterkt avhengig av den geometriske utformingen av rafteløsningen og resten av takets "gjennomstrømningskanal". Det betyr også at det er mulig å redusere faren for inndrev av snø og utfelling inne i taket konstruktivt ved å dimensjonere, plassere og utforme spalteåpninger og raftekasser riktig.

For de undersøkte rafteløsningene er det en klar sammenheng mellom strømningsmotstand, eller strømningstap, og mengde utfelt snø inne på det kalde loftet.

Resultatene viser at raftekassene bør utformes slik at lufteåpningen i raftekassen plasseres lengst mulig ute ved takrennebordet. Å plassere luftespalteåpningen inne ved veggen gir økt risiko for inndrift av snø.

Av de undersøkte løsningene ga de grønlandske løsningene, med ekstra snøskjerm inne i raftekassen, minst snøutfelling inne på loftet. Resultatene tyder imidlertid på at en kan oppnå det samme også med enklere raftekasseløsning ved å redusere spalteåpningen slik at strømningsmotstanden blir like stor som for de grønlandske løsningene.

Forsøksresultatene viser at tak med luftekanaler uten tverrsnittsendring er lite utsatt for utfelling av snø. Det skyldes at lufthastigheten i kanalen ikke blir redusert noe sted i kanalen.

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
INNHold	5
1 INNLEDNING	6
1.1 FORMÅL OG OMFANG	6
1.2 BAKGRUNN	6
1.2.1 Snøsmelting.....	6
1.2.2 Uttørkingsevne.....	7
1.2.3 Inndrift av snø.....	7
1.2.4 To hovedvarianter av luftede skrå tretak.....	7
2 LABORATORIEFORSØK	9
2.1 VINDTUNNELEN	9
2.1.1 Testbetingelser i tunnelen.....	9
2.2 KONSTRUKSJON	11
2.3 LØSNINGER VED RAFT	15
2.3.1 Raft 1	15
2.3.2 Raft 2	16
2.3.3 Raft 3a	16
2.3.4 Raft 3b	17
2.3.5 Raft 4	17
2.3.6 Raft 4b	18
2.3.7 Raft 5	18
2.4 GJENNOMFØRING AV FORSØKENE	19
2.4.1 Trykkmålinger.....	20
2.4.2 Måling av lufthastighet.....	20
2.4.3 Måling av snøkonsentrasjon og utfelte snømengder.....	21
3 RESULTATER	23
4 KOMMENTARER OG VURDERINGER	27
4.1 SNØUTFELLING I TAKET GENERELT	27
4.2 SNØUTFELLING I TAK MED LUFTEPALTE I TAKPLANET	27
4.3 SNØUTFELLING PÅ KALDT LUFTET LOFT	27
4.4 SNØUTFELLING I RAFTEKASSENE.....	28
4.5 SNØUTFELLING I LUFTEKANAL	28
4.6 LUFTHASTIGHET OG TRYKKTAP.....	29
4.7 FORSØKSBETINGELSENE – FORENKLINGER	29
5 KONKLUSJONER	30
6 LITTERATUR	31

1 Innledning

1.1 Formål og omfang

Hovedhensikten med forsøkene som er referert i denne rapporten var å undersøke noen alternative rafteløsninger for luftede, skrå tretak med hensyn til snøinndrift og fare for utfelling av snø inne i taket. Et annet formål var å måle trykkforhold utvendig ved raft samt forskjellige steder inne i taket for de samme rafteløsningene og sammenligne disse med beregnede verdier for validering av ulike beregningsmodeller.

Resultatene vil utgjøre en del av grunnlaget ved utarbeiding av anbefalte, praktiske løsninger og dimensjoneringsregler for lufting av tak ved ulike klimaforhold.

Laboratorieforsøkene genererte store mengder resultater fra vindtrykkmålingene, men kun deler av disse presenteres i denne prosjektrapporten. Ytterligere resultater finnes i [1].

1.2 Bakgrunn

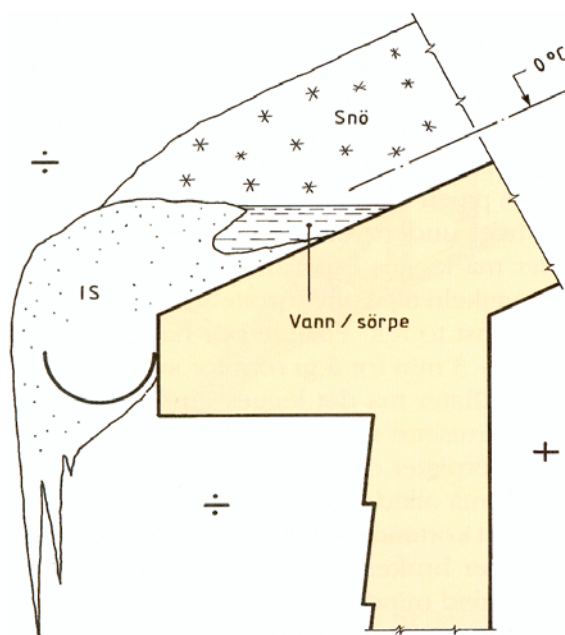
Lufting av takkonstruksjoner er ønskelig av to grunner:

- for å hindre smelting av snø og ising på takutstikket
- for å ventilere bort fuktighet fra takkonstruksjonen

Utilstrekkelig lufting kan føre til skader og fuktproblemer.

1.2.1 Snøsmelting

Ved for dårlig lufting vil taktekingen kunne bli så varm at snøen, som fungerer som en tilleggsisolasjon, smelter selv om det er minusgrader ute. Smeltevannet vil renne nedover takflaten og fryse til is oppe på det kalde takutstikket, i takrennen og i nedløpsrøret eller danne istapper som henger ned fra raftet. Istapper kan falle ned og representerer derfor en stor fare for folk som ferdes langs bygningen. Ising utgjør en tilleggsbelastning som kan bryte ned takrenner. Ising oppe på takutstikket kan også demme opp for smeltevannet som renner nedover taket slik at taktekingen blir stående under vanntrykk. Dette er illustrert i figur 1. Oppdemming av vann kan føre til vannlekkasjer gjennom taket og inn i bygningen.



Figur 1

Ved snøsmelting på taket kan smeltevannet fryse til is på takutstikket [2].

1.2.2 Uttørkingsevne

Fukt i konstruksjonen kan skyldes fukttilførsel utenfra, innenfra eller være innebygd fukt fra byggeperioden. Ved mangelfull utlufting kan fuktinnholdet bli høyt så lenge at det blir soppvekst i takkonstruksjonen. God uttørkingsevne ved riktig lufting av taket er derfor viktig for å redusere faren for skadelig soppvekst.

1.2.3 Inndrift av snø

Inndrift av snø kan imidlertid være et problem for luftede tak. Snø som trenger inn gjennom luftespalteåpningene og videre inn i taket kan felles ut og bli liggende inne i taket og føre til oppfukning av isolasjon og treverk.

Det er derfor to motstridende hensyn som må vurderes opp mot hverandre når en skal velge størrelse, plassering og utforming av åpningene til luftespalten, store spalteåpninger for å sikre best mulig lufting eller så små spalteåpninger som mulig for å hindre inndrift av snø. Små eller helst ingen luftespalteåpninger ved raft kan også være ønskelig for å redusere faren for brannspredning via taket.

På steder med mye vind og kuldegrader om vinteren blir gjerne det å hindre snøinndrift avgjørende og takene bygges tilnærmet uten luftespalteåpninger. På slike vindutsatte steder blåser snøen av takene på hus med begrenset størrelse og enkle takformer og faren for snøsmelting og ising kan derfor være liten selv om luftespaltene er tilnærmet uten åpninger ved raftene.

Ved utarbeiding av generelle løsninger er det derimot en utfordring å dimensjonere, utforme og plassere luftespalteåpningene slik at takene både får tilstrekkelig luftgjennomstrømning for utlufting av fukt og varme samtidig som de blir sikre nok mot inndrift og utfelling av snø inne i taket. Dette kan oppnås på flere måter.

Tradisjonelt brukes raftekasser for å redusere faren for snøinndrift. En raftekasse fungerer som snøutfellingskammer når lufthastigheten inne i kassen blir så lav, lenge nok, at snøen felles ut i raftekassen før luften strømmer videre inn gjennom luftespaltesystemet i taket. Lufthastigheten inne i kassen er i hovedsak bestemt av samlet strømningsmotstand for luftespaltesystemet, forskjellen i vindtrykk mellom inn- og utløp, og av tverrsnittsarealet inne i kassen. I teorien vil derfor en raftekasse, avhengig av geometrien, felle ut snøen så lenge vindhastigheten er under en viss grense. Denne ”grenseverdien” vil imidlertid også være sterkt avhengig av størrelsen på snøkornene. Desto mindre snøkornene er desto lavere må lufthastigheten være for at snøen skal felles ut.

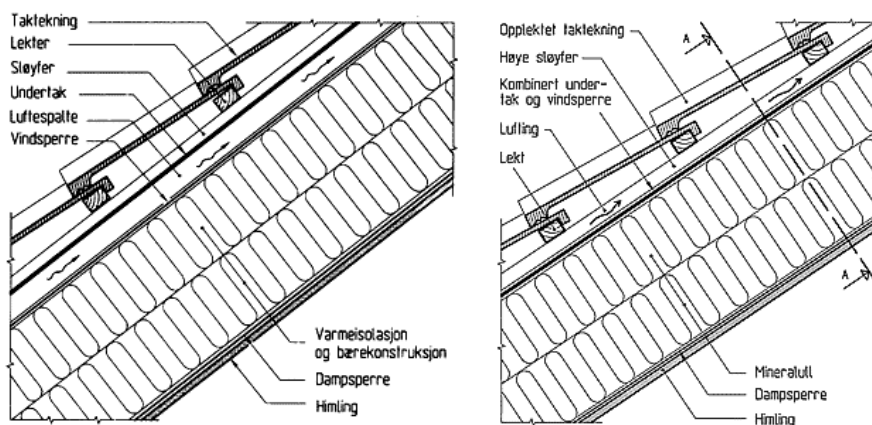
Ved hjelp av ”Jules Verne Klimatic Wind Tunnel” i Frankrike kunne vi undersøke noen alternative rafteløsninger og raftekassegeometrier med hensyn til snøinndrift og snøutfelling. Forsøkene ble gjennomført på en takmodell med raftekasser, spalteåpninger og luftekanaler i full målestokk, men på grunn av begrenset tid ble det gjennomført forsøk med snø ved bare én vindhastighet, 15 m/s.

En annen lovende metode for å hindre snøinndrift er å bruke en luftåpen filt i spalteåpningen. Ved å velge riktig filt og gi filten stort nok effektivt strømningsareal kan en sikre tilstrekkelig luftgjennomstrømning samtidig som filten effektivt hindrer snøinndrift. Løsninger med filt ble imidlertid ikke undersøkt i denne omgang.

1.2.4 To hovedvarianter av luftede skrå trectak

Skrå trectak med isolasjon i takplanet luftes ved at uteluft strømmer gjennom en eller flere luftespalter på kald side av isolasjonen. Hvis undertaket er damptett må utluftingen av fukt skje via en luftespalte på undersiden av undertaket. Tak med opplektet tekning får da to luftespalter hvorav den nederste transporterer vekk fukt, mens begge bidrar til å lufte vekk varme for å

hindre snøsmelting. Ved å bruke et dampåpent og lufttett undertak er det tilstrekkelig med den ene luftspalten mellom undertaket og tekningen. Det forutsetter at sløyfehøyden er stor nok. Størrelsen på luftgjennomstrømningen er hovedsakelig bestemt av trykkforskjellen mellom innløp og utløp og av det trangeste tverrsnittet i luftekanalen. Det trangeste tverrsnittet er bestemt av sløyfehøyden og av innsnevringene ved raft og møne. Figur 2 viser de to hovedvariantene for lufting av skrå isolerte tak.

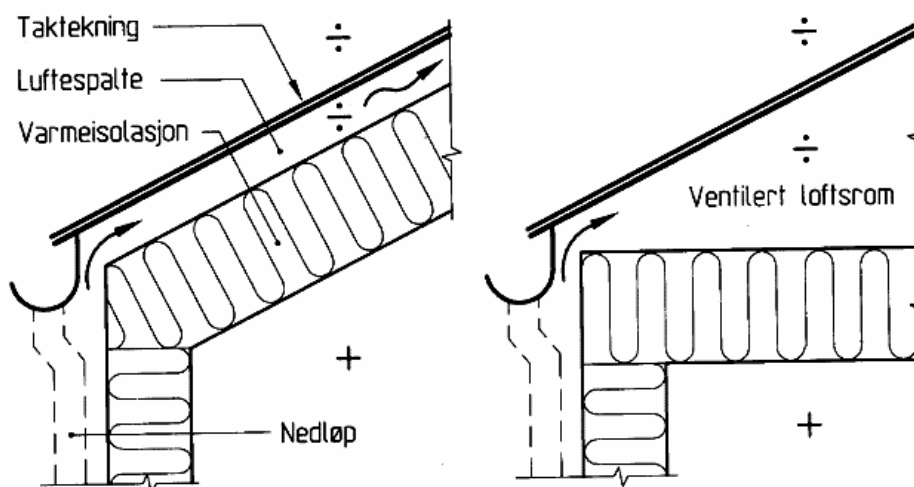


Figur 2

Isolert skrått tak med lufthing både over og under undertak til venstre [3] og skrått tak med en luftespalte og kombinert undertak og vindsperre til høyre [4].

En tredje variant for skrå trettak er tak med kaldt loft hvor all varmeisolasjon ligger horisontalt i etasjeskilleren. Det kalde loftsrommet over kan brukes for gjennomstrømning av uteluft via spalteåpninger ved raftene og eventuelt i mønet og i gavlveggene. Slike loft er spesielt utsatt for inndrev av snø som felles ut inne på loftet. Tak med kaldt luftet loft er vist sammen med tak med isolasjon i takplanet i figur 3.

Ved å benytte dampåpent undertak kan kalde loft bygges uten behov for gjennomstrømning av uteluft og derfor utføres uten åpninger ved raft eller andre steder. Eventuell fukt på det kalde loftet vil diffundere ut gjennom det dampåpne undertaket og ventileres bort via en luftespalte mellom undertaket og tekningen på samme måte som for taket til høyre i figur 2. Et kaldt lukket loft vil være effektivt beskyttet mot at snø driver inn på loftet.



Figur 3

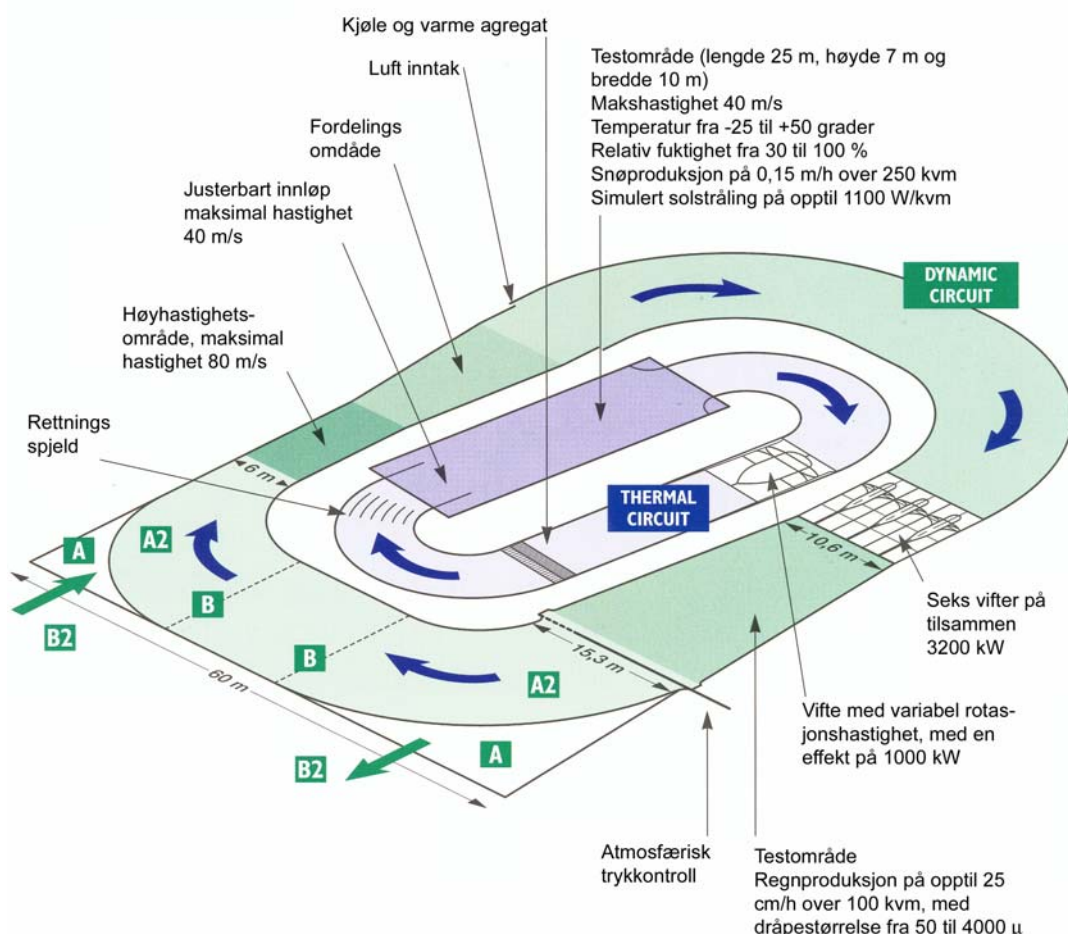
Tak med varmeisolasjon i takflatene og tak med kaldt loftsrom [5].

2 Laboratorieforsøk

2.1 Vindtunnelen

Forsøkene med snøinndrift i kalde tak ble utført ved *Jules Verne Climatic Wind Tunnel* i Nantes, Frankrike. Vindtunnelen drives av "Centre Scientifique et Technique du Batiment" (CSTB), som er et fransk forskningsinstitutt. Det aktuelle anlegget består av blant annet en *klimatisk* og en *dynamisk* vindtunnel. Den klimatiske tunnelen som ble benyttet i forsøkene kan reprodusere forskjellige klimatiske forhold med gode variasjonsmuligheter. Lufthastigheten kan varieres mellom 0 og 40 m/s, temperaturen mellom -25 og 40 °C, relativ fuktighet mellom 30 og 100 % og maksimal solstråling kan settes til 1100 W/m². I tillegg kan regn- og snøintensiteten varieres. Tunnelene er skjematisk framstilt i figur 4. Her ser man at den klimatiske tunnelen som ble benyttet i forsøkene ligger innenfor den dynamiske vindtunnelen.

I våre undersøkelser ble snøinntrengning og snølagring i en takkonstruksjon med ulike rafteløsninger studert. I tillegg ble trykkfordeling og lufthastighet i luftespalten målt.



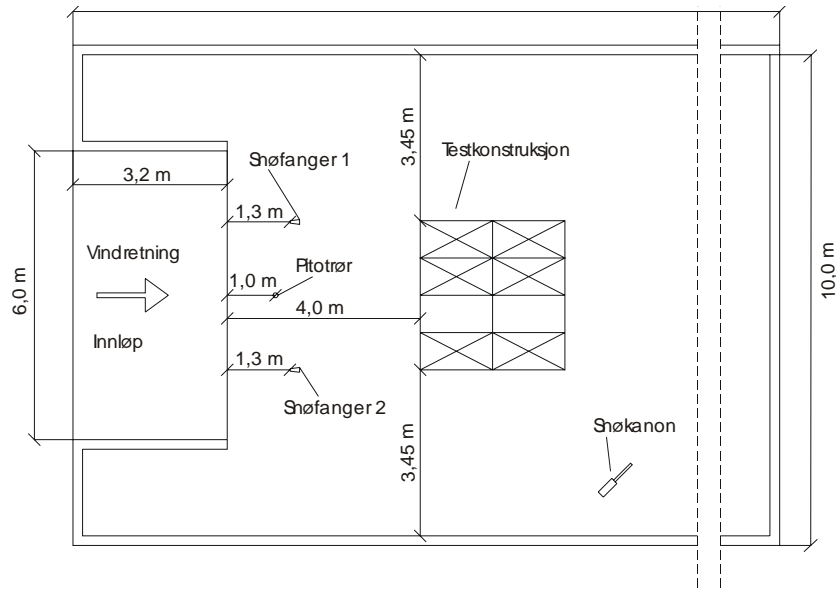
Figur 4
Skjematisk framstilling av Jules Verne Climatic Wind Tunnel.

2.1.1 Testbetingelser i tunnelen

Forsøkene ble gjennomført med og uten snø. Først ble konstruksjonen utsatt for vindhastighet uten snø for å undersøke trykkfordelingen og lufthastigheten på utvalgte steder i konstruksjonen. Hastigheten i tunnelen ved disse forsøkene var 5, 10 og 15 m/s, mens lufthastigheten var 15 m/s ved alle forsøkene med snødrift. Dette tilsvarer stiv kuling i følge

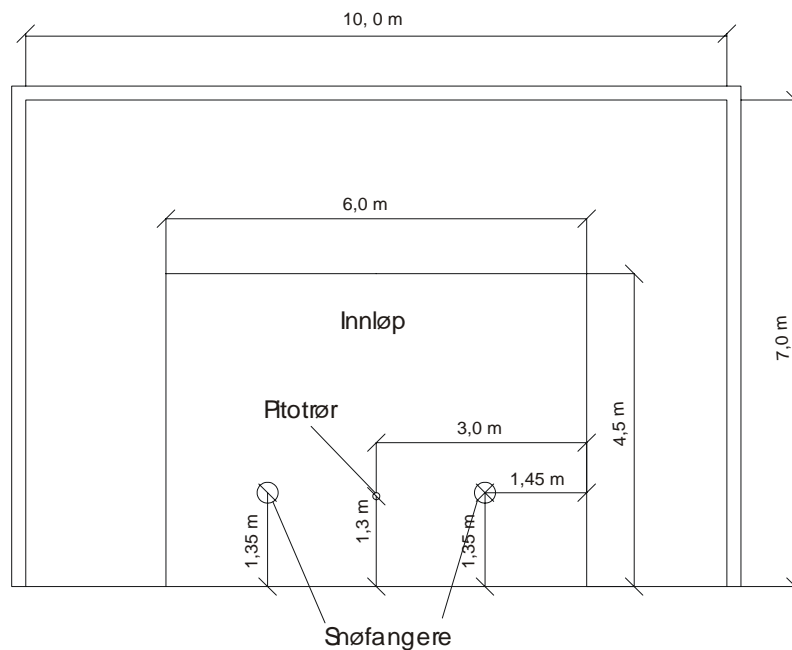
Beauforts skala for vindhastigheter. Snøen ble produsert tørrest mulig ved hjelp av snøkanon som sprøytet snøen inn på baksiden av konstruksjonen. Snøen ble derfor transportert en runde i tunnelen før den traff konstruksjonen. Temperaturen i tunnelen var $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ under alle forsøkene. Snøkonsentrasjonen i lufta ble forsøkt målt under hvert forsøk ved hjelp av to snøfangerer i front av testkonstruksjonen. Snøfangerne bestod av bøtter som var rettet mot vinden, med sirkulær åpning og diameter på 156 mm (se også kapittel 2.4.3). Vindhastigheten ble målt med pitotrør.

Figur 5 og 6 viser vindtunnelen, plasseringen av konstruksjonen og plassering av snøfangerer og pitotrør. Konstruksjonen er plassert i lik avstand fra begge sideveggene, og med en avstand på fire meter fra innløpet til tunnelen.



Figur 5

Plassering av konstruksjonen og måleutstyr i vindtunnelen. Figuren viser et utsnitt av testområdet, med mål angitt i meter.



Figur 6

Snitt av vindtunnelen, mot innløpet til testområdet. Målene er angitt i meter.

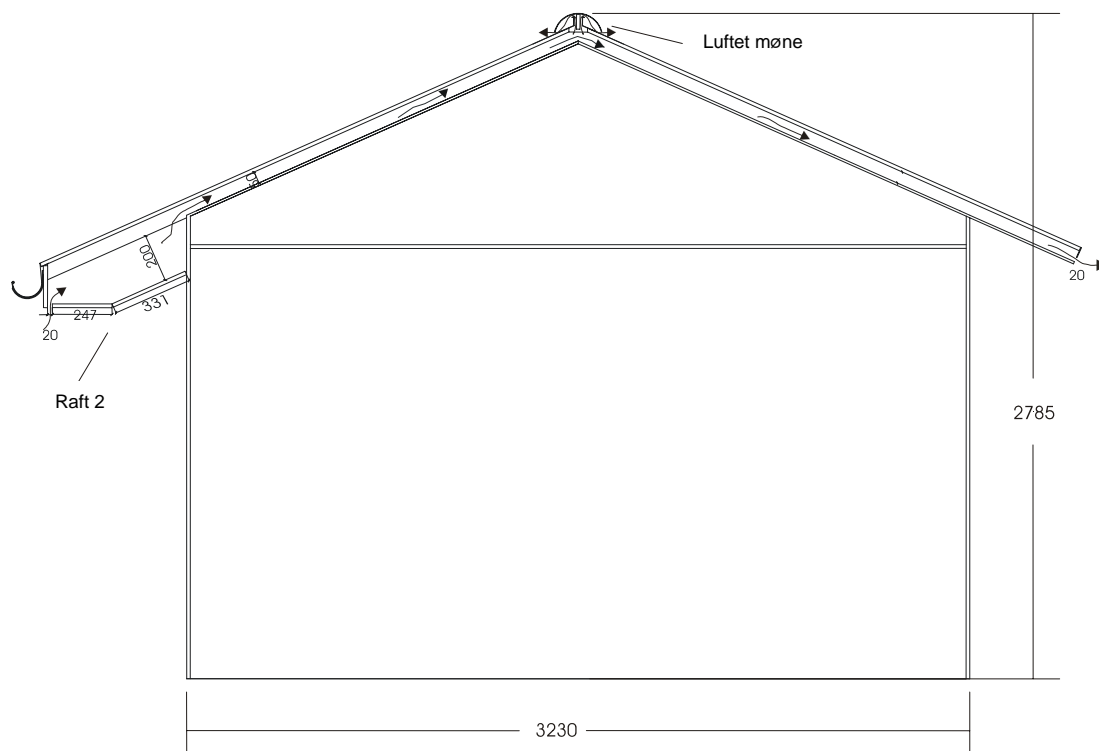
2.2 Konstruksjon

To hovedvarianter av taket ble undersøkt i vindtunnelen med hensyn på snøinndrift og utfelling av snø inne i taket, en med en jevntykk luftespalte i takplanet og en variant med luftet kaldt loft. Begge er beskrevet nedenfor og vist i figurene 7 og 12.

Den første varianten som ble undersøkt var bygd som et isolert skråtak med all lufting i en luftespalte mellom tekning og undertak. Spaltehøyden mellom taktro og vindsperre/undertak var 50 mm, og takvinkelen 24° . Denne lufteløsningen ble valgt fordi den er den mest aktuelle løsningen i nye norske småhus. Det var også mest interessant å undersøke trykkfordelingen gjennom luftespalten for denne varianten for validering av tidligere utførte strømningsberegninger og for sammenligning med andre laboratorieforsøk.

Den første hovedvarianten ble undersøkt med to forskjellige rafteløsninger mens varianten med kaldt luftet loft ble undersøkt med til sammen syv forskjellige rafteløsninger (se kapittel 2.3). De ulike rafteløsningene ble i tur og orden montert på lo side av konstruksjonen. På le side ble det brukt en enklere felles løsning for å spare arbeid og tid. Spalteåpningen ble imidlertid justert for hvert forsøk slik at den var like stor som på lo side. Dvs. at åpningen på le side var 2 cm stor når det var en raftekasse som ble undersøkt, og åpningen var 5 cm når det ble gjort forsøk uten raftekasse.

Testbygningen for første hovedvariant, med all lufting i en luftespalte mellom tekning og undertak, er vist i figur 7. Rafteløsning nr. 2 er vist montert på lo side av bygningen, til venstre i figuren.



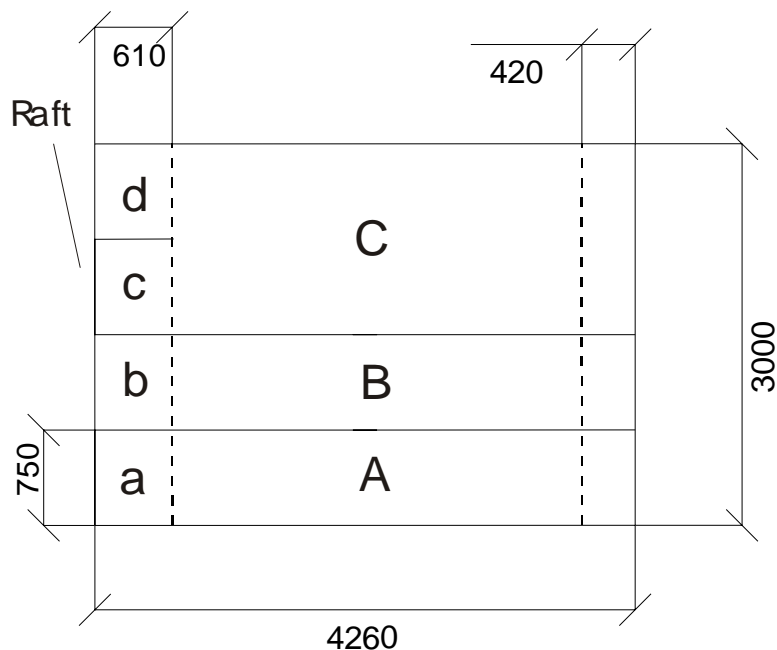
Figur 7

Snitt av takløsningen med isolasjon i takflatene. Pilene angir luftstrømningsmulighetene. Rafteløsning 2 er montert på lo side av konstruksjonen.

Modellen som ble benyttet har en bredde på 3 meter, med senteravstand 750 mm mellom taksperrene. Planskisse av takkonstruksjonen er vist i figur 8.

Taktekningen besto av kryssfiner, men med pleksiglass på seksjon B, se figur 8 og 9. Pleksiglasset muliggjorde visuell kontroll av snøinndrift og snøutfelling mens forsøkene pågikk

For takløsningen vist i figur 7 ble mønet utført som et luftet møne, bestående av en mønepanne plassert over et mønebord og med snøstopper i metall, se figur 10. Figuren viser også plasseringen av trykksensorene (luftslanger) som ble benyttet for denne konstruksjonen. Det var montert trykksensorer bare i seksjonen med pleksiglass.



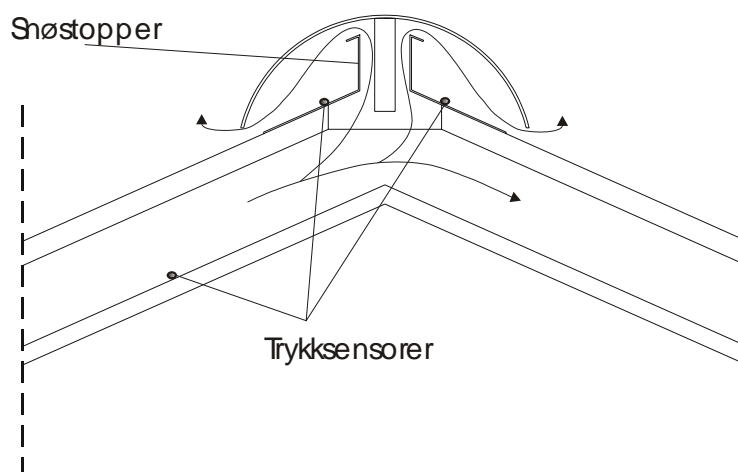
Figur 8

Planskisse av takkonstruksjonen som viser oppdeling i felter for løsningen luftet kalt loft (det er fire 600 mm lange luftkanaler fra raftekassene, merket a, b, c og d i figuren, og inn til loftet, se også figur 15). For takkonstruksjonen med all lufting i en luftespalte mellom tekning og undertak var felt C delt i to like store deler. Mål er angitt i millimeter.



Figur 9

Fotografi av konstruksjonen som ble testet ved CSTB.



Figur 10
Mønekonstruksjon som ble benyttet under innledende forsøk.



Figur 11
Plassering av trykkslanger på tre steder i raftet.

Figur 11 viser hvordan trykket ble målt for den ene rafteløsningen som ble studert (ingen raftekasse). For å få en trykkverdi for innløpet til takkonstruksjonen ble trykket på tre steder midlet ved at slangene fra de tre målepunktene ble koblet sammen.

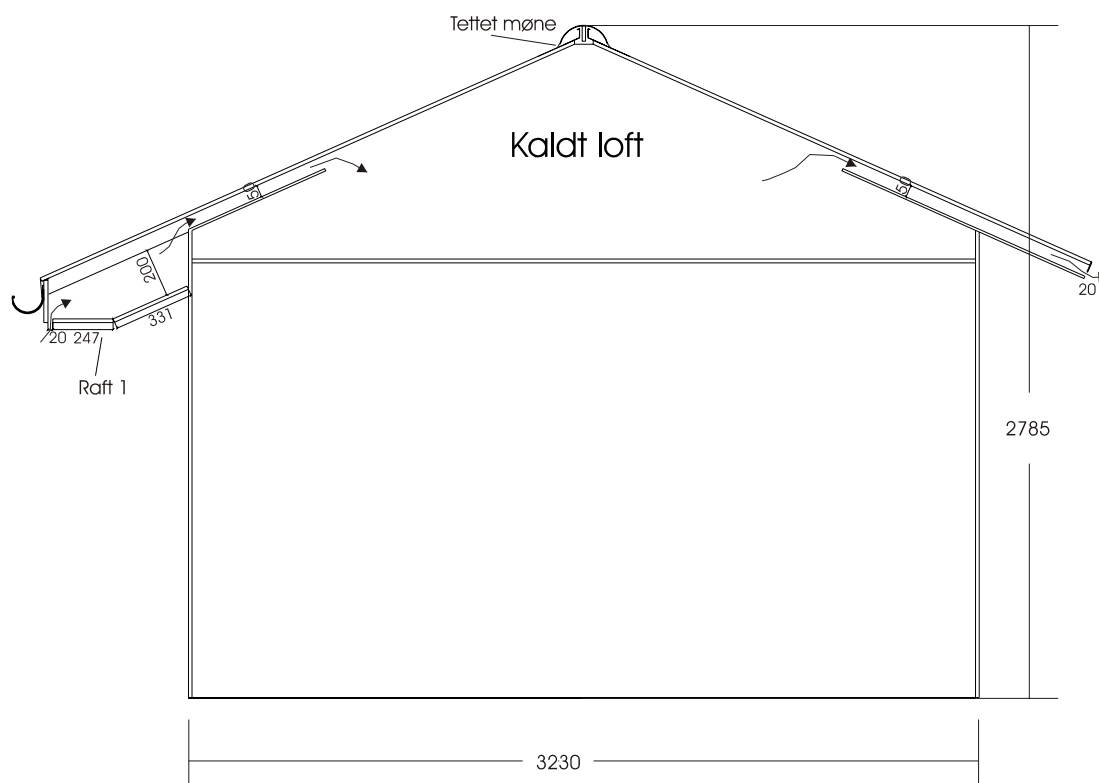
I forsøkene for takløsningen med 50 mm høy luftspalte langs hele taket, som når isolasjonen ligger i skråtaket, ble det målt høye hastigheter i luftkanalen, både på lo og le side av taket. Selv om vindhastigheten ble redusert fra 15 til 10 m/s, ble det ikke akkumulert snø inne i luftespalten for løsningen uten raftekasse (raft 1). Visuell kontroll bekreftet at snøen blåste direkte gjennom luftespalten og ut på le side uten at det ble felt ut snø inne i luftespalten.

Selv etter påmontering av en raftekasse (raft 2, se kap. 2.3.2) ble oppsamlet snømengde ubetydelig. En ytterligere innsnevring av spalteåpningen ved raft ville sannsynligvis ført til snøutfelling i raftekassen men dette ble ikke undersøkt. I stedet ble taket bygd om til kaldt luftet

loft som vist i figur 12. Det ble gjort for å ha bedre mulighet til å sammenligne de ulike løsningene med hensyn på fare for snøutfelling inne i taket.

For tak med kaldt, luftet loft er hele loftsrommet en del av luftspaltesystemet som uteluften strømmer gjennom. Tverrsnittet for denne strømningskanalen varierer mye og er minst i innløpsåpningen ved raft og størst rett under mønet (som vist i figur 12). Denne tverrsnittøkningen fører til en betydelig hastighetsreduksjon når luften strømmer inn på loftet og økt risiko for snøutfelling.

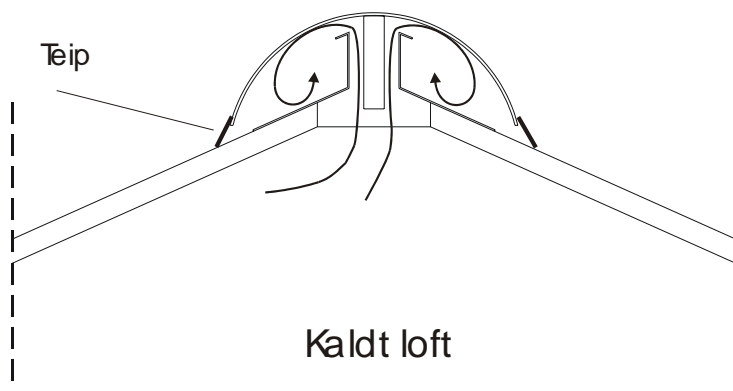
Ved ombyggingen til tak med kaldt loft ble undertaket/vindsperren delvis fjernet, og en horisontal etasjeskiller ble montert i høyde med innløpet til kanalen. Dette ble gjort for å kunne måle snømengden som avsettes inne på loftet, i tillegg til snøen som felles ut i raftekassen og i luftespalten mellom raft og loft. Figur 12 viser et tverrsnitt av taket etter ombyggingen og med en 600 mm lang luftkanal fra raftet og inn til loftet.



Figur 12
Konstruksjonen etter ombygging. Pilene angir mulige veier for luftstrømning.

Loftet ble delt opp i tre seksjoner for å kunne undersøke fordelingen av utfelt snø på loftet. Det ble delt i tre deler, slik at arealet i seksjon C var like stort som arealet i A og B til sammen. Figur 8 viser oppdelingen av loft og raft.

Ved ombyggingen ble mønet tett med teip ved overgang mellom mønepanne og takflate slik at det ble en møneløsning uten lufting. Dermed kom snøen inn i konstruksjonen kun igjennom åpningen ved raftet og snøen slapp heller ikke ut igjennom mønet. Figur 13 viser møneløsningen etter ombygging til kaldt loft.



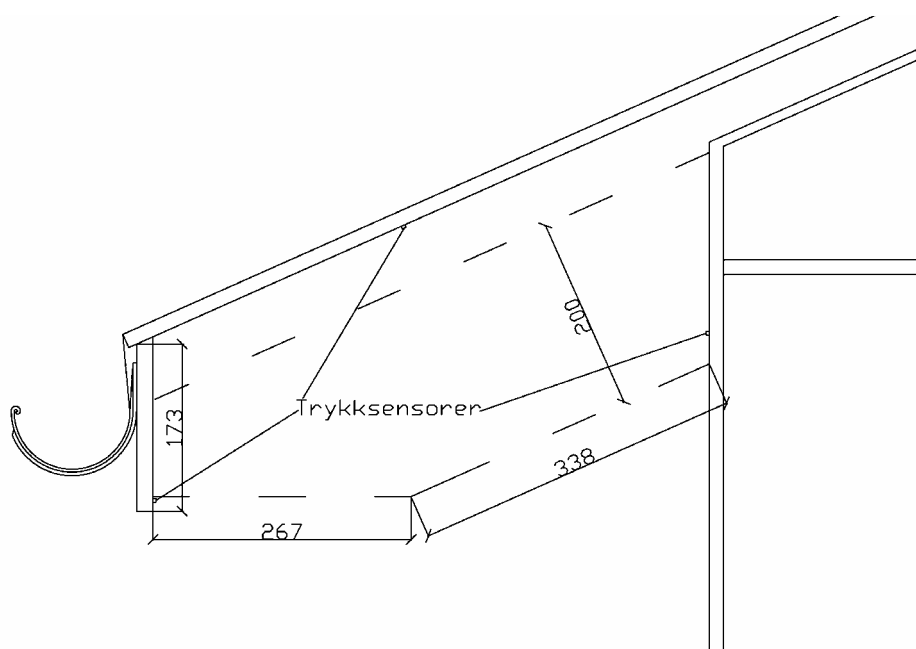
Figur 13
Utforming av mønekonstruksjon etter ombygging.

2.3 Løsninger ved raft

Det ble utført forsøk med 7 forskjellige løsninger ved raft hvorav 6 med snødrift. De ulike løsningene betegnes nedenfor som "raft 1" til "raft 5". Den første løsningen er helt åpen; det vil si ingen raftekasse, mens raft 2 og 3 har en lufteåpning på 20 mm. Dette er norske løsninger som blir benyttet i dag, men størrelsen på spalteåpningen varierer mye fra sted til sted, fra full åpning til "helt tett", avhengig faren for inndriv av snø. Raft 4 og 5 er grønlandske raftekasseløsninger med en annen oppbygging, ved at det er montert en "snøskjerm" inne i raftekassen. Raft 3 og 4 ble også undersøkt etter noe modifisering og benevnes da som henholdsvis 3b og 4b. De ulike løsningene er beskrevet mer detaljert nedenfor.

2.3.1 Raft 1

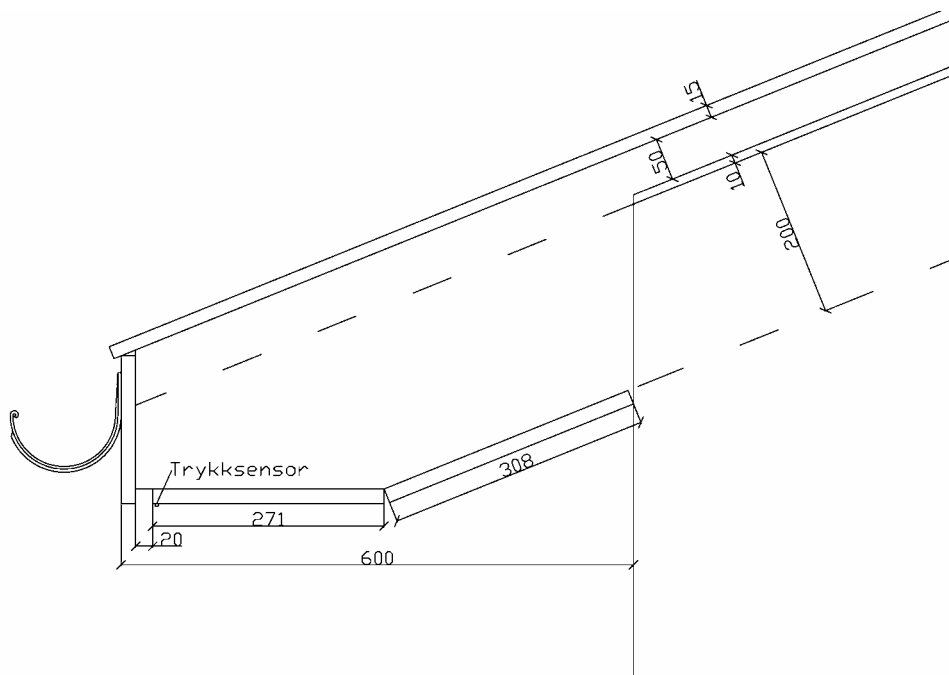
Raft 1 var den første løsningen som ble prøvd, se figur 14. Luftespalten har full åpning og det er ingen raftekasse, noe som gjør at det blir liten hastighetsreduksjon og mye snø kan blåse med inn i konstruksjonen. Trykksensorene (slangeendene) ble plassert på tre forskjellige steder. Trykkverdier ble midlet til en verdi ved at slangene var koblet sammen til en felles slange. Se også foto i figur 11.



Figur 14
Raft 1, rafteløsning uten raftekasse.

2.3.2 Raft 2

Figur 15 viser utførelse av raft 2 og plassering av trykkslange.

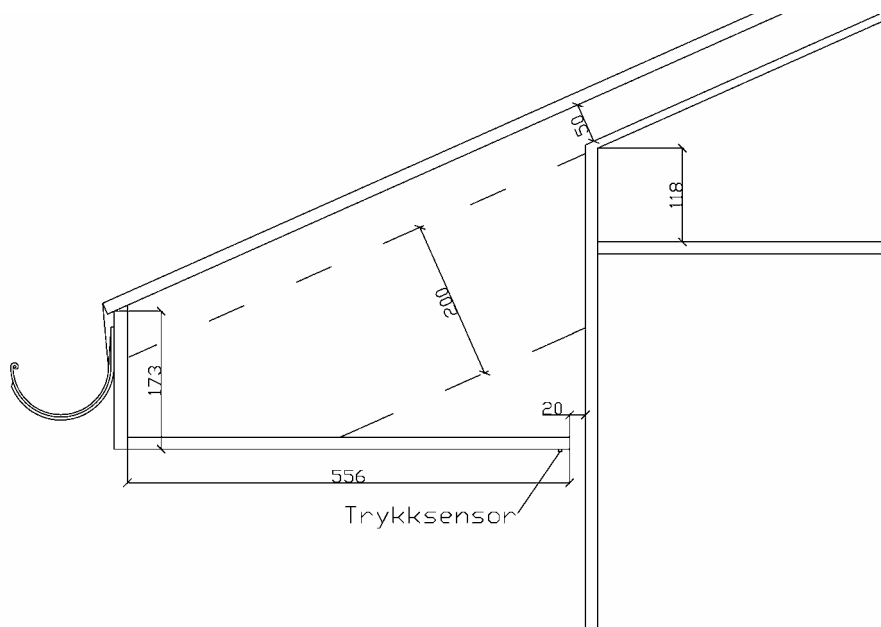


Figur 15

Raft 2 har påmontert raftekasse med lufteåpning på 20 mm ute ved raftbordet.

2.3.3 Raft 3a

Raft 3a har lufteåpningen inne ved husveggen, og hele bunnen i raftekassen er horisontal. Se figur 16.



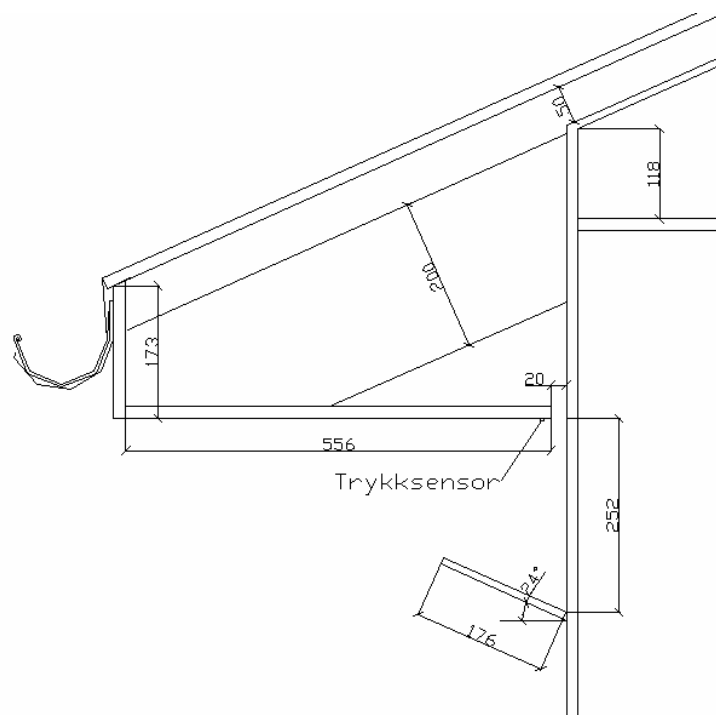
Figur 16

For raft 3a er lufteåpningen plassert helt inntil ytterveggen.

Plassering av luftespalteåpningen helt inn mot veggkledningen frarådes fordi det gir ekstra stort snøinndriv. Løsningen ble tatt med i forsøkene for å sammenligne to ytterpunkter når det gjelder plassering av luftespalteåpninger for raftekasser og betydningen det har for snøinndrift.

2.3.4 Raft 3b

Raft 3b er en modifisert utgave av raft 3a ved at det ble montert en vind- og snøavleder nedenfor luftespalteåpningen. Denne løsningen ble prøvd for å undersøke i hvilken grad et slikt bord ville lede luftstrømmen og dermed også snøen vekk fra innløpet. Avstand til luftekanal og vinkel i forhold til veggen er avpasset slik at forlengelseslinjen til avlederen tangerer hjørnet på raftekassen. Vinkelen er 24 grader, det samme som takvinkelen. Raft 3b er vist i figur 17.

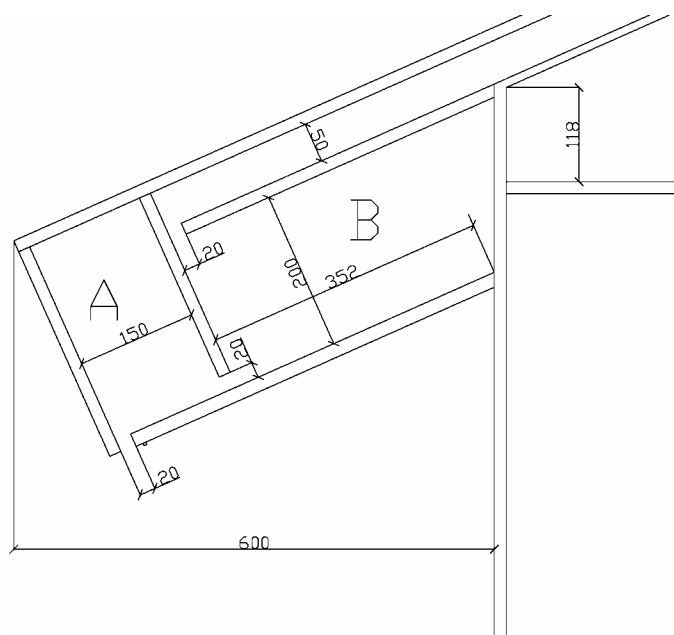


Figur 17

Raft 3b er lik raft 3a, men har i tillegg en snøskjerm montert på veggen

2.3.5 Raft 4

Raft 4 og 5 er rafteløsninger utviklet i Grønland av Tegnestuen Nuuk. Disse løsningene har en litt annen grunnkonstruksjon enn de øvrige raftene. Raftebordet står vinkelrett på taksperene, raftekassen er skrådd med samme vinkel som taket, og det er ikke montert takrenne. Det er i tillegg montert en snøskjerm inne i raftekassen for å redusere lufthastigheten, og endre strømningsretningen slik at snøen avsettes før den driver videre inn i konstruksjonen. I raft 4 er snøskjermen plassert 150 mm fra raftebord, som vist i figur 18.



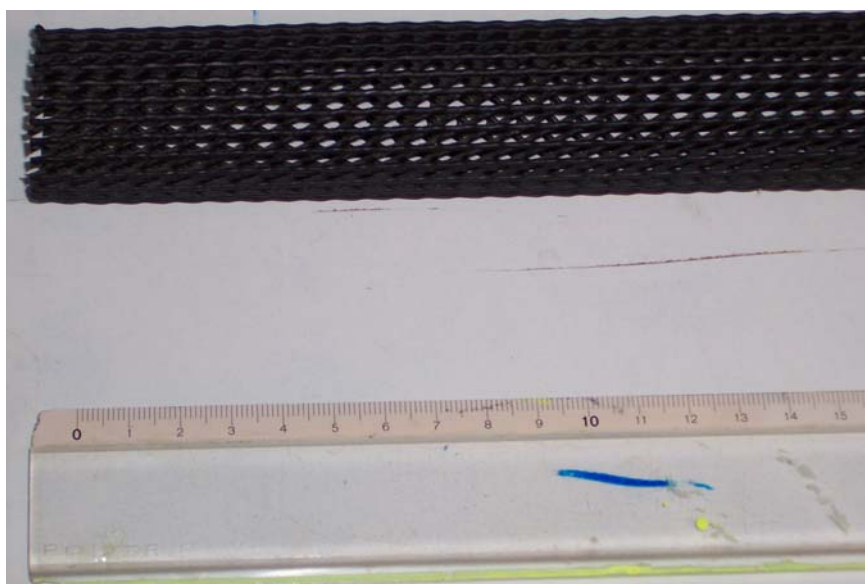
Figur 18

Raft 4 er basert på en grønlandsk løsning (TENU 1) som har en snøskjerm inne i raftekassen.

2.3.6 Raft 4b

Raft 4b er tilsvarende Raft 4, men med netlon (se figur 19) i luftespalten mellom raftekassen og loftet. For denne løsningen ble kun lufthastighet i kanalen og trykkfordeling målt.

Undersøkelsen skulle vise i hvilken grad netlon reduserer luftgjennomstrømningen i kanalen.

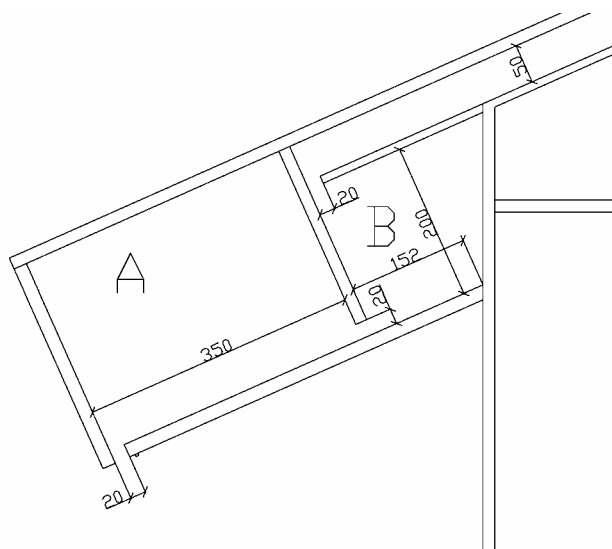


Figur 19

Netlon som ble benyttet i raft 4b.

2.3.7 Raft 5

Raft 5 er i hovedsak lik raft 4, men snøskjermen er flyttet nærmere husveggen slik at avstanden til raftbordet blir 350 mm. Ved denne variasjonen kan man undersøke om plasseringen av snøskjermen har innvirkning på avsetningsmengden av snø i raftet, og videre innover i konstruksjonen. Figur 20 viser raft 5, med snøskjermen plassert 350 mm fra raftbordet.

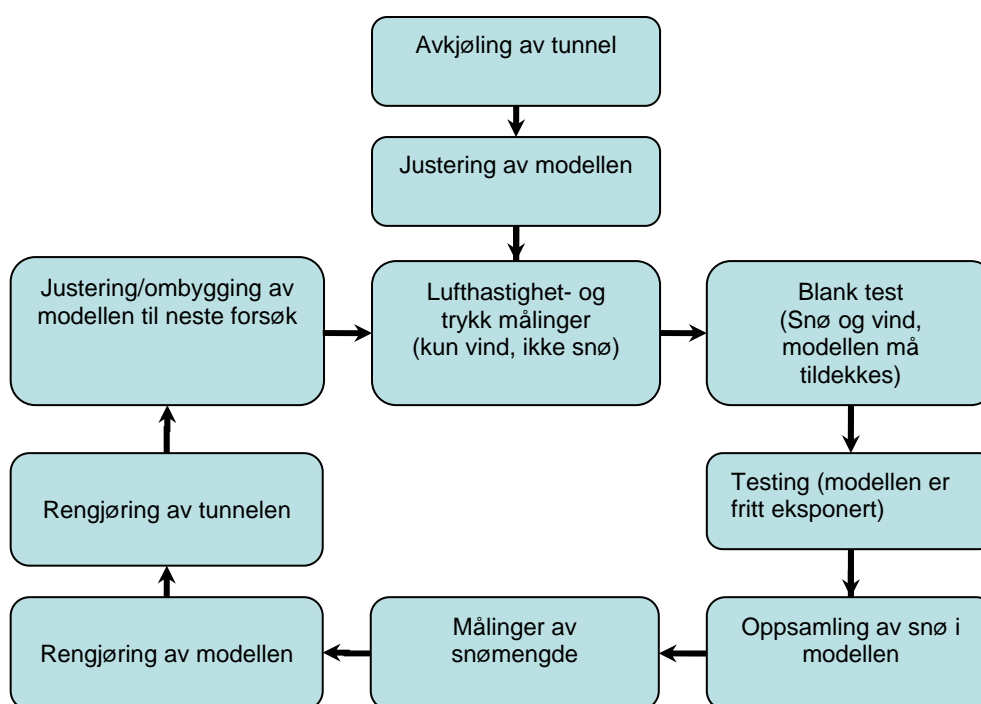


Figur 20

I raft 5 (TENU 2) er snøskjermen flyttet lenger inn mot vegg i forhold til raft 4.

2.4 Gjennomføring av forsøkene

Flytskjemaet i figur 21 beskriver arbeidsgangen i kronologisk rekkefølge.



Figur 21

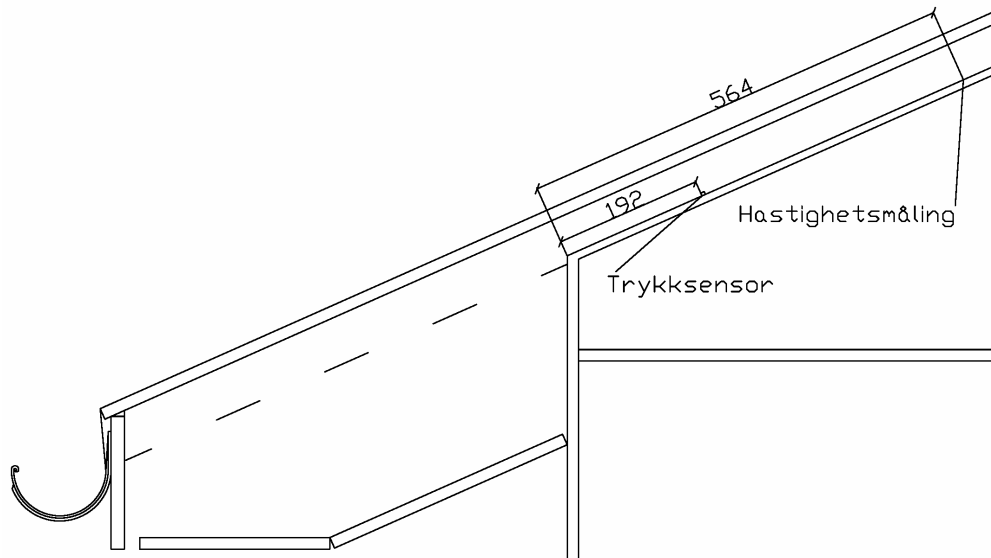
Flytskjema som viser testprosedyren.

Trykk, lufthastigheter og akkumulerte snømengder ble målt ulike steder i konstruksjonen. Disse parameterne skulle danne et grunnlag for senere vurderinger av både luftekapasitet og risiko for snøinndrift og snøutfelling inne på loftet for ulike rafteløsninger.

2.4.1 Trykkmålinger

Det ble gjort trykkmålinger i og rundt konstruksjonen for å bestemme drivtrykk og trykktap over konstruksjonsdeler, i til sammen sju punkter. Statisk og dynamisk trykk ble målt ved hjelp av pitotrør, som var plassert foran bygningen og over mønet. I denne rapporten omhandles kun trykkmålinger i raft og i luftkanalen mellom raft og loft.

Trykkmålingen ble gjort ved hjelp av mikromanometre og tynne slanger fram til målepunktene. Plassering av målepunktene i luftkanalen er vist i figur 22. Plasseringen i raft ble tilpasset for hver enkelt rafteløsning som vist i figurene 14 - 18 og i figur 20.



Figur 22

Plassering av trykksensor og hastighetsmåler i kanalen.

2.4.2 Måling av lufthastighet

Lufthastigheten i luftkanalen ble målt i seksjon B ved alle forsøkene. Målinger ble gjort på både lo og le side med tre forskjellige vindhastigheter i tunnelen. Målingene ble utført med et anemometer, som ble plassert i luftkanalen gjennom et hull i pleksiglasset. Målepunktet for hastighetsmålingene på lo side er vist i figur 22. På le side var det plassert i tilsvarende avstand fra raftet som på lo side. Anemometeret som er vist i figur 23 hadde et måleområde ned mot omtrent 0,5 m/s.



Figur 23

Fotografi av anemometeret som ble benyttet til måling av lufthastighet i luftkanalen.

2.4.3 Måling av snøkonsentrasjon og utfelte snømengder

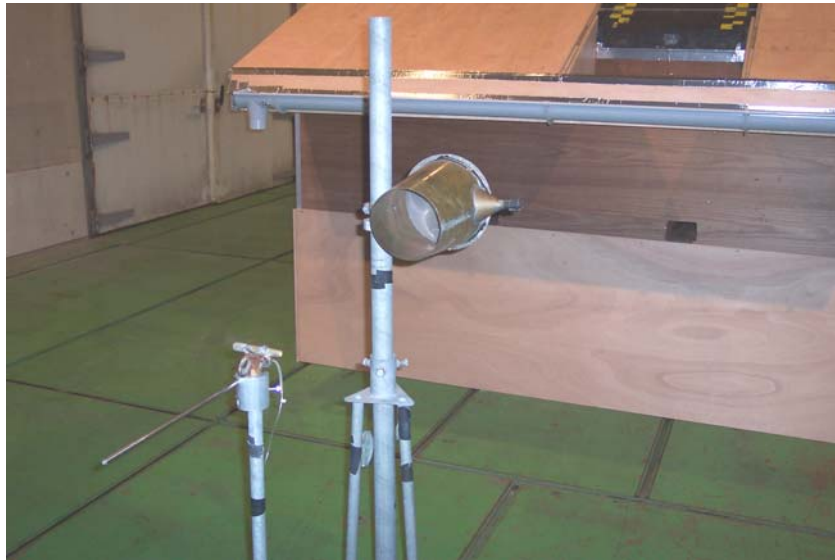
Snøkonsentrasjonen i lufta ble forsøkt målt under hvert forsøk ved hjelp av to snøfangerere (se figur 24) som var plassert foran modellen som vist i figurene 5 og 6. Snøfangererne bestod av bøtter som var rettet mot vinden, med sirkulær åpning og diameter på 156 mm. Åpningene var rettet mot vindretningen og plassert 1,35 m over gulvet. De ble satt inn i tunnelen i ti minutters intervaller og deretter ble den oppsamlede snøen veid. Oppsamlet snømengde i fangerne ble veid for hver enkelt forsøk. Dette ble gjort for å undersøke hvor stabile snøforholdene var under forsøkene. Middelerdien for alle prøvene var ca. 200 gram på ti minutter eller $3,3 \times 10^{-4}$ kg/s. Fra dette kan den horisontale snøfluksen beregnes:

$$Q_{hor} = \frac{3,3 \times 10^{-4} \text{ kg / s}}{0,019 \text{ m}^2} = 1,7 \times 10^{-2} \text{ kg / m}^2 \text{ s} \quad [1]$$

Ut fra horisontal snøfluks og vindhastighet kan en bestemme konsentrasjonen av snø i luften:

$$C_{snow} = \frac{0,017 \text{ kg / m}^2 \text{ s}}{15 \text{ m / s}} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ kg / m}^3 \quad [2]$$

En middelerdi for snøkonsentrasjonen i tunnelen for alle forsøkene blir da i overkant av ett gram snø per m^3 luft.



Figur 24

Bildet viser utformingen av snøfangererne. Plasseringen av snøfangererne er vist i figurene 5 og 6.

Under forsøkene ble utfelt snømengde i raft, luftekanal og på loftet målt etter en periode med snø- og vindpåkjenning. For raft 1, som ikke hadde raftekasse, varte gjennomkjøringsperioden en time, mens de øvrige forsøkene hadde en varighet på to timer. Etter fullført prøving ble snøen i raft, luftekanal og kaldt loft samlet opp og veid for hver seksjon av raft (a-d), luftekanal (a-d), og loft (A-C), se figur 8.

Figur 25 viser eksempel på snø på kaldt loft etter fullført testperiode før snøen er skrappt ut og veid.



Figur 25
Utfelt snø inne på kaldt luftet loft, seksjon B.

3 Resultater

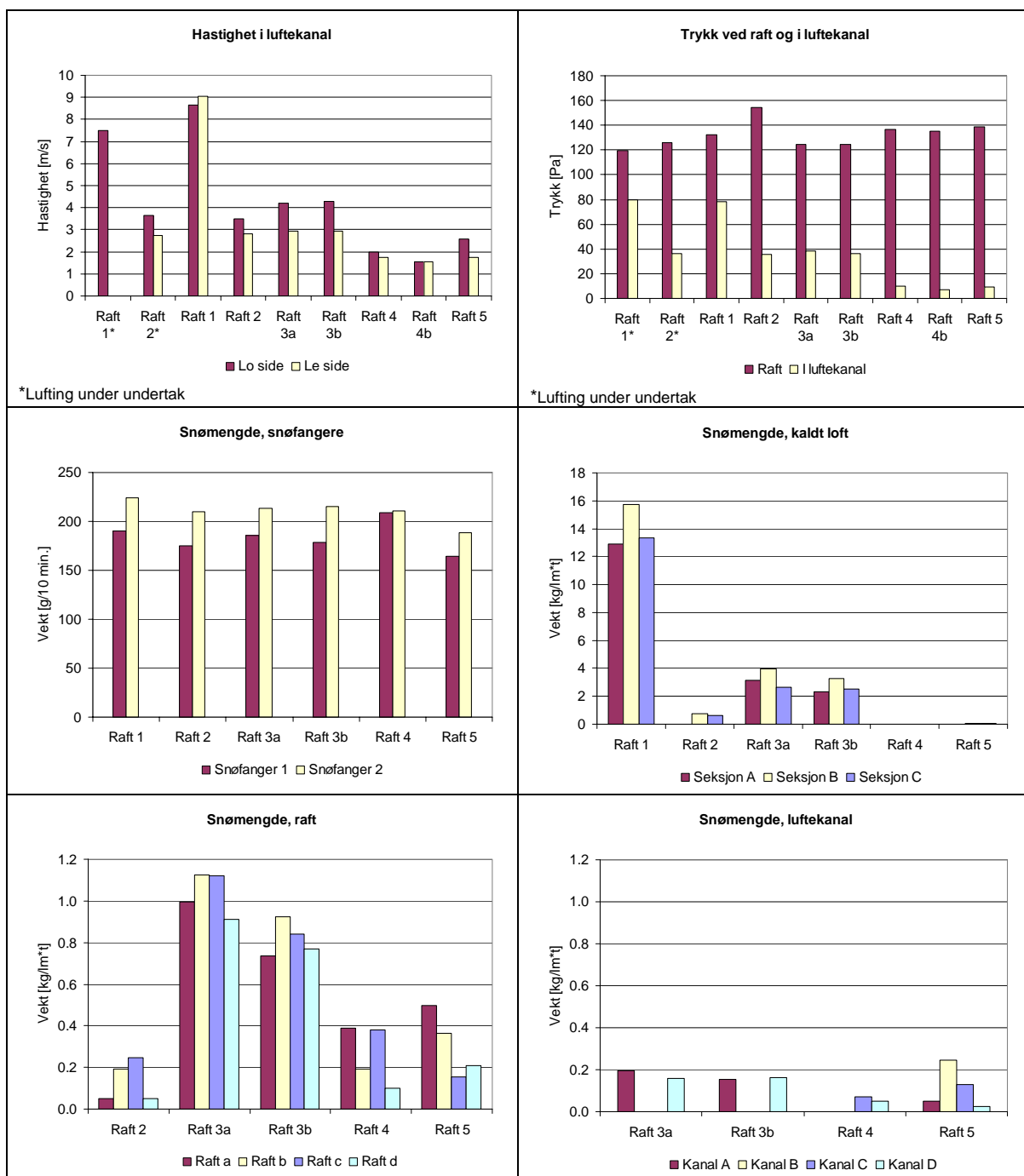
Tabell 1 viser de viktigste resultatene fra undersøkelsene av snøinndrift og snøutfelling i de ulike delene av takkonstruksjonen. Flere resultater finnes i [1]. I andre og tredje kolonne er verdiene for første hovedvariant, tak med all lufting i en jevntykk luftekanal i takplanet vist. Resultatene for den andre hovedvarianten, kaldt luftet loft, er vist i de øvrige kolonnene.

Tabell 1. Resultater fra forsøkene.

Raft nr.	Tak med luftekanal		Kaldt luftet loft						
	1	2	1	2	3a	3b	4	4b	5
Hastighet i luftekanalen [m/s]									
Lo side	7,5	3,6	8,7	3,5	4,2	4,3	2	1,5	2,6
Le side	-	2,7	9	2,8	2,9	3	1,7	1,5	1,7
Middelverdi	7,5	3,2	8,9	3,2	3,6	3,7	1,9	1,5	2,2
Trykk [Pa]									
Raft	119	126	133	154	124	125	136	135	139
Luftspalte, statisk	80	36	78	36	39	36	10	7	9
Luftspalte, dynamisk	38	6,7	53	6,7	8,5	8,9	2,3	1,5	3,1
Trykktap	2	84	2	112	77	80	124	127	126
Utfelt snø i snøfangerne [kg/10 min]									
Snøfanger 1	-	-	0,19	0,18	0,19	0,18	0,21		0,16
Snøfanger 2	-	-	0,22	0,21	0,21	0,22	0,21		0,19
Middelverdi	0,20	0,20	0,21	0,19	0,20	0,20	0,21		0,18
Beregnet snøkonsentrasjon i vindtunnelen [kg/m³]									
Middelverdi	0,0011	0,0011	0,0012	0,0011	0,0012	0,0011	0,0012		0,0010
Utfelt snø inne på det kalde loftet [kg/m²]									
Seksjon A	-	-	12,9	0,03	3,17	2,32	0,00		0,00
Seksjon B	-	-	15,7	0,78	3,98	3,30	0,03		0,08
Seksjon C	-	-	13,3	0,60	2,62	2,54	0,02		0,04
Veid middelverdi	-	-	13,8	0,50	3,10	2,68	0,02		0,04
Utfelt snø i luftspalten [kg/m²]									
Kanal a [Rom A]	0	0			0,19	0,16	0,00		0,05
Kanal b [Rom B]	0	0			0,00	0,00	0,00		0,25
Kanal c [Rom C]	0	0			0,00	0,00	0,07		0,13
Kanal d [Rom C]	0	0			0,16	0,16	0,05		0,03
Middelverdi	0	0			0,09	0,08	0,03		0,12
Utfelt snø i raftekassen [kg/m²]									
Raft a [Rom A]	-	0		0,05	0,99	0,74	0,39		0,50
Raft b [Rom B]	-	0		0,19	1,12	0,92	0,19		0,36
Raft c [Rom C]	-	0		0,25	1,12	0,84	0,38		0,15
Raft d [Rom C]	-	0		0,05	0,91	0,77	0,10		0,21
Middelverdi	-	0		0,14	1,04	0,82	0,27		0,31
Sum utfelt snø i taket, middelverdier for alle seksjonene [kg/m²]									
Middelverdi	0	0	13,8	0,64	4,23	3,58	0,32		0,46
Beregnet, teoretisk snøinndrift (snøkonsentrasjon*luftstrøm gjennom taket) [kg/m²]									
Middelverdi	1,55	0,65	1,9	0,63	0,74	0,75	0,41		0,40
Sum utfelt snø dividert med beregnet, teoretisk snøinndrift									
Middelverdi	0	0	7,2	1,0	5,7	4,7	0,77		1,2

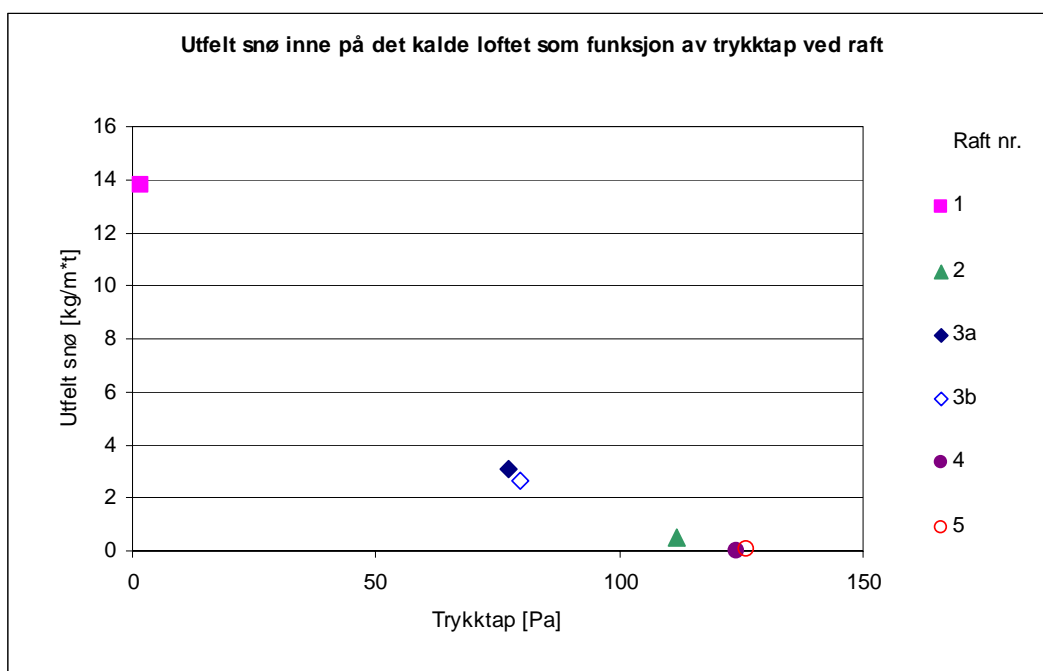
Verdiene for oppsamlede snømengder er angitt i antall kg per løpemeter takbredde og time [kg/(m*t)]. Dette er gjort for at snømengdene i de ulike seksjonene skal kunne sammenlignes direkte, uavhengig av lengden på prøveperioden og varierende bredde på seksjonene. Ved beregning av trykktapet gjennom rafteløsningen er det tatt hensyn til forskjellen i dynamisk trykk ved raft og inne i luftekanalen mellom raft og loft.

En del av resultatene i tabellen er også framstilt grafisk. Øverste diagram i venstre kolonne i figur 26 viser strømningshastighetene i luftekanalen for rafteløsningene 1-5 for begge hovedvariantene av taket. Resultatene for rafteløsningen med luftekanal i takplanet er merket med * i figuren.



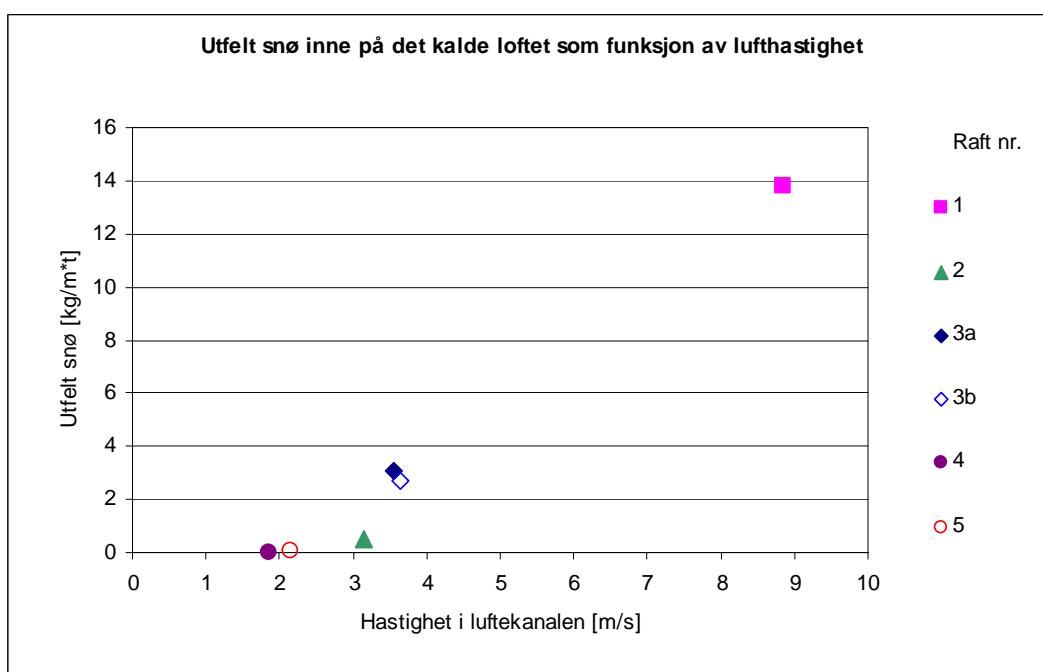
Figur 26. Grafisk framstilling av resultater for sammenligning mellom de undersøkte rafteløsningene.

Sammenhengen mellom utfelt snø på loftet og henholdsvis trykktap ved raft og lufthastighet i luftekanalen er vist i figurene 27 og 28. Sammenhengen mellom lufthastighet og utfelt snø i luftekanalen og i raftekassen er vist i figurene 29 og 30. Vindhastigheten i tunnelen var 15 m/s ved alle disse målingene. Kommentarer og vurderinger av resultatene er gitt i neste kapittel.



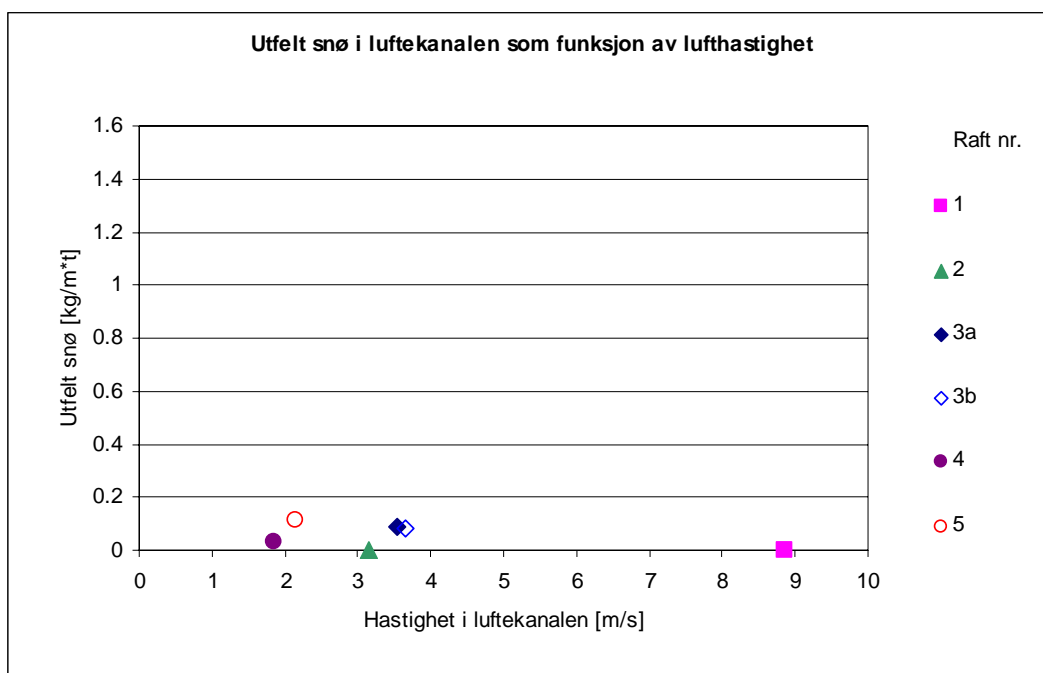
Figur 27.

Diagrammet viser sammenhengen mellom trykktap ved raft og mengde utfelt snø inne på loftet.



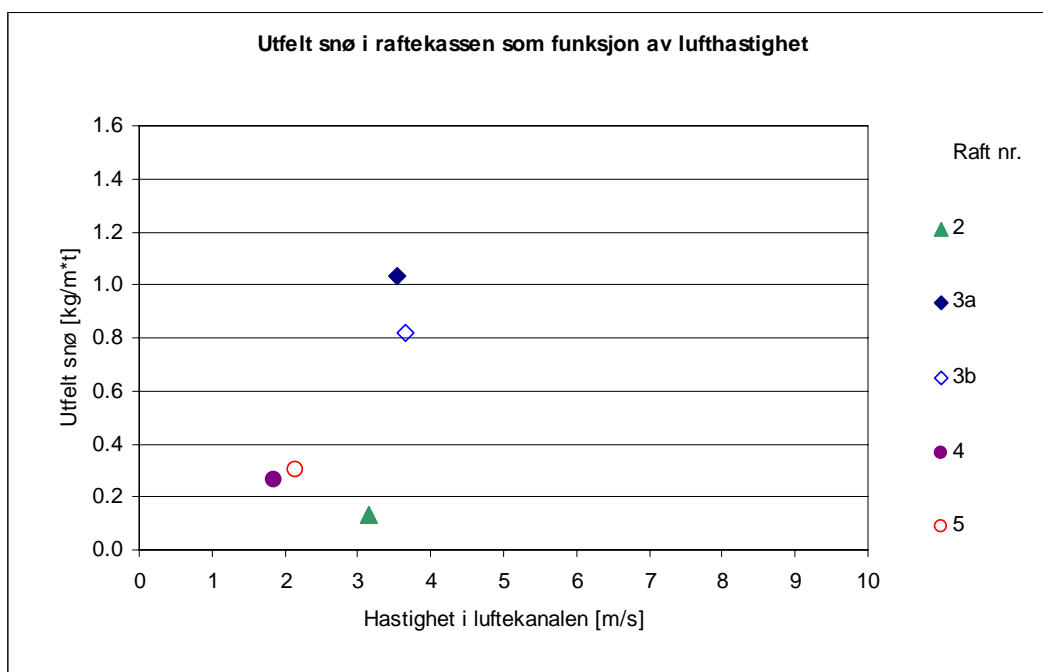
Figur 28.

Diagrammet viser sammenhengen mellom lufthastighet i luftekanalen og mengde utfelt snø inne på loftet.



Figur 29.

Diagrammet viser sammenhengen mellom lufthastighet i luftekanalen og mengde utfelt snø i luftekanalen. Skalaen på Y-aksene har 10 ganger større oppløsning enn i figur 27.



Figur 30.

Diagrammet viser sammenhengen mellom lufthastighet i luftekanalen og mengde utfelt snø i raftekassen. Skalaen på Y-aksene har 10 ganger større oppløsning enn i figur 27.

4 Kommentarer og vurderinger

4.1 Snøutfelling i taket generelt

Resultatene fra forsøkene bekrefter at faren for snøinndrift og utfelling av snø inne i taket er sterkt avhengig av den geometriske utformingen av rafteløsningen og resten av takets "gjennomstrømningskanal".

4.2 Snøutfelling i tak med luftespalte i takplanet

I de første forsøkene, med tak med jevntykk luftekanal i takplanet, uten tverrsnittsendringer, ble det ikke utfelt snø inne i taket. Det skyldtes ikke mangel på inndriv av snø for gjennom plexiglasset over seksjon B ble det observert at det drev snø gjennom luftekanalene. Mangel på snøutfelling skyldtes åpenbart at lufthastigheten gjennom hele kanalen var for stor til at snøen fikk anledning til å sedimentere eller felles ut. Det ble heller ikke felt ut snø inne i luftekanalene når det ble montert en enkel raftekasse, raft 2, på denne første hovedvarianten av tak med luftespalte i takplanet.

Forsøkene tyder på at luftespalter uten tverrsnittsendring er lite utsatt for snøutfelling selv om det driver snø inn i luftekanalene. Ved en bestemt vindhastighet kan det imidlertid tenkes at hastigheten i luftekanalene er akkurat passe redusert slik at snøkorn følger med inn i luftekanalene, men rekker å felles ut før luften strømmer ut gjennom luftespalteåpningen på le side av bygningen. For den undersøkte takløsningen er denne "kritiske" vindhastigheten lavere enn 10 m/s ettersom det heller ikke ble observert snøutfelling ved et ekstra forsøk med denne vindhastigheten i tunnelen.

Med en enkel raftekasse av type raft 2 bør imidlertid også denne muligheten for snøutfelling kunne reduseres ettersom snøen da vil felles ut i raftekassen hvor lufthastigheten, på grunn av et mye større tverrsnitt, er vesentlig lavere enn den "kritiske" hastigheten inne i luftekanalene.

Den undersøkte takvarianten med luftespalte i takplanet tilsvarer tak med taktro og tekning av shingel, takfolie eller asfalt takbelegg og luftekanaler fra raft til møne. I praksis vil imidlertid tverrsnittsarealet i luftekanalene kunne variere en del også for slike tak fordi vindspærren som utgjør den nedre begrensningen av kanalen gjerne er noe ujevn. Vi kan derfor ikke overføre disse resultatene ukritisk til virkelige tak.

For tak med luftekanal med varierende tverrsnitt, for eksempel tak med opplektet tekning eller med taktro og kryssløfting, vil tverrsnittet til strømningskanalene variere en del, fra minimum ved passering av steinlektene til maksimum like ovenfor omlegget i steintekkingen. For slike tak vil det sannsynligvis kunne felles ut snø ved et noe større "utvalg" av vindhastigheter.

4.3 Snøutfelling på kaldt luftet loft

For de undersøkte rafteløsningene er det en klar sammenheng mellom strømningsmotstand, eller strømningsstap, og mengde utfelt snø inne på det kalde loftet slik det framgår av figur 27. Det skyldes nok først og fremst at luftgjennomstrømningen, og dermed inndriften av snø, avtar med økende strømningsmotstand. Inne på det kalde loftet er tverrsnittet rett under mønet ca 15 ganger så stort som i kanalen mellom raft og loft. Lufthastigheten inne på loftet blir derfor så lav at all snøen som driver inn på loftet felles ut der.

Det er også en nesten like klar sammenheng mellom lufthastighet i kanalen mellom raft og loft og utfelt snø inne på loftet, se figur 28. Her synes det som om raft 2 gir noe mindre snø inne på loftet i forhold til luftgjennomstrømningen, og dermed i forhold til utluftingsevnen, enn de øvrige løsningene. Det kan skyldes at spalteåpningen, som er plassert ytterst ved takutstikket er,

mer parallell med den lokale strømningsretningen enn for eksempel raft 4 og 5 og derfor får litt mindre inndrift av snø.

Raft 1 er en løsning uten raftekasse og uten innsnevring i spalteåpningen, derfor blir lufthastigheten, snøinndrift og snøutfelling i loftsrommet betydelig større enn for de øvrige løsningene.

For løsningene med raftekasser ser en at raft 3, som har spalteåpningen inne ved veggkledningen, gir vesentlig mer snø inne på loftet enn de øvrige raftekassene som har spalteåpningen ytterst på kassens underside. Det bekrefter at anbefalingen i Byggforskserien om å plassere spalteåpningen lengst mulig ut fra veggen er riktig for å redusere faren for inndrift av snø.

4.4 Snøutfelling i raftekassene

Det ble felt ut mest snø i raftekasse 3. Det skyldes imidlertid ikke at denne løsningen er spesielt effektiv, for den medfører også størst snøutfelling inne på loftet. Det skyldes nok heller at spalteåpningen er plassert helt inne ved veggen noe som er ugunstig av tre grunner. Denne plasseringen gir størst luftgjennomstrømning fordi vindtrykket er størst der, åpningen er vinkelrett på den lokale strømningsretningen og snøkonsentrasjonen i lufta er sannsynligvis en del større inne ved veggen enn ellers på grunn av all snøen som treffer den.

Verdiene for utfelt snø er omtrent de samme for raft 3a og for raft 3b noe som viser at "snøskjermen" som var montert nede på veggen, raft 3b, ikke var særlig effektiv.

Av de undersøkte raftekasseløsningene var raft 4 og 5 mest effektive med hensyn til å felle ut snø. Det var som forventet og viser at en ekstra skjerm i form av et bord inne i raftekassen gjør det vanskeligere for snøen å komme videre. De klarte ikke helt å hindre at det kom snø videre inn på loftet, men av de undersøkte løsningene var det raft 4 og 5 som medførte minst snø.

I kassene som er helt åpne innvendig, raft 2 og 3, vil luftstrømmen og snøen i større grad bli "styrt" videre rett inn i luftekanalen inn til loftet.

Raft 2 akkumulerer minst snø av de undersøkte raftekassene. Det skyldes nok dels, som nevnt tidligere, at det kommer forholdsvis lite snø inn gjennom spalteåpningen fordi den er parallell med den lokale strømningsretningen og at den snøen som driver inn blir styrt videre inn gjennom luftekanalen til loftet.

For raft 2, 3a og 3b er oppsamlede snømengder i raftekassen mindre enn det som trenger inn i loftsrommet, mens for raft 4 og 5 er det mer snø i raftekassene enn i loftsrommet.

Fordelingen av oppsamlet snø i de ulike seksjonene av raften viser samme tendens som for loftsrommet; det akkumuleres større snømengder i seksjon b og c, som ligger mot midten av konstruksjonen, enn i de seksjonene som ligger ut mot sidene av bygningen.

4.5 Snøutfelling i luftekanal

Generelt er de utfelte snømengdene i luftekanalen mellom raft og loft betraktelig mindre enn for raftekassene. For raft 3a og 3b hadde snøansamlingen foregått i kanal a og d, men tendensen endret seg for raft 4 og 5. I raft 4 var det beskjedne mengder i kanal c og d, mens raft 5 hadde en konsentrasjon av snøansamling i kanal b og c.

4.6 Lufthastighet og trykktap

For å bestemme det totale drivtrykket under forsøkene burde trykket vært målt både ved innløpet på lo side og utløpet på le side. Trykket på le side ble ikke målt, verken ved utløp eller i kanalen. Derfor har vi ikke det totale drivtrykket for strømmingen gjennom taket. Trykkverdiene som ble målt ved raft og i luftekanal kan imidlertid benyttes til verifisering av strømningsberegninger.

4.7 Forsøksbetingelsene – forenklinger

Resultatene viser at det ble samlet opp litt mer snø i snøfanger 2 enn i snøfanger 1. Dette avviket kan ha innvirkning på de senere målingene av snømengder inne i konstruksjonen. Ved vurdering av de ulike løsningene må man derfor ta hensyn til usikkerhetsfaktoren som variasjonen i snøkonsentrasjonen gir.

Forsøkene i vindtunnel ble utført på en forholdsvis stor modell med normale dimensjoner på luftespalter og rafteløsninger og under forholdsvis reelle forhold. Det ble imidlertid gjort noen forenklinger som kan ha påvirket resultatene i noen grad.

Resultatene viser videre at det er noe mer snø i seksjon B, som ligger ved midten av konstruksjonen, enn i seksjon A. Dette kan skyldes strømningsmønsteret over konstruksjonen; vinden kan bli presset rundt *sidene* i stedet for *over* bygningen. Dette vil kunne gi mer snø mot midten av konstruksjonen enn mot sidene. Forskjeller i snøkonsentrasjonen i lufta kan også bidra til en ujevn fordeling av snøinndrift og dermed en noe ujevn snøutfelling. Snøfanger 2 (nær seksjonene A og B) samler generelt mer snø enn snøfanger 1 (nær seksjon C).

Takmodellen hadde raftekasse montert kun på lo side. Dette kan ha bidratt til høyere lufthastigheter i kanalen enn om de undersøkte rafteløsningene hadde vært monter på begge sider.

Forholdstallet mellom arealet av konstruksjonen og arealet av vindtunnelen er angitt som "tilstoppingsfaktor". Dette forholdet var $(3 \times 2,785) / (7 \times 10) = 0,12$ i forsøkene som er utført. En tilstoppingsfaktor på 12 % som er noe høyere enn for en fritt beliggende bygning, men stemmer bedre for tettbygde områder.

Som det framgår i tabell 1, nederste linje, ble det for enkelte rafteløsninger utfelt vesentlig mer snø inne i taket enn det luftstrøm gjennom taket og snøkonsentrasjon i vindtunnelen skulle tilsi. Det skyldes sannsynligvis først og fremst at snøkonsentrasjonen var vesentlig større ved innløpet inne ved veggen enn i fri luftstrøm i tunnelen på grunn av snø som samles opp når den treffer veggen.

Det vil også være et visst avvik mellom oppsamlet snø i en snøfanger og snømengden som strømmer uforstyrret gjennom et areal tilsvarende åpningen på snøfangeren. Det kommer av at nettingen i bunnen av fangeren, og etter hvert den oppsamlede snøen der, vil yte en strømningsmotstand som reduserer luftstrømmen gjennom snøfangeren. Noe av luften og snøen blir derfor bøydd av og strømmer forbi fangeren, se figur 24.

5 Konklusjoner

Resultatene fra forsøkene bekrefter at faren for snøinndrift og utfelling av snø inne i taket er sterkt avhengig av den geometriske utformingen av rafteløsningen og resten av takets ”gjennomstrømningskanal”. Det betyr også at det er mulig å redusere faren for inndrev av snø og utfelling inne i taket konstruktivt ved å dimensjonere, plassere og utforme spalteåpninger og raftekasser riktig.

For de undersøkte rafteløsningene er det en klar sammenheng mellom strømningsmotstand, eller strømningstap, og mengde utfelt snø inne på det kalde loftet slik det framgår av figur 27.

Til tross for de forenklingene som ble gjort antas det at resultatene kan benyttes til direkte sammenligning av de ulike løsningene med hensyn på fare for snøinndrift i konstruksjonen.

Resultatene bekrefter at raftekassene bør utformes slik at lufteåpningen i raftekassen plasseres lengst mulig vekk fra veggen, ute ved takrennebordet, som for raft 2. Å plassere luftespalteåpningen inne ved veggen, som for raft 3a, gir vesentlig større risiko for inndrift av snø.

Av de undersøkte løsningene ga de grønlandske løsningene, med ekstra snøskjerm inne i raftekassen, minst snøutfelling inne på loftet. Resultatene tyder imidlertid på at en kan oppnå det samme med den enklere raftekasseløsningen 3a ved å gjøre spalteåpningen mindre, slik at strømningsmotstanden blir større.

Forsøksresultatene viser at tak med luftekanaler uten tverrsnittsendring er lite utsatt for utfelling av snø. Det skyldes at lufthastigheten i kanalen ikke blir redusert noe sted i kanalen.

Ved utarbeiding av generelle løsninger er det en utfordring å dimensjonere, utforme og plassere luftespalteåpningene slik at takene både får tilstrekkelig luftgjennomstrømning for utlufting av fukt og varme samtidig som de blir sikre nok mot inndrift og utfelling av snø inne i taket.

En kan og bør imidlertid ta hensyn til stedlige værforhold. På steder med mye vind og kuldegrader om vinteren blir gjerne det å hindre snøinndrift avgjørende og takene kan bygges med forholdsvis små luftespalteåpninger eller med alternative løsninger som ved bruk av filt over luftespalteåpningene. På slike vindutsatte steder blir det ikke liggende mye snø på tak på hus med begrenset størrelse og enkle takformer. Faren for snøsmelting og ising er da vanligvis liten selv om luftespalteåpningene er tilnærmet uten åpninger ved raftene.

I kalde og snørike innlandstrøk med lite vind kan derimot god luftgjennomstrømning for å hindre snøsmelting og ising være viktigst.

6 Litteratur

- [1] Hofseth, V. (2004)
Studie av luftede takkonstruksjoner - Luftstrømninger i luftede skrå isolerte tak og snøinndrift i raftkonstruksjoner. Masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU, Trondheim.
- [2] Geving, S. og Thue, J. V. (2002)
Fukt i bygninger - Håndbok 50. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.
- [3] Byggforsk kunnskapssystemer, detaljblad nr 525.101 – Sending 2 (1996). Isolerte skrå tretak med lufting under undertak. Norges byggforskningsinstitutt.
- [4] Byggforsk kunnskapssystemer, detaljblad nr 525.102 – Sending 2 (1999). Isolerte skrå tretak med kombinert undertak og vindsperre. Norges byggforskningsinstitutt.
- [5] Byggforsk kunnskapssystemer, detaljblad 525.002 - Sending 2 (1996).
Takkonstruksjoner. Valg av konstruksjonstyper og materialer. Norges byggforskningsinstitutt.
- [6] Lisø, K. R., Kvande, T. (2004)
Klima 2000 - Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner - Program 2000 - 2006, Programbeskrivelse, NBI-rapport O 10210-99, rev. dato 13.03.2004, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.



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 2006 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.