

UNDERSØGELSE AF ÅRSAGER TIL TAGKOLLAPS

I FORBINDELSE MED SNEFALD
VINTEREN 2010

ANNEKSER



DANSK STANDARD

Indhold

| | |
|---|----------|
| Anneks A – Udsendt materiale til dataindsamling | 1 |
| Undersøgelse af årsager til tagkollaps i forbindelse med snefald vinteren 2009/2010 | 1 |
| Anneks B: Indsamling af data | 1 |
| Anneks C: Sneens terrænværdi..... | 1 |
| Indledning | 1 |
| Nuværende terrænværdi | 1 |
| Terrænværdi vinteren 2009-2010..... | 2 |
| Nyt estimat af terrænværdi | 10 |
| Diskussion..... | 13 |
| Konklusion | 15 |
| Anneks D: Vindtunnelforsøg..... | 1 |
| Generelt | 1 |
| Valgte vindtunnelforsøg..... | 1 |
| Eurocode geometrier | 2 |
| Eurocoden | 2 |
| Hotwireforsøg | 3 |
| Opstillinger | 3 |
| Konklusion | 18 |
| Pulverforsøg..... | 20 |
| Opstillinger..... | 20 |
| Visualisering | 21 |
| Konklusion | 36 |
| Type I – forsøg 1 | 36 |
| Type I – forsøg 4 | 36 |
| Geometrier beskrivende konstruktioner med stor sneophobning i vinteren 2010 | 38 |
| Hotwireforsøg: Stald med installationer på taget | 38 |
| Opstilling | 38 |
| Resultater | 41 |
| Konklusion..... | 44 |
| Hotwireforsøg: Stald med vinkelbygning i tagsammenskæring | 45 |
| Opstilling | 45 |
| Resultater | 46 |
| Konklusion | 46 |
| Anneks E: Sikkerhed ved høj snelast og konstruktive mangler | 1 |
| Indledning / Sammenfatning | 1 |
| Lastkombinationer og stokastiske modeller | 2 |
| Svigtfunktioner og designligninger | 2 |
| Stokastisk model | 3 |
| Sikkerhedsniveau | 4 |
| Partialkoefficienter | 4 |
| Resultater | 4 |
| Referencer | 6 |
| Anneks F – Indledende udredning af snelast i 2010 | 1 |

Anneks A – Udsendt materiale til dataindsamling

Dato: 2010-04-20

Ref.: KAT

Undersøgelse af årsager til tagkollaps i forbindelse med snefald vinteren 2009/2010

Dansk Standard udfører, med deltagelse af medlemmer fra S-1990, Eurocode udvalget for Last og Sikkerhed, et projekt for Erhvervs- og Byggestyrelsen vedr. tagkollaps i forbindelse med snefald vinteren 2009/2010.

Projektet har til formål indledende at afdække årsagerne til tagkollapsene og opstille skitseforslag til eventuel ændring af normen for snelast.

Projektet vil overordnet bestå af en række mindre faser:

1. Beskrivelse af snelaster (delvis gennemført, fremgår af <http://www.ds.dk/SiteCollectionDocuments/Indledende%20udredning%20af%20snelast%20i%202010.pdf>)
2. Kortlægning af omfanget af tagkollaps
3. Opdeling af kollapsene efter bygnings-/konstruktionstyper, alder, konstruktionsprincipper, materialer o.l.
4. Udvælgelse af enkelte bygninger for nærmere vurdering
5. Vurdering af mulige årsager til snekollaps
6. Vurdering af skotrende, ventilationshætter mv bl.a. ved vindtunnelforsøg
7. Skitseforslag til eventuelle ændringer af normer.

For at få registeret omfanget af tagkollaps henvender vi os til Dem. Vi indsamler så mange oplysninger som muligt, om de enkelte tagkollaps for efterfølgende at kunne vurdere, om der er et bestemt mønster i kollapsene, som fx en bestemt opførelsesperiode (normgrundlag), konstruktionsmateriale/-type eller lignende. Det er på ingen måde hensigten, at dette projekt skal blive part i en syns- og skønssag. Formålet er at få afdækket årsagerne til tagkollaps, således at der kan arbejdes videre med normer mv, så antallet af tagkollaps kan reduceres for fremtiden. Alle oplysninger om de enkelte sager vil naturligvis blive håndteret anonymt.

Der vil blive udtaget et mindre antal bygninger til nærmere vurdering af svigtårsagen, når der begynder at tegne sig et svigtmønster.

Vi håber, at De vil være behjælpelig med at give oplysninger, således at vi kan få et tilstrækkeligt sikkert grundlag til at finde de generelle svigtårsager.

For at få samlet informationerne i et håndterbart format, vil vi bede Dem udfylde vedlagte Excel ark. Til arket er der følgende vejledning:

- Udfyld en kolonne for hver bygning
- Udfyld minimum de grønne felter (der er meget få)
- Udfyld gerne de hvide felter
- Undlad at udfylde de røde felter.
- Der er et eksempel (DS) indtastet fra starten.

Hvis De finder, at det vil være for stort et arbejde at sætte informationerne ind i dette Excel –ark, er de også meget velkommen til at levere oplysningerne i en anden form.

Hvis der skulle være spørgsmål eller kommentarer, hører vi dem gerne.

Med venlig hilsen

Karsten Tølløse
Seniorkonsulent
Tlf 3996 6230
Email kat@ds.dk

| | Post | Hovedemne | Databeskrivelse/bemærkning | Enhed | UDFYLD HER |
|-------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|-------|---------------|
| Svigtets stamdata | | Unikt idnr. | | | EKSEMPEL |
| | | Bygningen | | | |
| | 1.1 | Bygningens navn (Eventuelt) | | Tekst | DS |
| | 1.2 | Beliggenhed - | Adresse (vej og nr) | Tekst | Kollegievej 6 |
| | 1.3 | | Postnr. | Tal | 2920 |
| | 1.4 | | BBR-nr. | Tal | |
| | 1.5 | Opførselsår for konstruktionsdel med svigt | | Tal | 1930 |
| | 1.6 | Antal etager | | Tal | 3 |
| | 1.7 | Længde x bredde x Højde | m * m * m | | 40*10*10 |
| | | Anvendelse | | | |
| 2.1 | Beboelse, kontor og kulturelle formål | | Afkryds | X | |
| 2.2 | Industriel produktion og lager | | Afkryds | | |
| 2.3 | Landbrugs- og fødevarerproduktion | | Afkryds | | |
| 2.4 | Detail handel | | Afkryds | | |
| 2.5 | Transport | | Afkryds | | |

| | | | | |
|-------------------------------------|---|-----------|---------|-----------------|
| 2.6 | Andet (Specificér) | | Tekst | |
| 2.7 | Landbrugsbygning med dyrehold | | Afkryds | |
| 2.8 | Landbrugsbygning hvor der kun lejlighedsvis kommer personer | | Afkryds | |
| 2.9 | Drivhus | | Afkryds | |
| 2.10 | Anden bygning hvor der kun lejlighedsvis kommer personer. | | Afkryds | |
| Registrering | | | | |
| 3.1 | Kilde for registrering | | Tekst | Besigtigelse |
| 3.2 | Dato for registrering | | Tal | 06-04-2010 |
| 3.3 | Navn på registrant | | Tekst | Karsten Tølløse |
| 3.4 | Sagkyndig - | Navn | Tekst | |
| 3.5 | | Adresse | Tekst | |
| 3.6 | | Telefonnr | Tal | |
| 3.7 | | Mail | Tekst | |
| Supplerende oplysninger/Foto | | | | |
| 4.0 | Anvendt normsæt ved projekt | Intet | afkryds | |

| | | | | | |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|---------|-----------|
| | 4.1 | Anvendt normsæt ved projekt | År 1945 / 1971 /1977 / 1982 / 1998 / 2006 | Tal | |
| | 4.2 | Henvisning til supplerende materiale | Hvor sagen er arkiveret? | Tekst | |
| | 4.3 | | Journalnr./Sagsnr. | Tal | |
| | 4.4 | Svigtets økonomiske omfang | Anlægsomkostninger (tkr, skøn) | Tal | 1.000.000 |
| | 4.5 | Svigtets konsekvenser for brugeren | Menneskelige omkostn. (dødsfald, skader, ingen) | Tekst | |
| | 4.6 | Foto vedlagt | | Afkryds | |
| | 4.7 | Andet (Specificer) | | Tekst | |
| | 4.8 | Orientering af svigtet bygningsdel | Angive kipliniens retning, NS, NØ/SV, ØV | | NØ/SV |
| | Svigtet del af konstruktion | | | | |
| Svigtets objekt | 5.1 | Fundament/bygningsbasis | | Afkryds | |
| | 5.2 | Vægssystem - | Facade | Afkryds | |
| | 5.3 | | Gavl | Afkryds | |
| | 5.4 | | Indvendige vægge | Afkryds | |
| | 5.5 | Dækssystem | | Afkryds | |
| | 5.6 | Tagsystem | | Afkryds | X |

| | | |
|-----|--|---------|
| 5.7 | Rumligt system (stabilitet) | Afkryds |
| 5.8 | Andet (Specificér) | Tekst |
| 5.9 | Ved TAGSYSTEM: Angiv spændvidde af svigtet del | m |

| Svigtet konstruktionstype | | | |
|---------------------------|----------------------|------------------------------------|---------|
| 6.1 | Søjle | Afkryds | |
| 6.2 | Bjælke | Afkryds | |
| 6.3 | Bue | Afkryds | |
| 6.4 | Plade/Skive | Afkryds | |
| 6.5 | Gitter | Afkryds | |
| 6.6 | Samlinger - | Betondele | Afkryds |
| 6.7 | | Armeringsdele | Afkryds |
| 6.8 | | Trædele (inkl. limning) | Afkryds |
| 6.9 | | Ståledele (søm, plader, ankre etc) | Afkryds |
| 6.10 | | Murværk | Afkryds |
| 6.11 | Andet (Udspecificer) | Tekst | |

| Svigtet konstruktionsmateriale | | | | |
|--------------------------------|--------------------|-------------------------------------|---------|---|
| 7.1 | Beton - | Element | Afkryds | |
| 7.2 | | In-situ-støbt | Afkryds | |
| 7.3 | Letbeton | | Afkryds | |
| 7.4 | Murværk | | Afkryds | |
| 7.5 | Stål - | Selvstændigt konstruktionsmateriale | Afkryds | |
| 7.6 | | Anvendt som armering | Afkryds | |
| 7.7 | Træ - | Massivt/limtræ | Afkryds | |
| 7.8 | | Krydsfiner/plader | Afkryds | |
| 7.9 | Aluminium | | Afkryds | |
| 7.10 | Andet (Specificer) | | Tekst | |
| 7.11 | Stålbuespær | | afkryds | |
| 7.12 | Stålsilo | | afkryds | |
| 7.13 | Træspær | | afkryds | x |
| 7.14 | Limtræ | | afkryds | |

Svigt karakteristika

| Hvordan fremtræder svigtet | | | | | |
|---|----------------------------------|----------------|--|---------|---|
| 8.1 | Ingen synlig skade | | | Afkryds | |
| 8.2 | Revne | | | Afkryds | |
| 8.3 | Store deformationer | | | Afkryds | |
| 8.4 | Adskillelse/kollaps | | | Afkryds | X |
| 8.5 | Andet (Specificer) | | | Tekst | |
| Restbæreevne i.f.t. oprindelig bæreevne | | | | | |
| 9.1 | Nogen restbæreevne - | 80% - 99% | | Afkryds | |
| 9.2 | | 50% - 79% | | Afkryds | |
| 9.3 | | Mindre end 50% | | Afkryds | |
| 9.4 | Ingen restbæreevne | | | Afkryds | X |
| 9.5 | Andet (Specificer) | | | Tekst | |
| 9.6 | Procentdel af tagflade kollapsed | 1%-25% | | Afkryds | X |
| 9.7 | Procentdel af tagflade kollapsed | 26%-50% | | Afkryds | |

| | | | |
|-----|----------------------------------|----------|---------|
| 9.8 | Procentdel af tagflade kollapsed | 51%-75% | Afkryds |
| 9.9 | Procentdel af tagflade kollapsed | 76%-100% | Afkryds |

Hvornår antages det konstruktionsvigtet er opstået?

| | | | |
|------|-----------------------------|--------|---------|
| 10.1 | Indbygget fra starten | | Afkryds |
| 10.2 | Indbygget ved reovering | Årstal | Tal |
| 10.3 | Nedbrydning af materialer | | Afkryds |
| 10.4 | Opstået ved anden lejlighed | Årstal | Tal |
| 10.5 | Andet (Specificer) | | Tekst |

Udløsende faktor

| | | | |
|------|-------------|---|---------|
| 11.1 | Storm | | Afkryds |
| 11.2 | Sne - | Snedybde på jorden ved jævn fordeling, skøn | Tal |
| 11.3 | | Skitse at snefordeling vedlagt | Afkryds |
| 11.4 | | Sneens beskaffenhed (løs, tung, is) | Tekst |
| 11.5 | Nyttelast | | Afkryds |
| 11.6 | Ulykkeslast | Hvilken? | Tekst |

| | | | | | | |
|------------------------|---|----------------------------------|----------|---------|--|--|
| Svigt- konstatering | 11.7 | Uprovokeret | | Afkryds | | |
| | 11.8 | Materiale nedbrydning over tid | Hvilket? | Tekst | | |
| | 11.9 | Andet (Specificer) | | Tekst | | |
| | Hvordan er konstruktionssvigtet konstateret? | | | | | |
| | 12.1 | Ved ansøgning om byggetilladelse | | Afkryds | | |
| | 12.2 | Ved udførelsen | | Afkryds | | |
| | 12.3 | Ved eftersyn | | Afkryds | | |
| | 12.4 | Ved renovering | | Afkryds | | |
| | 12.5 | Af beboer/Ejer under driften | | Afkryds | | |
| | 12.6 | Andet (Specificer) | | Tekst | | |
| | Svigtårsag | | | | | |
| | 13.1 | Manglende dimensionering | | Tal | | |
| | 13.2 | Underdimensionering | | Tal | | |
| 13.3 | Manglende vedligehold | | Tal | 2 | | |
| 13.4 | Udførelse | | Tal | 1 | | |
| 13.5 | Manglende kipningsstabilitet | | Tal | | | |
| 13.6 | Manglende afstivning af system | | Tal | | | |

| | | | | |
|-------|---|-------------------------------|-------------|--------------|
| 13.7 | Sne over normsne | | Tal | |
| 13.8 | Lokale lægivere | Skorsten | Tal | |
| 13.9 | Lokale lægivere | Ventilationshætter | Tal | |
| 13.10 | Lokale lægivere | Knaster og karnapper el.lign. | Tal | |
| 13.11 | Lokale lægivere | Andet | Tekst | |
| 13.12 | Lokale lægivere | - dimension af lægiver | mål | |
| 13.13 | Andet (Specificer) | | Tekst | |
| 13.14 | Svigtårsag vurderet af: (HVIS VURDERET) | | Navn/ firma | CCC, Råd A/S |

Anneks B: Indsamling af data

Formålet for dette projekt har været, at få afklaret årsagerne til de vinterens tagkollaps og skader, med fokus på det fremadrettede, således at hvise årsagerne er afdækket til kollapsene og andre skader, vil der også være en mulighed for at forebygger dem for fremtiden.

Det har derfor været væsentligt i indsamlingen af data, at projektgruppen ikke har skulle indgå i en skadsopklaring som en del af en afgørelse at skadeudbetaling eller lignende.

Der er søgt indhentet information fra :

- 61 kommuner
- Brancheforeningen Danske Træspærproducenter og deres medlemmer
- Brancheforeningen Forsikring og Pension, samt de 8 medlemmer der har bidraget
- 3 rådgivende ingeniørvirksomheder
- 3 hal-/staldproducenter
- 4 bygningsejere
- 8 Landbrugs- og gartnerirådgivninger
- Statens Byggeforskningsinstitut

Alle ovennævnte parter bortset fra bygningsejerne har fået fremsendt et skema til udfyldelse, se side XX. Skemaet er opbygget således, at det modsvarer SBI's database for byggeskader, så data umiddelbart kan overføres hertil.

Blandt de adspurgte kommuner har 17 svaret at de ikke har registeret nogen form for tagkollaps. Kommunerne Vesthimmerlands, Rebild, Frederikshavn, Aalborg, Mariager Fjord, Holstebro, Jammerbugt, Thisted samt Brønderslev har meldt tilbage at der har været tagkollaps og med nogle oplysninger om adresser.

Blandt de kommuner, der ikke er søgt indhentet information fra, er

- 32 sjællandske – heraf langt de fleste i hovedstadsområdet
- 5 fynske

I betragtning af snefaldets geografiske fordeling, vurderes det ikke at have nogen væsentlig betydning at 1/3 af kommunerne ikke er blevet spurgt.

Især forsikringsselskaberne, der kommer rundt til mange skaderne, har et stort kendskab til de skadede konstruktioner. Der er derfor foretaget interview af disse. Resultatet fremgår efterfølgende.

Anneks C: Sneens terrænværdi

Indledning

I vinteren 2009/10 var især Nordjylland dækket af store mængder sne, startende den 15. december 2009. Jorden blev først snefri igen ind i marts. Dette notat beskriver baggrunden for den gældende normværdi, giver nogle estimater for den maksimale snelast i vinteren 2009/10 og foreslår nogle mulige ændringer i normreglerne som tager hensyn til den store snelast.

Nuværende terrænværdi

Den karakteristiske terrænværdi blev i DS 410:1998 nedsat fra 1,0 til 0,9 kN/m². Af DS 410 fremgår at den årlige maksimale snelast på terræn følger en Gumbel fordeling med variationskoefficient lig 0,33.

Terrænværdien blev fastlagt på baggrund af en model, herefter kaldet 1998-modellen, for snelasten q_c som funktion af meteorologiske observationer ved 5 flyvestationer fra vinteren 1965/66 til vinteren 1996/97, i alt 32 vintre. Følgende størrelser blev anvendt:

- snedybden
- nedbør (vandækvivalent)
- vindhastighed
- temperatur

Modellen for lasten dag i var

$$q_{c,i} = \min \begin{cases} q_{c,i-1} + \Delta q_{c,i} \\ s_i \rho_{\max} \end{cases}$$

hvor

$q_{c,i}$ estimeret snelast dag i (Pa)

s_i målt snedybde dag i (mm)

ρ_{\max} max densitet sne, 400 kg/m³

$\Delta q_{c,i}$ er tilvæksten dag i .

$\Delta q_{c,i}$ estimeres ved en sammenvejning af ændringen i snedybden og nedbøren og ved brug af en densitet for nysneen, der afhænger af temperaturen. Nedbøren kan ikke bruges alene, da den er meget upræcis når den falder som sne og det samtidig blæser. Målingen af snedybden er ofte ret grov og derfor også ret upræcis. Sammenvejningen udjævner fejlene. Modellen blev kontrolleret mod observationer fra en såkaldt snetaksering fra en enkelt snevinter, hvor sneens vandækvivalent og dermed snelasten blev bestemt hver dag.

$\rho_{\max} = 400 \text{ kg/m}^3$ er den almindeligvis antagne densiteten af tøsne og dermed den størst mulige densitet.

Tabel D1 viser estimerede ekstreme snelaster for flyvestationerne Værløse, Karup og Skrydstrup, der benyttet til estimering af den karakteristiske terrænværdi i DS 410:1998. Lasterne blev også estimeret for Aalborg og Tirstrup, men kvaliteten af observationerne fra disse flyvestationer blev vurderet at være utilstrækkelig og resultaterne indgik derfor ikke i estimeringen af terrænværdien.

De største og derfor væsentligste estimater er statistisk uafhængige og de 15 data antoges at repræsentere uafhængige observationer over 3×32 år. Benyttes at Gumbel fordelings middelværdi og spredning bestemmes ud fra de observerede data fås følgende karakteristiske (50-års) terrænværdi:

$$q_k = 0,92 \text{ kN/m}^2$$

og variationskoefficient for den årlige maksimale snelast = 42%.

Det bemærkes, at hvis data pga. korrelation antages kun at repræsentere en kortere referenceperiode øges den karakteristiske værdi. Antages eksempelvis at referenceperioden er 26 år (i stedet for 32 år) fås en 50 års værdi på 0,95 kN/m².

Tabel C1. Estimerede ekstreme snelaster for perioden 1966-1997.

| Ekstrem last | | |
|---------------------------|-------------------------|----------|
| q_c [N/m ²] | Flyvestation | Dato |
| 1097 | Skrydstrup | 17 03 70 |
| 995 | ^b Værløse | 02 03 79 |
| 919 | ^d Værløse | 31 12 81 |
| 823 | ^d Karup | 26 01 82 |
| 779 | ^b Karup | 02 03 79 |
| 748 | ^c Værløse | 15 02 80 |
| 732 | Skrydstrup | 01 02 79 |
| 644 | ^c Skrydstrup | 11 02 80 |
| 619 | ^c Karup | 11 02 80 |
| 598 | ^a Karup | 24 02 78 |
| 585 | [*] Karup | 19 02 77 |
| 537 | Karup | 25 11 71 |
| 534 | ^a Skrydstrup | 25 02 78 |
| 516 | Karup | 29 01 85 |
| 513 | Værløse | 10 01 81 |

Noter:

a, b, c: estimater med samme bogstav optræder samme eller næsten samme dag og er indbyrdes ikke statistisk uafhængige.

d: de to estimater er fra samme snepakke, men med lang tid mellem maksimalværdierne og derfor kun lidt korrelerede.

*: estimatet burde ikke være medtaget da der er en grov fejl i inputdata. Det giver dog ikke væsentlig forskel på den karakteristiske værdi at fjerne den.

Terrænværdi vinteren 2009-2010

Terrænværdien for snelasten forskellige steder i den nordlige del af Jylland er estimeret på basis af meteorologiske observationer. Snepakken startede de fleste steder 16. december, nogle steder lidt senere, og sluttede ind i marts. Estimeringen slutter 28. februar, da der ikke var snefald af betydning efter den dato.

Estimering med 1998-model

Ovennævnte 1998-model er anvendt på observationer for 2009/10 fra flyvestationerne Aalborg, Karup og Skrydstrup. I Tirstrup er der ikke observeret nævneværdig sne og Værløse eksisterer ikke længere. De

største estimerede værdier er vist i tabel C2. Den største estimerede værdi for Aalborg i perioden 1966-1997 var 677 N/m^2 , så uanset pålideligheden af data har Aalborg ligget lavt i forhold til de andre flyvestationer, i overensstemmelse med at nedbøren på årsbasis der normalt er lav.

Tabel C2. Estimerede størsteværdier af snelasten 2009/10 ved flyvestationerne.

| Største last q_s [N/m ²] | Flyvestation | Dato | Densitet [kN/m ³] |
|---|--------------|----------|----------------------------------|
| 976 | Aalborg | 27 02 10 | 4,0 |
| 773 | Karup | 26 02 10 | 3,7 |
| 316 | Skrydstrup | 11 02 10 | 4,0 |

Estimering fra snedybder

I det følgende anvendes snedybderegistreringer ved 22 manuelle snestationer, se tabel C3. Nøjagtigheden af målingerne forventes at være bedre end ved flyvestationerne, men der er ikke målt andre parametre, så 1998-modellen kan ikke anvendes.

Det bemærkes, at terrænforholdene omkring de enkelte målestationer er meget forskellige. Således er nogle af målestationerne placeret i skovområder eller tæt herpå (eksempelvis målestationerne i Hellum og Hinding), medens andre er placeret i det åbne land med lang afstand til lægivere.

Der anvendes i stedet følgende model, kaldet den rene snemodel, til estimeringen:

$$q_{s,i} = \min \begin{cases} q_{s,i-1} + \max[0; (s_i - s_{i-1})\rho_{new}] \\ s_i \rho_{max} \end{cases}$$

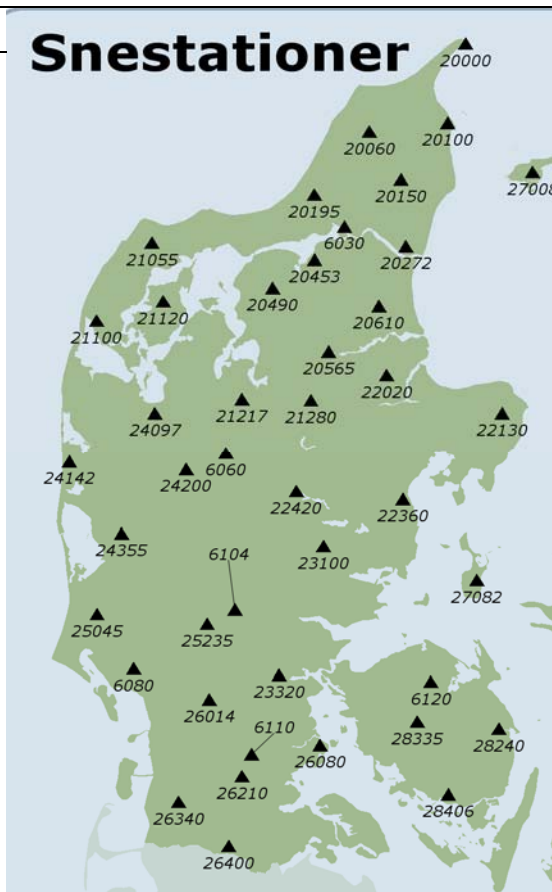
idet

| | |
|--------------|---------------------------------------|
| s_i | målt snedybde dag i (mm) |
| $q_{s,i}$ | estimeret snelast dag i (Pa) |
| ρ_i | densitet dag i (kN/m ³) |
| ρ_{new} | skønnet densitet af nysne |
| ρ_{max} | max densitet sne |

Valget af ρ_{new} og ρ_{max} er afgørende for størrelsen af estimatet. ρ_{max} var i 1998-modellen sat til 4 kN/m^3 , der er den almindeligvis antagne densitet af tøsne og dermed den størst mulige densitet. Den blev anvendt på samme måde som her til at begrænse $q_{s,i}$ når snedybden aftager. Da begrænsningen ofte har effekt vil optimering af den nye model i forhold til 1998-modellen give samme værdi. $\rho_{max} = 4 \text{ kN/m}^3$ fastholdes derfor.

Tabel C3. Manuelle snestationer. Kort er fra DMI.

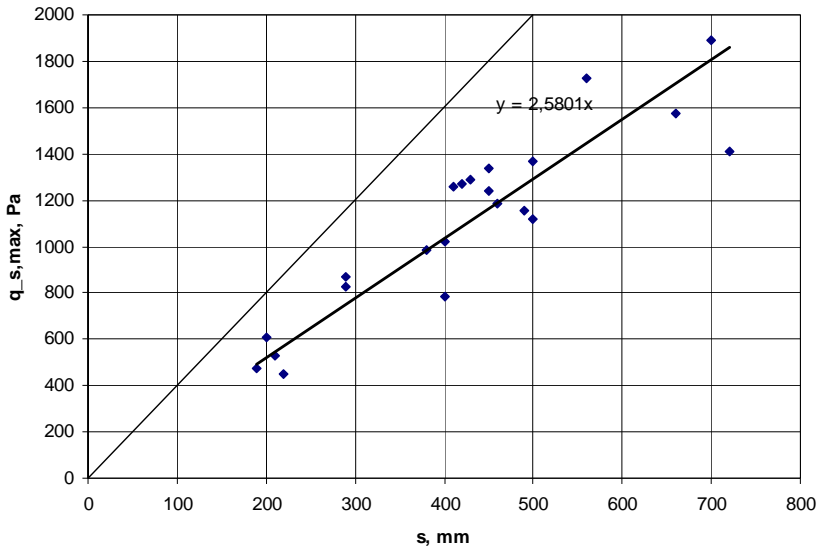
| Nr | Station |
|-------|-------------------------------|
| 20000 | Skagen Fyr |
| 20060 | Hjørring |
| 20100 | Frederikshavn |
| 20150 | Hellum (øst for Brønderslev) |
| 20195 | Pandrup |
| 20272 | Springborg (ved Hals) |
| 20453 | Gelstrup (ved Nibe) |
| 20490 | Gatten |
| 20565 | Hørby |
| 20610 | Terndrup |
| 21055 | Hinding (ved Thisted) |
| 21100 | Vestervig (i Sydthy) |
| 21120 | Erslev (på Mors) |
| 21280 | Ørum |
| 22020 | Hald |
| 22360 | Viby J. |
| 22420 | Silkeborg |
| 23100 | Vestbirk |
| 23320 | Harte |
| 24097 | Kvium |
| 24142 | Øby |
| 27008 | Byrum (Læsø) |



Modellen bygger på følgende principper:

1. Når snedybden øges antages lasten at blive øget med forøgelsen gange densiteten af nysne ρ_{new} . Der kan ikke skelnes mellem snefald og sne der fyger til.
2. Når snedybden reduceres antages lasten uændret så densiteten øges, dog kun til den når ρ_{max} , der er densiteten af tøsne. Eventuel fordampning eller sne der fyger bort reducerer ikke lasten. Det vil give overestimering af lasten.
3. Når reduktionen i snedybden er mindre end 30 mm bevares værdien for snedybden. Denne filtrering sikrer at mindre variationer fra dag til dag, som forekommer ved nogle stationer hvor dybden er angivet meget præcist, ikke fører til skiftevis komprimering ved reduktion og lastforøgelse ved øgning når variationen kun er udtryk for måleusikkerhed. Filteret kan dog også forårsage en mindre forøgelse af lasten, hvis den bortfiltrerede snedybde er så lille at densiteten ville komme over ρ_{max} hvis ikke man filtrerede.

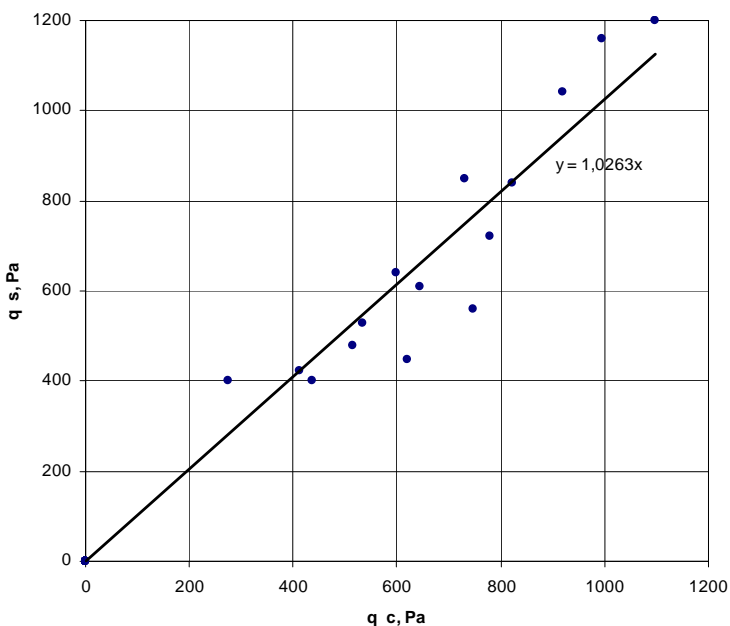
Figur C1 viser den estimerede snelast $q_{s,max}$ for $\rho_{new} = 1,6 \text{ kN/m}^3$ som funktion af snedybden s den dag, hvor snelasten er maksimal. Det ses at der er en rimelig lineær sammenhæng. Hældningen af regressionslinjen er et udtryk for middeldensiteten.



Figur C1. Største estimerede snelast med den rene snemodel ved hver af de 22 manuelle snestationer som funktion af snedybden for 2009/10 data. $\rho_{new} = 1,6 \text{ kN/m}^3$.

ρ_{new} skønnes i det følgende på to forskellige måder.

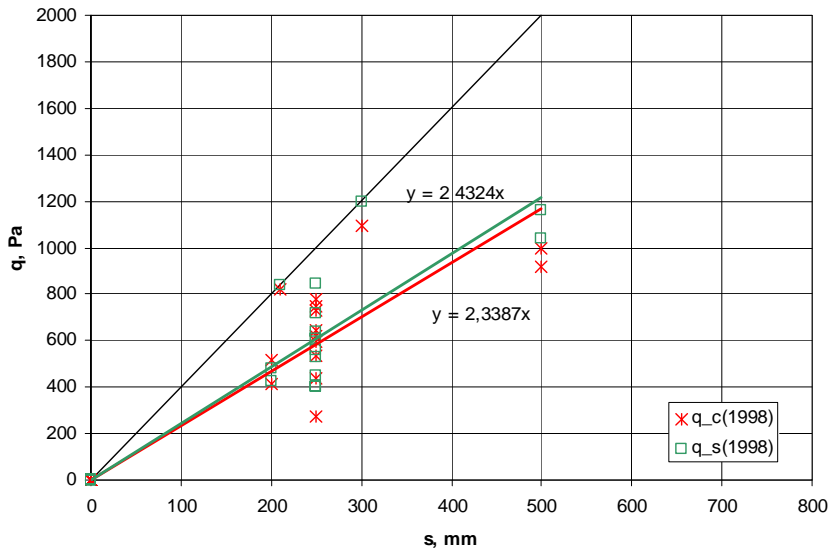
Figur C2 viser estimerer med den nye model for data fra 1965-1997 versus estimerer med 1998-modellen for $\rho_{new} = 1,6 \text{ kN/m}^3$. Overensstemmelsen ses at være god og hældningen af regressionslinjen er tæt på 1. Da den er lidt over 1 kan ρ_{new} måske reduceres lidt. Variationskoefficienten på afvigelsen er ca. 17%.



Figur C2. Sammenligning af estimerer for snelasten ved brug af data fra 1965-1997 ved brug af henholdsvis 1998-modellen og den rene snemodel. Kun data hvor snedybden er mindst 200 mm er benyttet.

Figur C3 viser de to estimater som funktion af snedybden og kan derfor sammenlignes med figur C1. Det ses at middeldensiteten for de to estimater er omtrent ens (svarende til at hældningen i figur C2 omtrent er 1) og at adskillige punkter ligger på linjen svarende til $q = s \rho_{\max}$, hvilket typisk sker hvis det begynder at regne i slutningen af en snepakke, hvor regnen regnes opsuget indtil densiteten når ρ_{\max} . Det bemærkes, at den nye model ikke underestimerer disse tilfælde, selvom nedbørens ikke indgår.

Punkter svarende til ρ_{\max} optræder ikke i figur C1, men alligevel er middeldensiteten større i figur C1 (2,6 kN/m³) end i figur C3 (2,4 kN/m³), hvilket ikke forekommer rimeligt.



Figur C3. Estimerede snelaster med henholdsvis 1998-modellen (q_c) og den rene snemodel (q_s) som funktion af snedybden ved brug af data fra 1965-1997. $\rho_{\text{new}} = 1,6 \text{ kN/m}^3$.

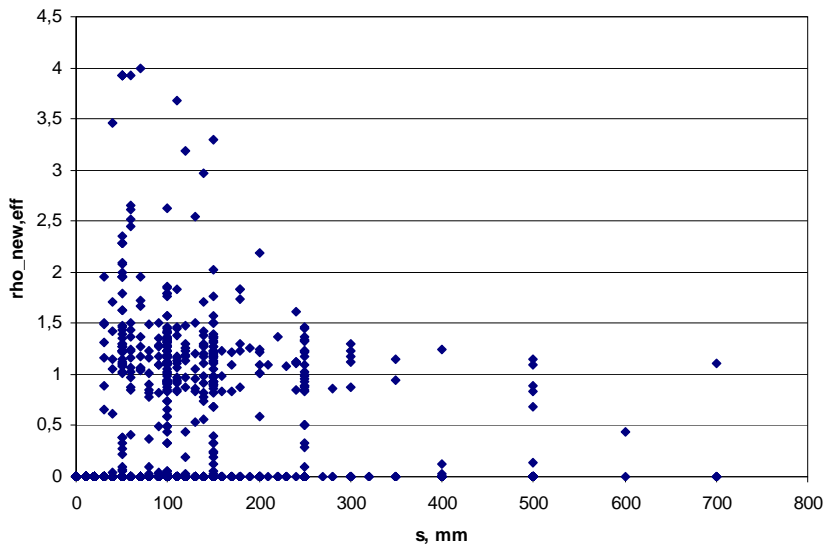
Figur C4 viser den effektive værdi af ρ_{new} når man bruger 1998-modellen. Den beregnes som:

$$\rho_{\text{new,eff}} = \frac{q_{c,i} - q_{c,i-1}}{s_i - s_{i-1}}$$

idet kun tilfælde hvor $s_i - s_{i-1} \geq 30 \text{ mm}$ medtages.

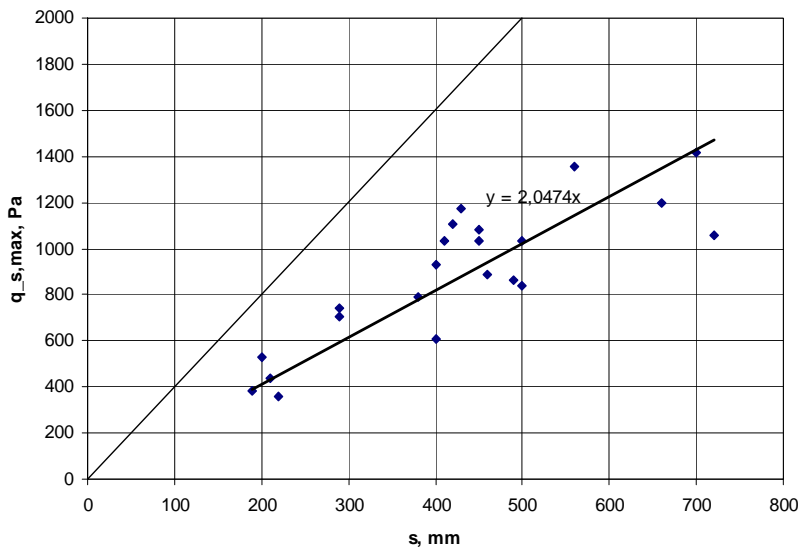
Det ses, at der er adskillige observationer, der ikke er sandsynlige, idet densiteten er meget stor eller lille. Det sker når der i dataene er misforhold mellem ændringen i snedybden og nedbørens. Det ses også, at snedybdeobservationerne er behæftet med en del usikkerhed fordi der er dybder der optræder meget hyppigt. Specielt giver det stor usikkerhed at dybden ofte springer fra 250 mm til 500 mm.

Det ses, at der er en betydelig koncentration af punkterne omkring $1,2 \text{ kN/m}^3$, altså betydelig under $1,6 \text{ kN/m}^3$ som fundet ovenfor.

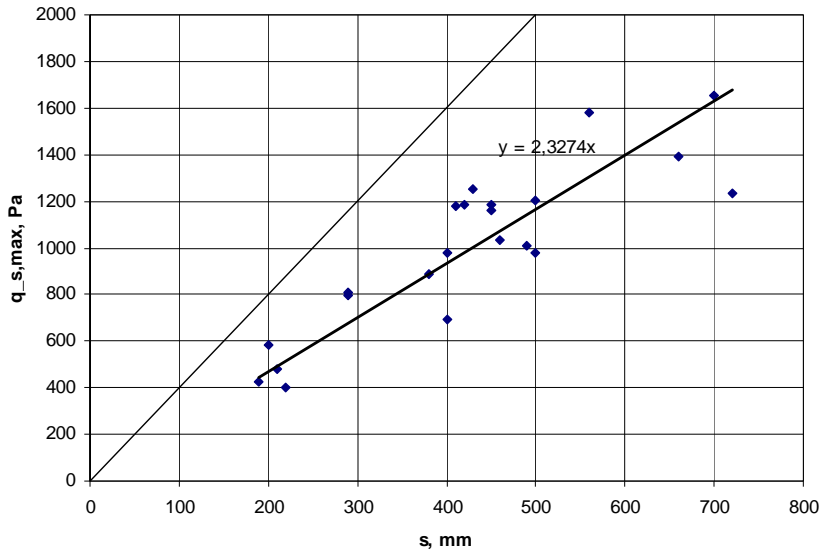


Figur C4. Den effektive værdi af ρ_{new} når 1998-modellen anvendes på data fra 1965-1997. Punkterne på den vandrette akse repræsenterer de mange observationer, hvor snedybden ikke er øget mindst 30 mm og skal blot ignoreres

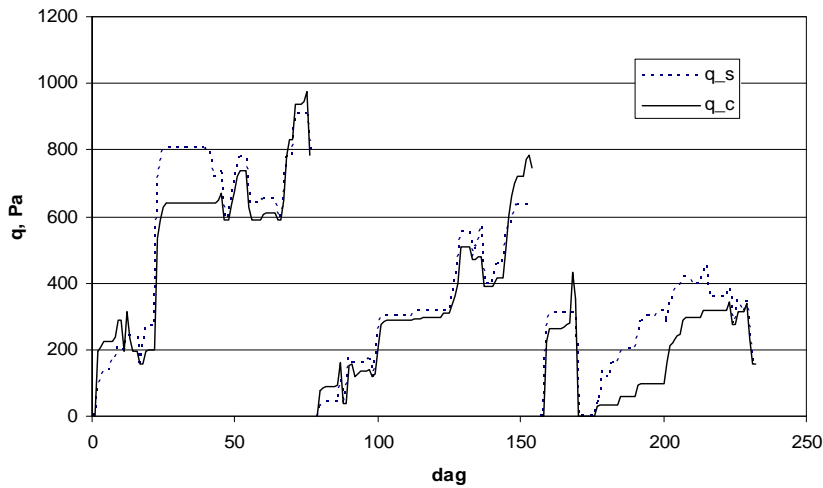
Figur C5 og C6 viser samme data som figur C1, blot for $\rho_{new} = 1,2$ henholdsvis $1,4 \text{ kN/m}^3$. Disse værdier giver en middeldensitet på godt $2,0 \text{ kN/m}^3$ og $2,3 \text{ kN/m}^3$.



Figur C5. Snelast versus snedybde for 2010 data med $\rho_{new} = 1,2 \text{ kN/m}^3$.



Figur C6. Snelast versus snedybde for 2010 data med $\rho_{new} = 1,4 \text{ kN/m}^3$.



Figur C7. Estimer for den daglige snelast ved flyvestationerne Aalborg, Karup og Skrydstrup i vinteren 2009/10 ved brug af henholdsvis 1998-modellen og den rene snemodel. $\rho_{new} = 1,4 \text{ kN/m}^3$.

Densitetsmålinger

Tabel C4 og C5 viser densiteten af sne udtaget i forskellige dybder ved Aalborg Universitet, Sohngaardsholmsvej, Aalborg den 5. og 19. februar 2010. Sneen varierede fra løs sne i overfladen til fast sne ved jordoverfladen. Resultaterne viser stor variation i densiteten, men i overensstemmelse med værdierne i tabel C7 i EN1991-1-3. Gennemsnittet for densiteterne den 5. februar er ca. 2,5 kN/m³. Densiteterne fra den 19. februar, hvor sneen var meget 'våd' pga. regn/slud, er lidt større.

Tabel C4. Snedybder og –densiteter målt den 5. februar 2010.

| Dybde [cm] | Densitet [kN/m ³] |
|---------------|----------------------------------|
| 0 | 1,85 |
| 0 | 1,60 |
| 0 | 1,49 |
| 10 | 2,44 |
| 20 | 1,75 |
| 20 | 3,02 |
| 27 | 3,10 |
| 38 | 3,42 |
| 38 | 3,18 |
| 42 | 3,14 |

Tabel C5. Snedybder og –densiteter målt den 19. februar 2010.

| Dybde [cm] | Densitet [kN/m ³] |
|---------------|----------------------------------|
| 0 | 2,27 |
| 0 | 2,22 |
| 12 | 3,07 |
| 12 | 3,08 |
| 24 | 3,21 |
| 24 | 3,37 |

Resultat

$\rho_{new} = 1,4 \text{ kN/m}^3$ synes at være en rimelig antagelse. Det er gennemsnittet af de to skøn og giver en middeldensitet der stemmer rimeligt med de få målinger, der er udført på Aalborg Universitet. Snelasten ved de manuelle snestationer bliver da som vis i tabel C6.

Tabel C6. Estimerede snelaster og densiteter ved maksimal last og maksimal snedybde for $\rho_{new} = 1,4 \text{ kN/m}^3$.

| Nr | Station | Ved maksimal last | | | Ved maksimal snedybde | | |
|-------|---------------|-------------------|----------|----------------------------|-----------------------|----------|----------------------------|
| | | q_s , Pa | s , mm | ρ , kN/m ³ | q_s , Pa | s , mm | ρ , kN/m ³ |
| 20000 | Skagens Fyr | 696 | 400 | 1,7 | 696 | 400 | 1,7 |
| 20060 | Hjørring | 1232 | 720 | 1,7 | 1232 | 720 | 1,7 |
| 20100 | Frederikshavn | 980 | 500 | 2,0 | 924 | 500 | 1,8 |
| 20150 | Hellum | 1652 | 700 | 2,4 | 1652 | 700 | 2,4 |
| 20195 | Pandrup | 976 | 400 | 2,4 | 812 | 550 | 1,5 |
| 20272 | Springborg | 1008 | 490 | 2,1 | 1008 | 490 | 2,1 |
| 20453 | Gelstrup | 1160 | 450 | 2,6 | 1160 | 450 | 2,6 |
| 20490 | Gatten | 1036 | 460 | 2,3 | 1036 | 460 | 2,3 |
| 20565 | Hørby | 1252 | 430 | 2,9 | 722 | 460 | 1,6 |
| 20610 | Terndrup | 1202 | 500 | 2,4 | 1202 | 500 | 2,4 |
| 21055 | Hinding | 1394 | 660 | 2,1 | 1394 | 660 | 2,1 |
| 21100 | Vestervig | 1582 | 560 | 2,8 | 994 | 600 | 1,7 |
| 21120 | Erslev | 1188 | 420 | 2,8 | 988 | 650 | 1,5 |
| 21280 | Ørum | 806 | 290 | 2,8 | 498 | 300 | 1,7 |
| 22020 | Hald | 1182 | 410 | 2,9 | 804 | 500 | 1,6 |
| 22360 | Viby J | 402 | 220 | 1,8 | 402 | 220 | 1,8 |
| 22420 | Silkeborg | 582 | 200 | 2,9 | 582 | 200 | 2,9 |
| 23100 | Vestbirk | 482 | 210 | 2,3 | 406 | 290 | 1,4 |
| 23320 | Harte | 886 | 380 | 2,3 | 742 | 460 | 1,6 |
| 24097 | Kvium | 796 | 290 | 2,7 | 644 | 380 | 1,7 |
| 24142 | Øby | 428 | 190 | 2,3 | 428 | 190 | 2,3 |
| 27008 | Byrum | 1184 | 450 | 2,6 | 1170 | 530 | 2,2 |

Nyt estimat af terrænværdi

I dette afsnit vurderes indflydelsen på de sneens karakteristiske terrænværdi ved at benytte data fra tabel C1, som blev benyttet til fastlæggelse af den karakteristiske værdi i DS410:1998 og desuden medtage en ekstra observation, Q_{obs} , der repræsenterer observationerne i 2010. Der ses bort fra observationen 585 N/m² fra Karup i tabel C1. Det antages, at de 14+1 data repræsenterer observationer over 3×45 år, svarende til at der ikke har været betydende snelaster i perioden 1998-2009. Resultatet er vist i tabel C7, idet forskellige værdier af Q_{obs} i intervallet 1100 til 1500 N/m² antages. Da værdierne i tabel C6 ikke

repræsenterer samme steder som værdierne i tabel C1 er det ikke givet, hvilken værdi der bør bruges, men der er mange observationer, der er større end den største i tabel C1 (1097 N/m²).

Tabel C7. Karakteristiske terrænværdier uden og med en ekstra observation, Q_{obs} i 2010.

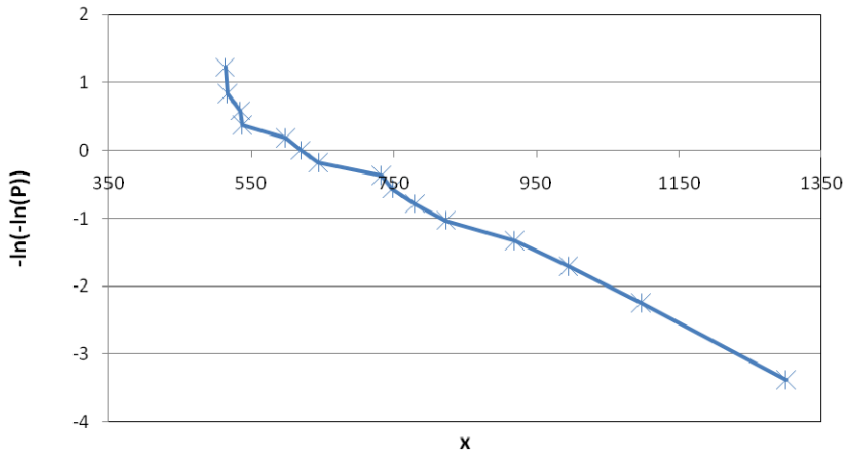
| Q_{obs} [kN/m ²] | Q_k [kN/m ²] |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Kun data i | |
| tabel 1 | 0,92 |
| 1,10 | 0,93 |
| 1,15 | 0,94 |
| 1,20 | 0,94 |
| 1,25 | 0,95 |
| 1,30 | 0,96 |
| 1,35 | 0,97 |
| 1,40 | 0,99 |
| 1,45 | 1,00 |
| 1,50 | 1,01 |

I tabel C8 er vist karakteristiske (50-års værdier) for hver af målestationerne Værløse, Karup og Skrydstrup, idet de 32 største værdier observeret over 32 år (1966-1997) benyttes. I tabellen er også vist de karakteristiske værdier, hvis en ekstra observation, Q_{obs} i 2010 medtages.

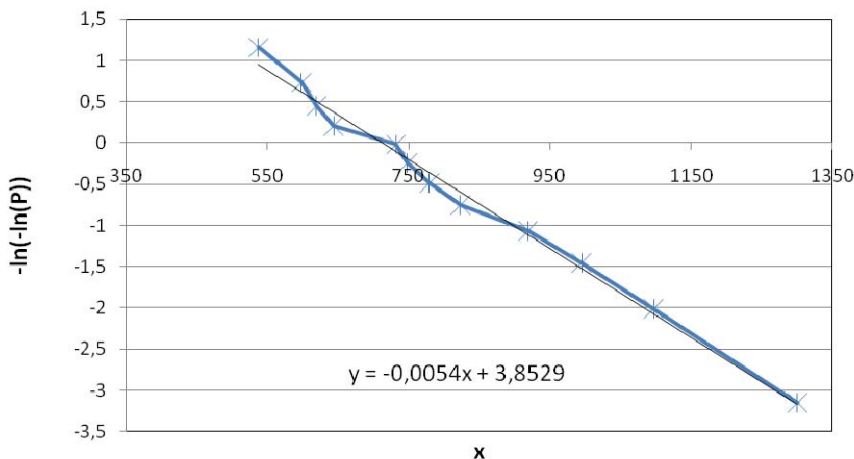
Tabel C8. Karakteristiske terrænværdier i DMI målestationerne Værløse, Karup og Skrydstrup uden og med en ekstra observation, Q_{obs} i 2010.

| Q_{obs} [kN/m ²] | Værløse Q_k [kN/m ²] | Karup Q_k [kN/m ²] | Skrydstrup Q_k [kN/m ²] |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|
| - | 0,89 | 0,80 | 0,85 |
| 1,10 | 0,95 | 0,88 | 0,91 |
| 1,15 | 0,96 | 0,90 | 0,93 |
| 1,20 | 0,97 | 0,91 | 0,94 |
| 1,25 | 0,98 | 0,93 | 0,95 |
| 1,30 | 1,00 | 0,94 | 0,97 |
| 1,35 | 1,01 | 0,96 | 0,98 |
| 1,40 | 1,03 | 0,97 | 1,00 |
| 1,45 | 1,04 | 0,99 | 1,01 |
| 1,50 | 1,06 | 1,01 | 1,03 |

I figur C8 er den empiriske fordelingsfunktion vist for de 15 største observationer, inkl. en 2010 observation på 1300 N/m². Datapunkterne er vist i en afbildning, hvor $-\ln(-\ln(P))$ vises som funktion af observationen x , hvor P er den akkumulerede empiriske sandsynlighed. Denne afbildning giver en ret linje, hvis datapunkterne følger en Gumbel fordeling. Det ses, at den empiriske fordelingsfunktion har et knæpunkt ved ca. 535 N/m². I figur C9 er fordelingsfunktionen vist med de største 12 data (> 535 N/m²). Disse ses pænt at følge en ret linje.



Figur C8. Empirisk fordelingsfunktion for 15 største observationer, inkl. en 2010 observation på 1300 N/m².



Figur C9. Empirisk fordelingsfunktion for 12 største observationer, inkl. en 2010 observation på 1300 N/m².

I tabel C9 er vist karakteristiske værdier bestemt på basis af de 12 største observationer inkl. en 2010 observation. Des ses, at værdierne er lidt større end værdierne i tabel C7 bestemt ud fra de 15 største observationer.

Det bemærkes, at den statistiske usikkerhed ikke er medtaget i estimerne af de karakteristiske værdier. Medtages denne usikkerhed vil de karakteristiske værdier øges, især når antallet af data er lille (< 15).

Tabel C9. Karakteristiske terrænværdier baseret på 12 største observationer, inkl. en 2010 observation på 1300 N/m².

| Q_{obs} | Q_k |
|----------------------|----------------------|
| [kN/m ²] | [kN/m ²] |
| 1100 | 0,93 |
| 1150 | 0,94 |
| 1200 | 0,95 |
| 1250 | 0,96 |
| 1300 | 0,98 |
| 1350 | 0,99 |
| 1400 | 1,00 |
| 1450 | 1,01 |
| 1500 | 1,02 |

Diskussion

Terrænværdi

Resultaterne i tabel C7 og C8 sammenholdt med de observerede terrænværdier i tabel C4 indikerer, at den karakteristiske snelast på terræn ligger tættere på 1,0 kN/m² end på 0,9 kN/m².

Meteorologiske omstændigheder

Om snefaldet i vinteren 2009-2010 fra et meteorologisk synspunkt mener fhv. afdelingsmeteorolog ved DMI Stig Rosenørn ikke, at der er nogen ekstreme omstændigheder, andet end uheldigt sammenfald af forskellige forhold der ikke i sig selv er ekstreme. Der er intet, der kan henføres til klimaforandringer. Sandsynligheden for at hændelser som i vinteren 2009-2010 sker igen må derfor vurderes at være lille.

Om forholdene ved snestormen i 2007 har Stig Rosenørn forklaret at, i forhold til sædvanlige snestorme, hvor vinden altid kommer fra øst, var lufttemperaturen høj (0°C til -2°C mod normalt ca -5°C), blandt andet som følge af høj vandtemperatur i Kattegat. Det betød også at luften opsamlede meget fugt fra havet. Den høje lufttemperatur kombineret med stor fugtighed i luften gav usædvanlig tung nysne. Selve varigheden af stormen, 3 dage med nærmest uændret vindretning, var ikke i sig selv ekstrem. Da vintre med høj vandtemperatur vil blive hyppigere som følge af global opvarmning kan hændelser som i 2007 forventes at ske igen.

Det peger på at det er vigtigere at fokusere på effekten af snefygning end på terrænværdiens størrelse.

Exceptionel snelast

Det kan diskuteres, om den store observerede værdi af Q_{obs} i 2010 tilhører samme statistiske population som observationerne fra 1966-1997. I henhold til baggrundsdokumenterne for EN1991-1-3 kan de største observerede værdier af Q_{obs} karakteriseres som exceptionelle snelaster på terræn - dvs. en anden statistisk population. Vælger man at indføre exceptionel snelast i henholdt til EN 1991-1-3 behandles denne som

ulykkeslast idet det anbefales at sætte den karakteristiske exceptionelle last til det dobbelte af den normale.

Indførelsen af exceptionel snelast som anbefalet i Eurocoden vil reelt ikke øge kravene til trækonstruktioner, mens det vil øge kravene til stålkonstruktioner på grund af den lille partialkoefficient på stålstyrken.

Eksponering

Nogle af de høje estimerede værdier for vinteren 2009/10 i tabel C6 gælder for steder, hvor der er særlige læforhold. I EN1991-1-3 benyttes en eksponeringskoefficienten C_e ved bestemmelse af snelasten på tage. Eksponeringskoefficienten afhænger af topografien i nærheden af den betragtede bygning som vist i tabel C10.

Tabel C10. Anbefalede værdier for eksponeringskoefficienten C_e for forskellige topografier

| Topografi | C_e |
|------------------------|-------|
| Vindblæst ^a | 0,8 |
| Normal ^b | 1,0 |
| Afskærmet ^c | 1,2 |

^a Vindblæst topografi: Flade, fritliggende områder, som er udsatte til alle sider uden, eller med kun lidt afskærmning, ydet af terræn, højere bygværker eller træer.

^b Normal topografi: områder, hvor vinden ikke yder væsentlig snefjernelse på bygværker, på grund af terræn, andre bygværker eller træer.

^c Afskærmet topografi: områder, hvor bygværket under overvejelse er væsentlig lavere end det omgivende terræn eller omgivet af høje træer og/eller omgivet af bygværker, som er højere.

Eksponeringskoefficienten anvendes kun sjældent i Danmark. Det kan overvejes, at benytte denne i flere tilfælde, specielt i områder, hvor læ fra omliggende skove medfører større snedybder i terræn og/eller på tage. Større anvendelse af eksponeringsfaktoren vil kræve, at der udarbejdes generelle anbefalinger / anvisninger herpå.

Højdekote

I EN1993-1-3 er der på snekortet for 'Central East', som Danmark er en del af, indført en højdefaktor på terrænværdien $\left(1 + \left(\frac{A}{256}\right)^2\right)$, hvor A er højdekoten i [m]. Denne model giver værdierne vist i tabel C11.

Tabel C11. Højdefaktor på terrænværdi for højde over havniveau, A.

| A | Korrektion |
|-----|------------|
| 10 | 1,00 |
| 30 | 1,01 |
| 50 | 1,04 |
| 70 | 1,07 |
| 90 | 1,12 |
| 110 | 1,18 |
| 130 | 1,26 |
| 150 | 1,34 |

Det ses, at for områder over kote 80m giver højdefaktoren en forøgelse af terrænværdien på 10%. Endvidere er højdefaktoren relevant at medtage ved vurdering af de observerede snedybder. Eksempelvis er DMI målestationen i Hellum placeret i kote 89m svarende til en korrektionsfaktor på 1.12.

Snerydning

Som et alternativ til at øge den karakteristiske terrænværdi eller eksponeringskoefficient kan man stille krav om at sneen fjernes fra tagene, hvis snedybden overstiger en dybde der under hensyntagen til vejprognoser, forventes at overstige den regningsmæssige snelast. Kravet kan eventuelt begrænses til bygninger over en vis bredde, fx 20 m.

Sådanne krav må suppleres med retningslinjer for om snerydningen kan ske ved hjælp af personer der går på taget eller om den må ske nedefra og derfor normalt med maskiner.

Usikkerhed på terrænværdi

Der er stor usikkerhed på de estimerede snelaster. Skønnet over såvel densitet som terrænværdiens størrelse vil kunne forbedres betydeligt, hvis der iværksættes systematiske målinger af sneens vandækvivalent når der er væsentlig snedybde, fx over 200 mm. Vandækvivalenten behøver ikke at blive bestemt hver dag - det kunne være en gang om ugen eller efter væsentlig forøgelse af snedybden. Herved vil modellerne for beregning af snelasten kunne forbedres og deres usikkerhed estimeres.

Den sammenhæng mellem snedybde og last der skal fastlægges, hvis man indfører krav om rydning, kan da estimeres med betydelig større sikkerhed.

Konklusion

Sneobservationerne viser, at terrænværdien mange steder i Nordjylland har været over den karakteristiske værdi, og flere steder over den regningsmæssige værdi bestemt ved multiplikation med en partialkoefficient på 1,5.

Statistiske analyser af de observerede terrænværdier i 2010 sammenholdt med baggrunden for den nuværende terrænværdi indikerer, at terrænværdien øges fra 0,9 kN/m² til 1,0 kN/m². Alternativt kan man indføre eksponeringskoefficienten eller regler for snerydning.

Anneks D: Vindtunnelforsøg

Generelt

I forbindelse med gennemgangen af de konstruktioner, der har været udsat for stor sneophobning i vinteren 2009/10 ønskes det vurderet, om læforhold ved rækker af ventilationskorstene på tage og i tagsammenskæringen ved vinkelbygninger har medvirket til ophobningen og dermed til kollaps. Skitse-mæssige forslag til nye regler i snenormen vil blive udarbejdet på basis af en række vindtunnelforsøg med forskellige geometrier, hvor der primært måles vindhastigheder, idet sneophobning forekommer hvor vindhastigheden er lav. Undersøgelsen omfatter dels de geometrier, der behandles i den nuværende snenorm, dels de nævnte geometrier for hvilke der er observeret stor sneophobning. Forsøgene vil ikke i sig selv give absolutte snelaster, men relative data, som sammen med specifikationerne i Eurocoden kan konverteres til absolutte snelaster under hensyntagen til sneophobning.

Valgte vindtunnelforsøg

Følgende forsøg udføres i vindtunnelen ved et dækkende antal vindretninger:

1. Eurocode 1: last på bærende konstruktioner – Del 1-3: Generelle laster – snelast.
 - A. Relativ bestemmelse af middelvindhastigheder ved hotwire-målinger udført på:
 - Type 1: 8 opstillinger der dækker Eurocoden: kapitel 5.3.6 – figur 5.7, for tage som støder op til højere bygværker.
 - Type 2: 8 opstillinger der dækker Eurocoden: kapitel 6.1-2 – figur 6.1, ved fremspring og forhindringer.
 - B. Visualisering af sneophobning ved pulverforsøg udført på:
 - Type 1: 2 opstillinger der dækker Eurocoden: kapitel 5.3.6 – figur 5.7, for tage som støder op til højere bygværker.
2. Geometrier svarende til konstruktioner med stor sneophobning i vinteren 2009/10.

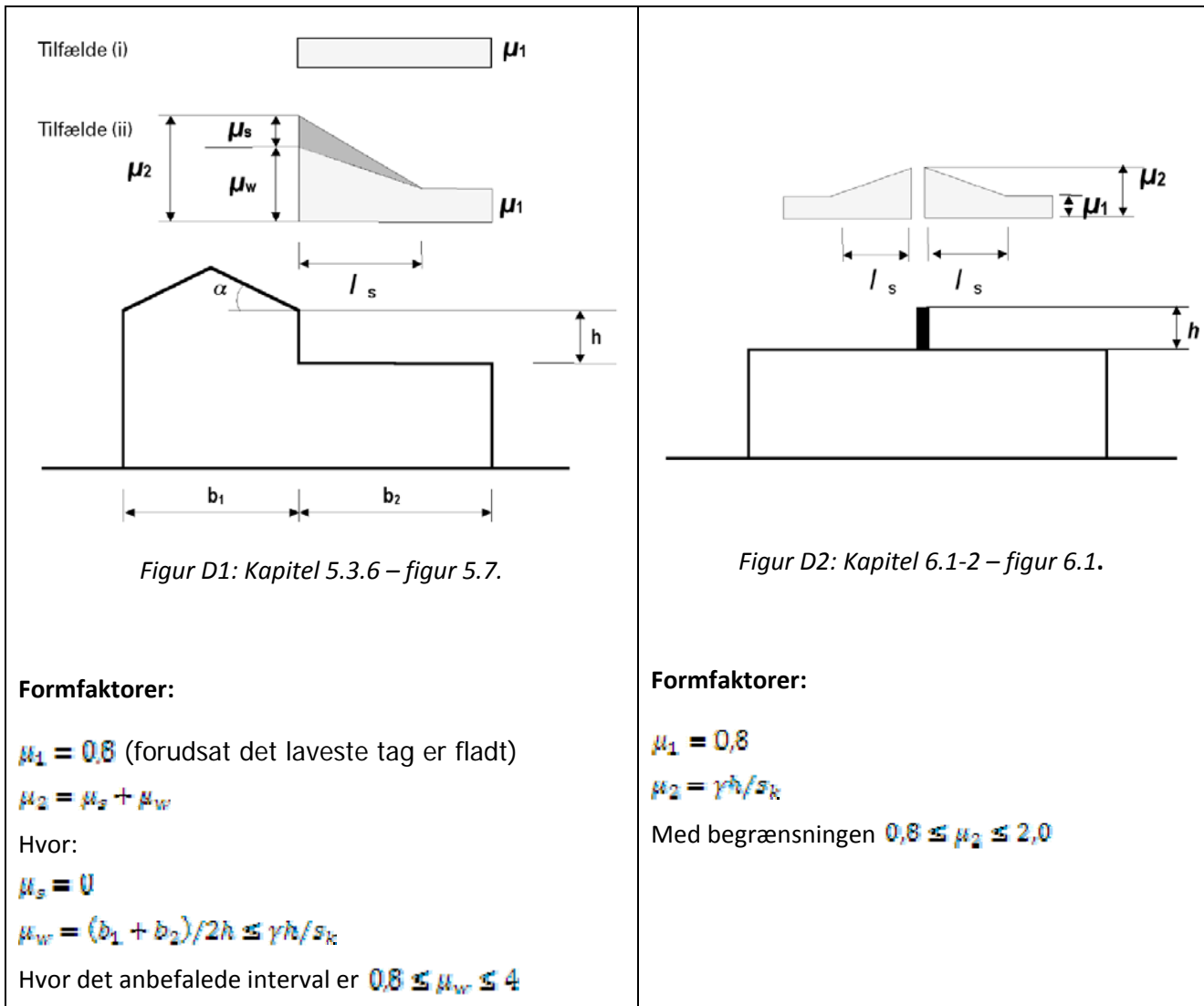
Relativ bestemmelse af middelvindhastigheder ved hotwire-målinger udført på:

 - A. Stald med og uden ventilationsskorstene på taget.
 - B. Stald med vinkelbygning i tagsammenskæring.

Eurocode geometrier

Eurocoden

I nærværende afsnit vurderes: **Eurocode 1: last på bærende konstruktioner – Del 1-3: Generelle laster – snelast**, specielt følgende figurer.



Der ses at være følgende inkonsistente specifikationer:

1. Der er ikke vist nogen geometriske begrænsninger på figur D1 og figur D2. Hvis den lokale forhindring midt på taget på Figur D2 flyttes ud til facaden samt gøres lidt bredere og højere burde de to tilfælde give den samme snelast, når taghældningen α på figur D1 er lig med 0° . Det fremgår, at der kan være en faktor 2 til forskel på de specifikke formfaktorer.
2. Bredden af lægiveren og konstruktionen, hvor der betragtes sneophobning, indgår i beregningen af formfaktoren på figur D1, men formfaktoren på figur D2 afhænger ikke af disse bredder.

3. Formfaktoren på figur D1 er omvendt proportional med højden, hvor formfaktoren på figur D2 er proportional med højden.
4. Når højden af lægiveren er 0, burde formfaktoren for sneophobning også være 0. Dette er tilfældet på figur D2, men ikke på figur D1, hvor formfaktoren her går mod uendelig, hvis begrænsningerne af H_2 ikke havde været anført.

Ovenstående inkonsistente specifikationer viser at, der er behov for forbedrede specifikationer i Eurocoden. Nærværende vindtunnelforsøg kan bidrage til etableringen af disse forbedrede specifikationer.

Hotwireforsøg

De to valgt Eurocode situationer klassificeres som følgende

- **Type I:** For tage som støder op til højere bygværker.
- **Type II:** Ved fremspring og forhindringer.

Opstillinger

For de valgte Eurocode situationer gøres følgende

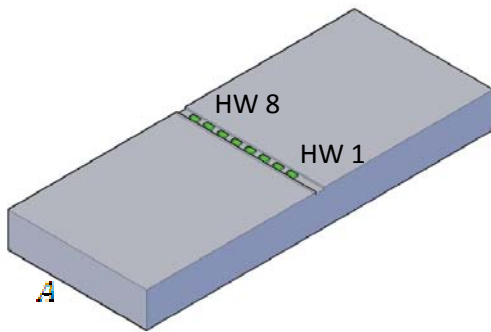
- Der udføres forsøg på 16 opstillinger:
8 opstillinger for **type I**
8 opstillinger for **type II**
- Forsøgene udføres i geometrisk skala 1:50.
- Måletiden for forsøgene er 30 s svarende til 10 min i fuld skala.
- På hver opstilling placeres 8 HW-målere (HW = Hotwire), der placeringsafhængigt registrerer vindhastigheder.



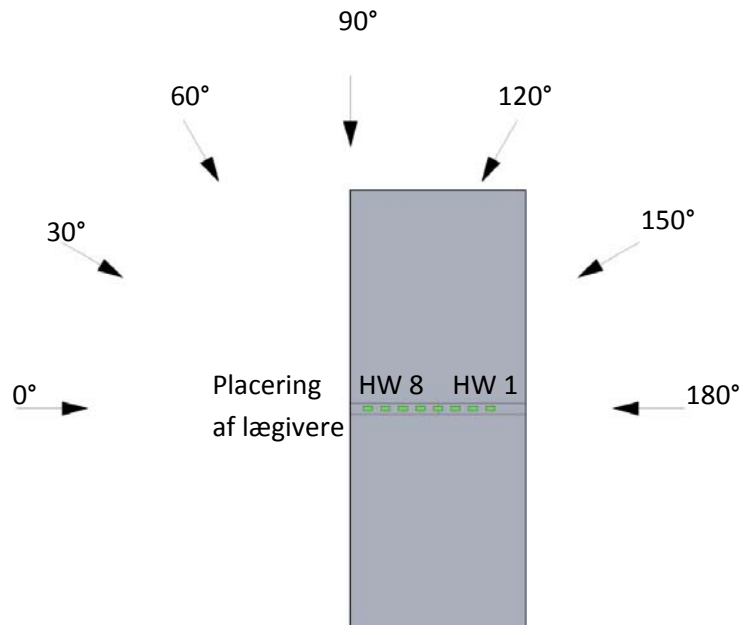
Figur D3: Hotwire (ca. 1 cm høj).

- Symmetrien af opstillingerne udnyttes, så der foretages målinger for hver forsøgsopstilling, når denne roteres: 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°.
- Der blæses med en vind i tunnelen på $v_{\text{ref}} = 10 \text{ m/s}$.

På figur D4 ses basisopstillingen for hotwireforsøgene, og på figur D5 ses de syv undersøgte vindretninger.



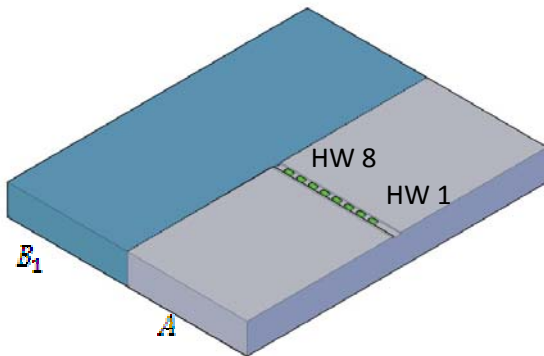
Figur D4: Basisopstilling.



Figur D5: Vindretninger.

På de følgende figurer ses de 16 opstillinger samt geometrien af disse. Alle anførte mål er i modelskala.

Type I – forsøg 1

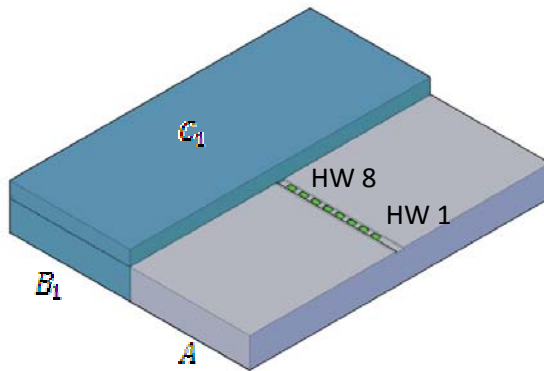


Dimensioner:

$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$E_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

Type I – forsøg 2



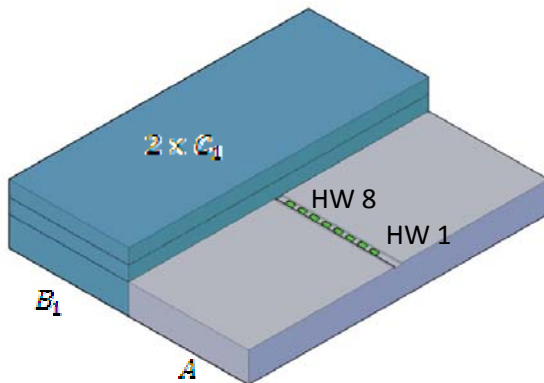
Dimensioner:

$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$E_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$C_1 = 5\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

Type I – forsøg 3



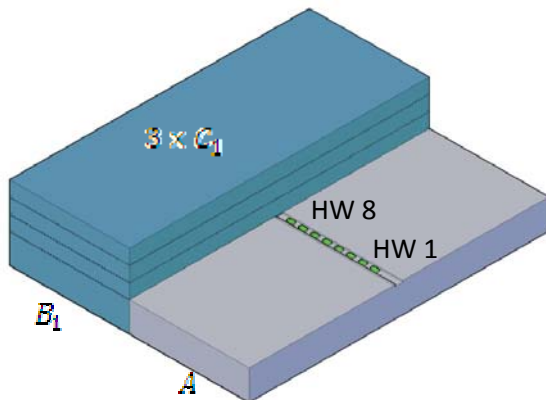
Dimensioner:

$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$E_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$2 \times C_1 = 5\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

Type I – forsøg 4



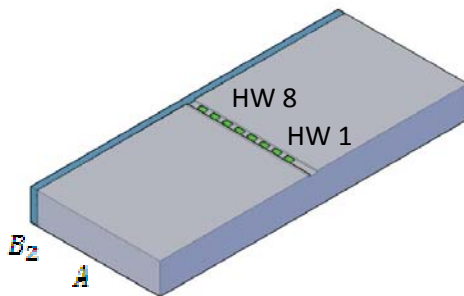
Dimensioner:

$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$3 \times C_1 = 5\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

Type I – forsøg 5

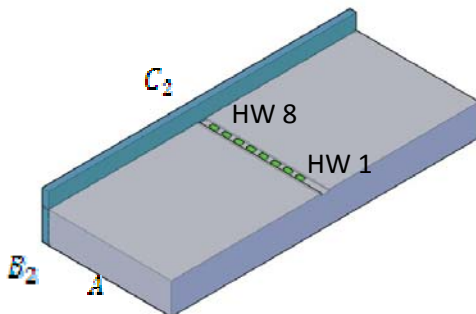


Dimensioner:

$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

Type I – forsøg 6



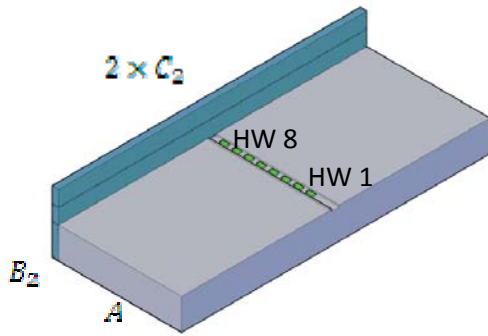
Dimensioner:

$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$C_2 = 5\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

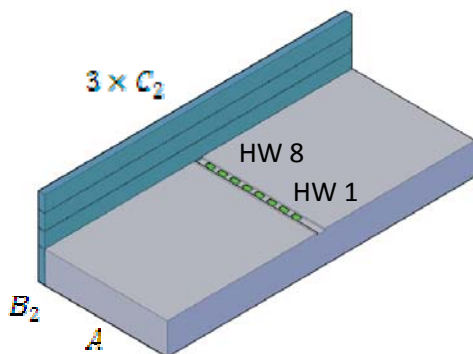
Type I – forsøg 7



Dimensioner:

$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $2 \times C_2 = 5\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$

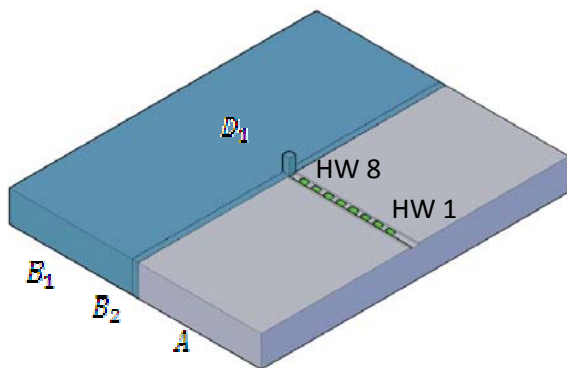
Type I – forsøg 8



Dimensioner:

$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $3 \times C_2 = 5\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$

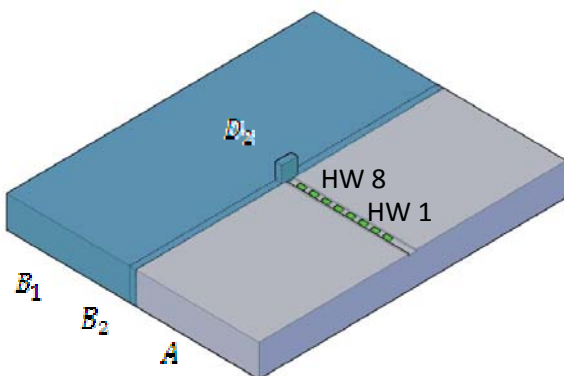
Type II – forsøg 9



Dimensioner:

$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $B_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $D_1 = 5\text{cm} \times 2\text{cm} \times 2\text{cm}$

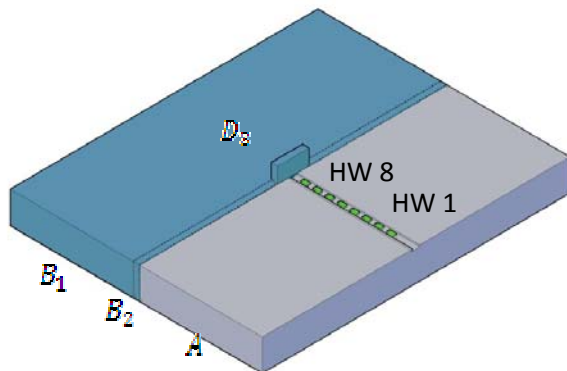
Type II – forsøg 10



Dimensioner:

$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $B_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$
 $D_2 = 5\text{cm} \times 2\text{cm} \times 5\text{cm}$

Type II – forsøg 11



Dimensioner:

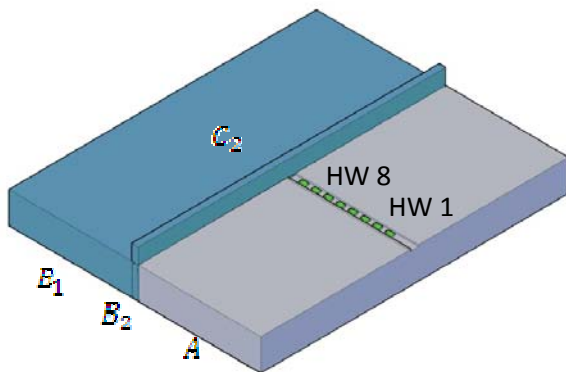
$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$D_3 = 5\text{cm} \times 2\text{cm} \times 10\text{cm}$$

Type II– forsøg 12



Dimensioner:

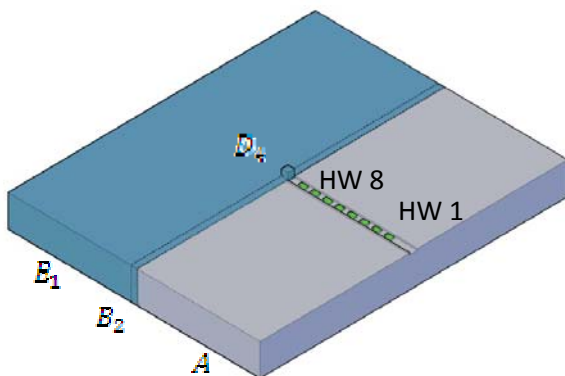
$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$C_2 = 5\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

Type II – forsøg 13



Dimensioner:

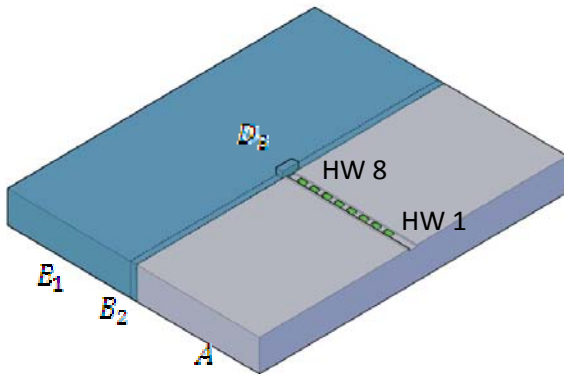
$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$D_4 = 2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 2\text{cm}$$

Type II- forsøg 14



Dimensioner:

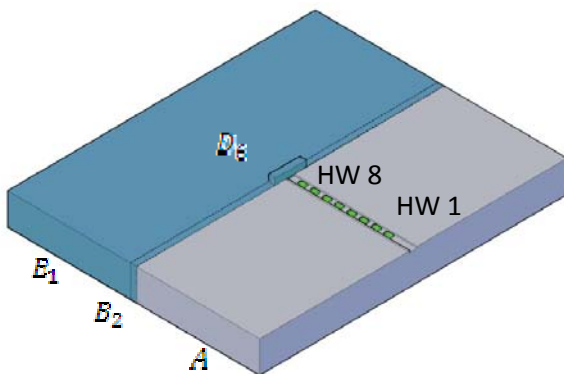
$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$D_3 = 2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 5\text{cm}$$

Type II – forsøg 15



Dimensioner:

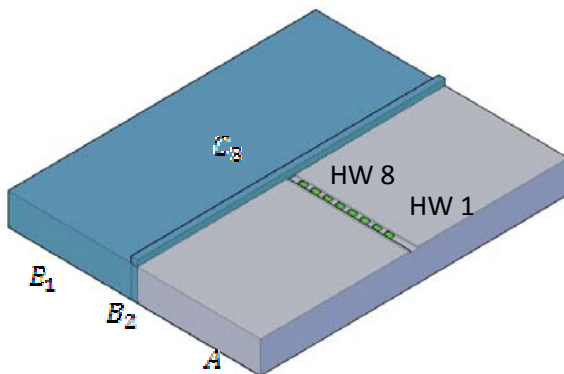
$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$D_3 = 2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 10\text{cm}$$

Type II – forsøg 16



Dimensioner:

$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$B_2 = 10\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$C_3 = 2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 100\text{cm}$$

Resultater

Til analysen af vindtunneldataene foretages følgende gruppering af opstillingerne:

Type I – forsøg 1-4: Brede lægiverer (40 cm) med varierende højde (0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm).

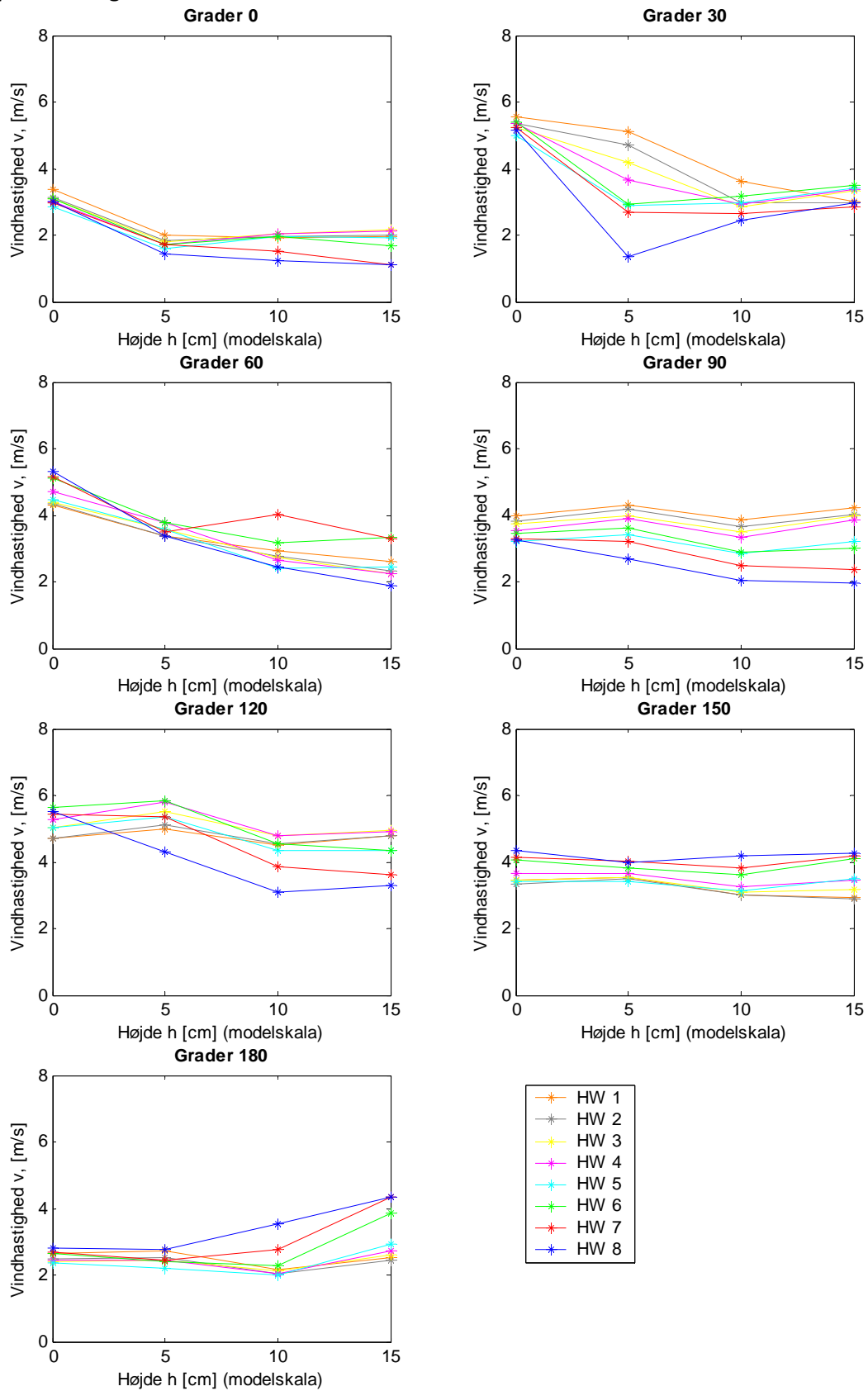
Type I – forsøg 5-8: Smalle lægiverer (2 cm) med varierende højde (0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm).

Type II – forsøg 9-12: Høje lægiverer (5 cm) med varierende længde (2 cm, 5 cm, 10 cm, 100 cm).

Type II – forsøg 13-16: Lave lægiverer (2 cm) med varierende længde (2 cm, 5 cm, 10 cm, 100 cm).

For hver gruppering laves syv plot, et for hver vindretning (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°). På y-aksen plottes de målte vindhastigheder for hotwire 1-8 og ud ad x-aksen plottes for **type I**-opstillingerne højden af lægiveren og for **type II** længden af lægiveren.

Plot - type I – forsøg 1-4



Figur 6: Type I – forsøg 1-4 (bred lægiver).

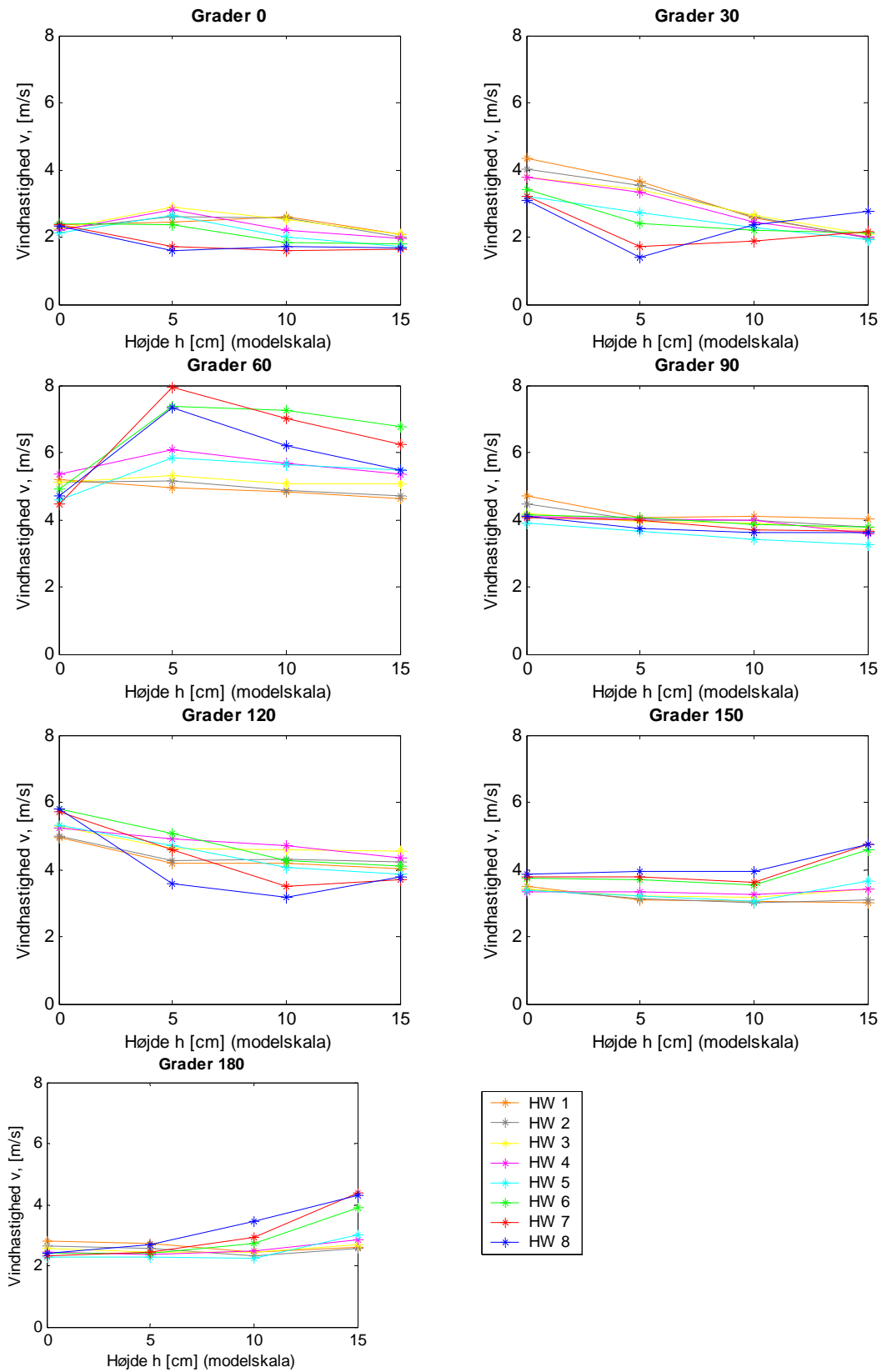
Analyse - type I – forsøg 1-4

Lave vindhastigheder er mest kritiske, da disse medfører mulig sneophobning. I **type I** – forsøg 1-4 er de mest kritiske tilfælde ved vindretning 0° og 30°, hvor hotwirene er placeret i læ.

De laveste vindhastigheder forekommer nærmest lægiveren (HW 7 og 8).

Når højden h af lægiveren øges fra 0 cm til 5 cm (fra 0 til 50 % af den lave bygnings højde) ses et markant drop i vindhastigheden. Herefter er der kun en mindre formindskning af vindhastigheden ved yderligere forøgelse af h .

Plot - type I – forsøg 5-8



Figur D7: Type I – forsøg 5-8 (smal lægiver).

Analyse - type I – forsøg 5-8

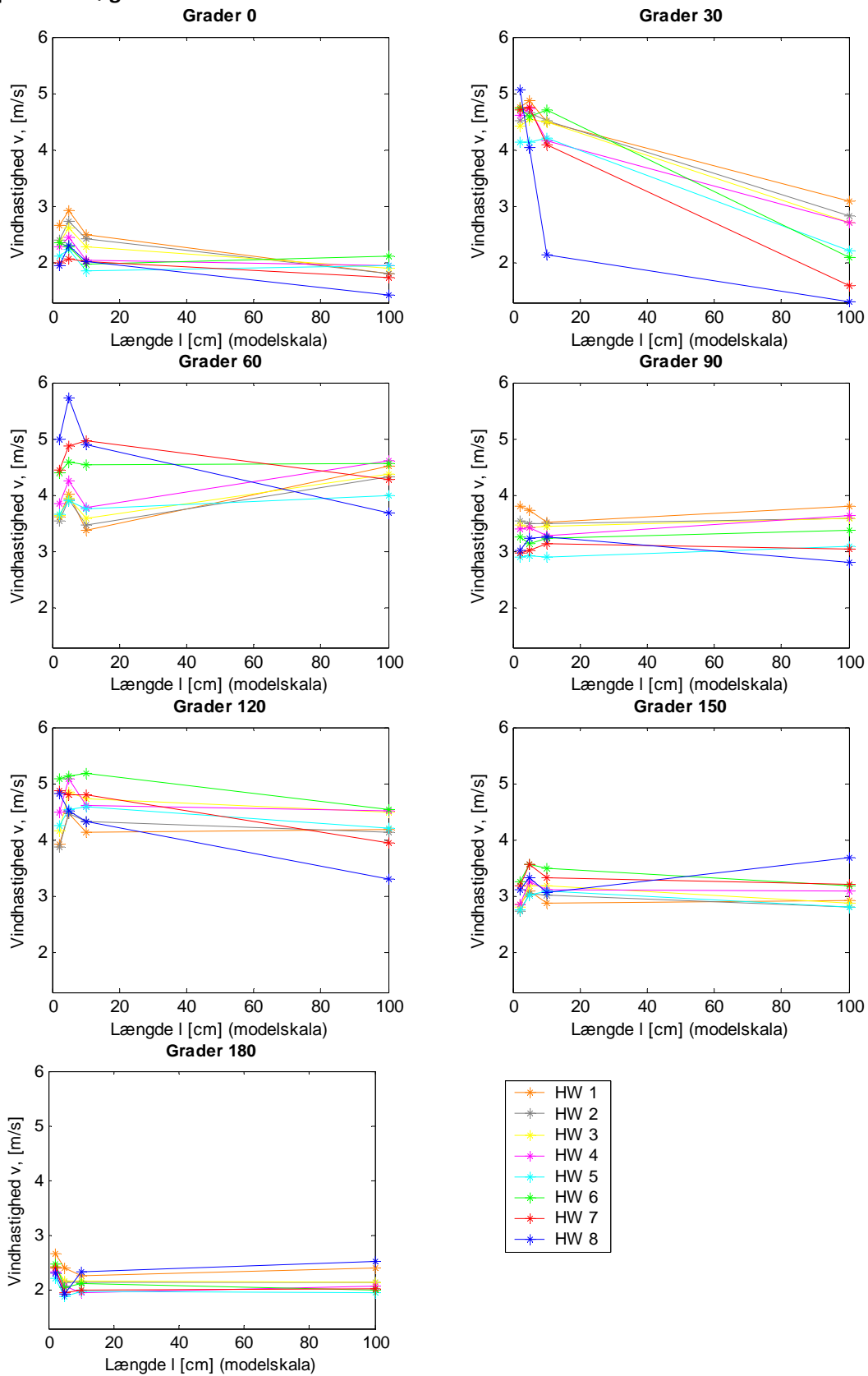
For **type I** – forsøg 5-8 er de mest kritiske tilfælde ved vindretning 0° og 30° , hvor hotwirene er placeret i læ.

De laveste vindhastigheder forekommer nærmest lægiveren (HW 7 og 8).

Når højden h af lægiveren øges fra 0 cm til 5 cm (fra 0 til 50 % af den lave bygnings højde) ses et drop i vindhastigheden. Herefter er der kun en mindre formindskning af vindhastigheden ved yderligere forøgelse af h .

Jo større bredde af lægiveren (b_1), jo mindre vindhastigheder forekommer der.

Plot - type II – forsøg 9-12



Figur D8: Type II – forsøg 9-12 (5cm høj lægiver).

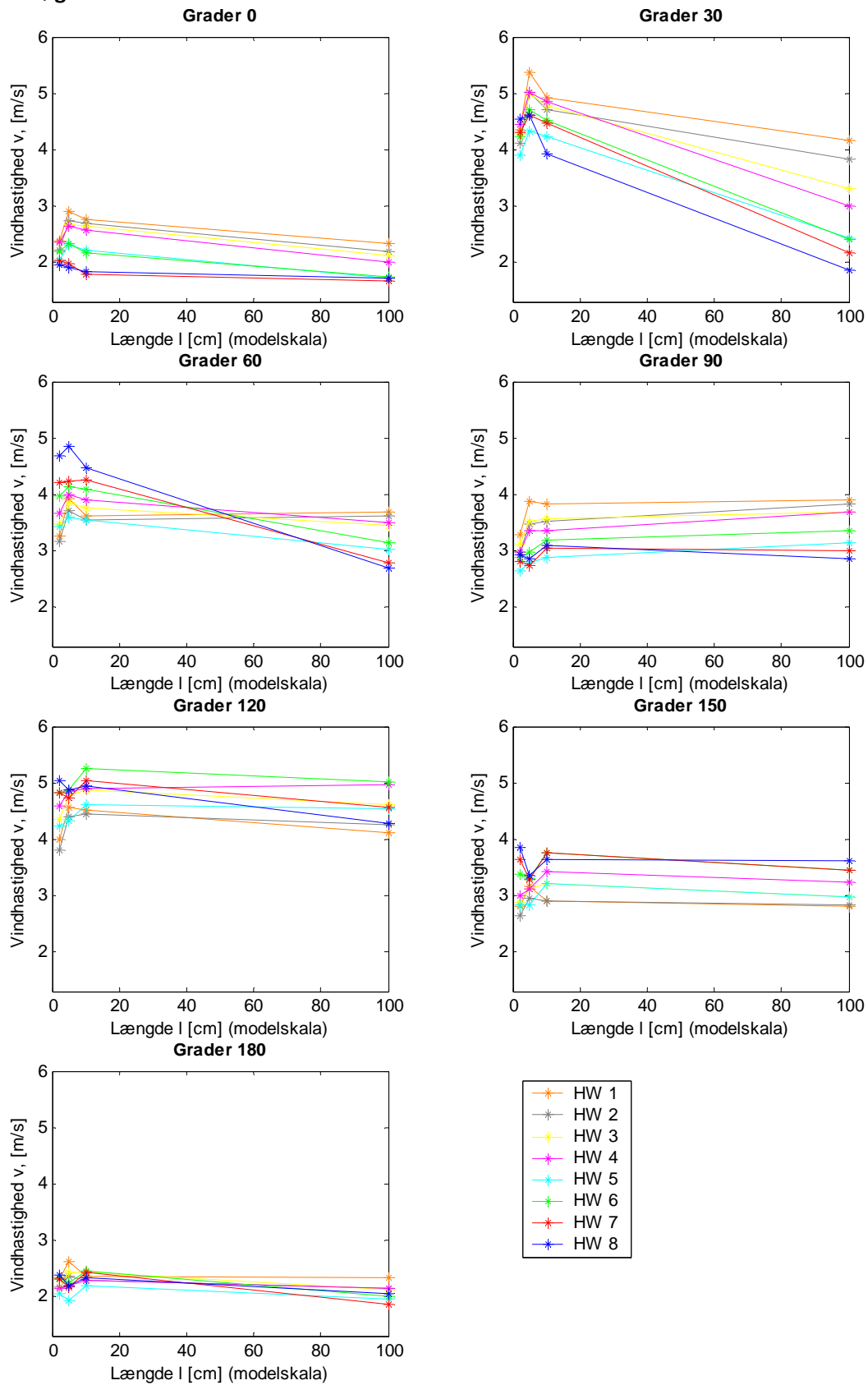
Analyse - type II – forsøg 9-12

For **type II** – forsøg 9-12 er det vindretning 0° og 180° der er mest kritisk.

De laveste vindhastigheder forekommer nærmest lægiveren (HW 7 og 8) ved 0°.

Længden påvirker vindhastigheden, dog er vindhastigheden lavest ved en gennemgående lægiver (samme længde som bygningen).

Type II- forsøg 13-16



Figur D9: Type II – forsøg 13-16 (2cm høj lægiver).

Analyse - type II – forsøg 13-16

For **type II** – forsøg 13-16 er det ved vindretningen 0° og 180°.

De laveste vindhastigheder forekommer nærmest lægiveren (HW 7 og 8) ved 0°.

Længden påvirker vindhastigheden, dog er vindhastigheden lavest ved en gennemgående lægiver (samme længde som bygningen).

Jo større h bliver, jo mindre er vindhastigheden nær lægiveren.

Konklusion

Type I

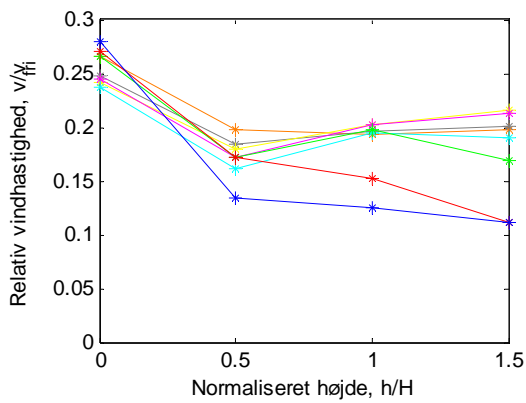
Eurocoden forskriver ligning 5.8: $\mu_2 = (b_1 + b_2)/2h$. **Type I**-forsøgene konkluderer, at bredden af den høje bygning på en hensigtsmæssig måde burde være proportional med formfaktoren. Ydermere burde højdeforskellen h på den lave og den høje bygning også være proportional med formfaktoren og ikke omvendt proportional som angivet i Eurocoden.

Type II

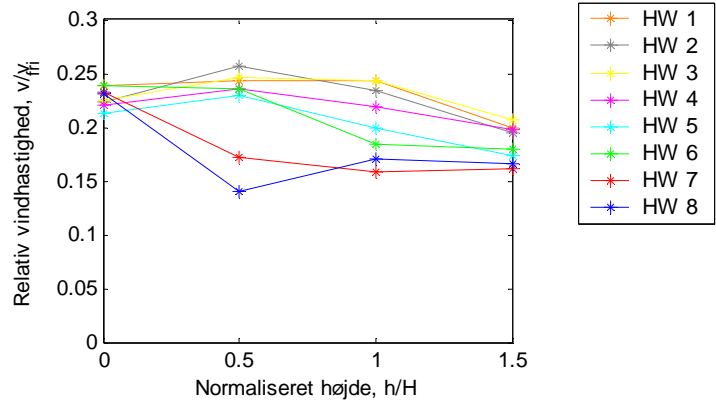
Eurocoden forskriver ligning 6.1: $\mu_2 = \gamma h / s_k$. Denne formulering stemmer overens med forsøgsresultatet for **type II**-forsøgene. Ligeledes er længden af forhindringen mest kritisk, hvis denne er gennemgående.

Konklusionerne på tendenserne fra vindtunnelforsøgene følger af **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet., Fejl! Henvisningskilde ikke fundet., Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** og **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**

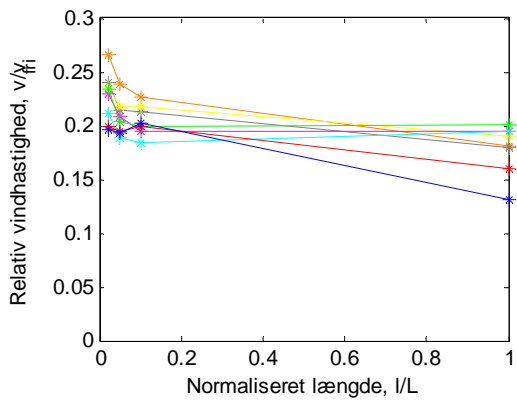
Her er de laveste vindhastigheder for hver hotwire ved hver opstilling uafhængig af vindretningen, normaliseret med den frie vind $v_{frie} = 10 \text{ m/s}$, plottet som funktion af enten den normaliserede højde h/H , hvor H er højden af bygningen (10 cm) eller normaliseret længde l/L , hvor L er længden af konstruktionen (1 m).



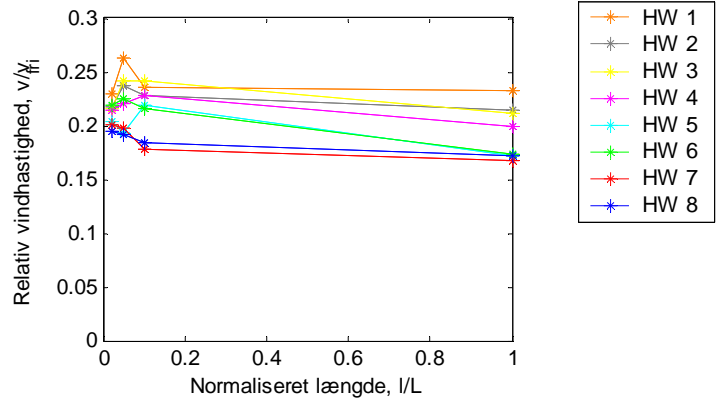
Figur D10: Type I forsøg 1-4.



Figur D11: Type I forsøg 5-8.



Figur D12: Type II forsøg 1-4.



Figur D13: Type II forsøg 5-8.

Pulverforsøg

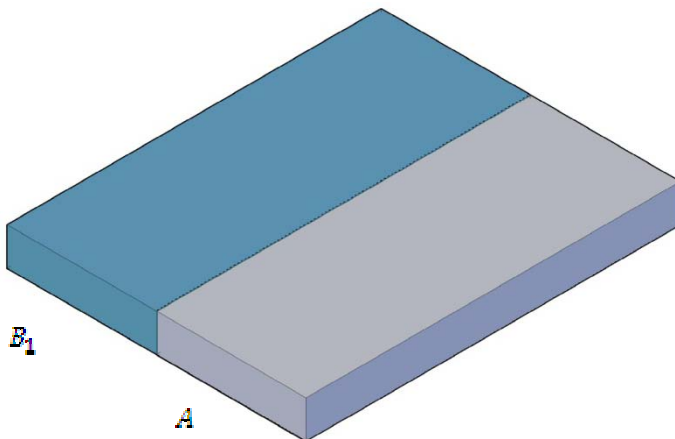
Følgende klassificering af Eurocoden bruges forsat

- **Type I:** For tage som støder op til højere bygværker.

Opstillinger

- Der udføres pulverforsøg på 2 opstillinger af **type I**.
- Forsøgene udføres i geometrisk skala 1:50.
- Symmetrien af opstillingerne udnyttes, så der foretages målinger for hver forsøgsopstilling når denne roteres: 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180° - se figur D5

Type I – forsøg 1

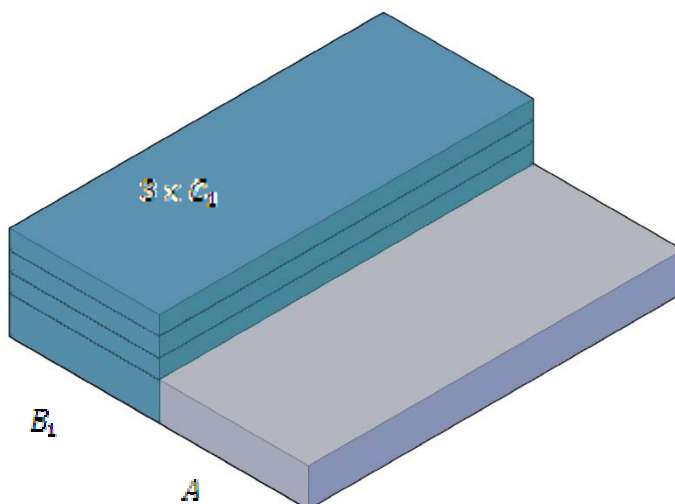


Dimensioner:

$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$E_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

Type I – forsøg 4



Dimensioner:

$$A = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$E_1 = 10\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

$$3 \times C_1 = 5\text{cm} \times 40\text{cm} \times 100\text{cm}$$

Visualisering

På de følgende figurer ses visualiseringen dvs. billederne af pulverforsøgene.

Vindretning 0°



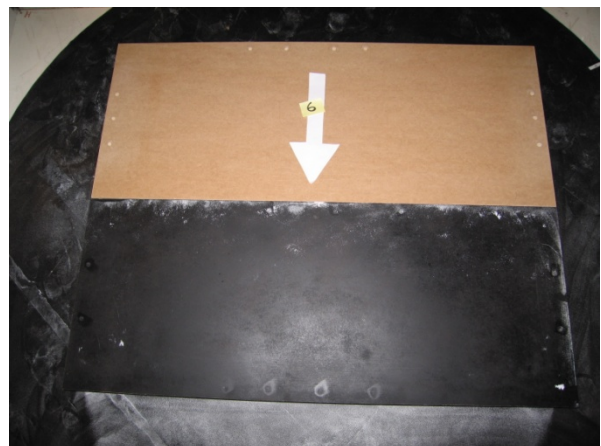
Figur D14: Type I forsøg 1 – Ingen vind.



Figur D15: Type I forsøg 1 – Lav vind.



Figur D16: Type I forsøg 1 – Mellem vind.



Figur D17: Type I forsøg 1 – Høj vind.

Vindretning 30°



Figur D18: Type I forsøg 1 – Ingen vind.



Figur D19: Type I forsøg 1 – Lav vind.

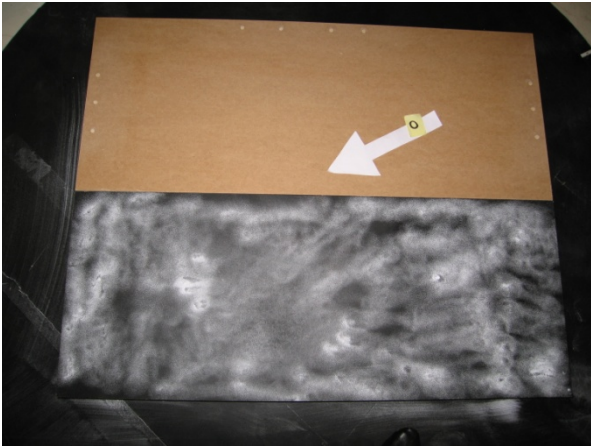


Figur D20: Type I forsøg 1 – Mellem vind.



Figur D21: Type I forsøg 1 – Høj vind.

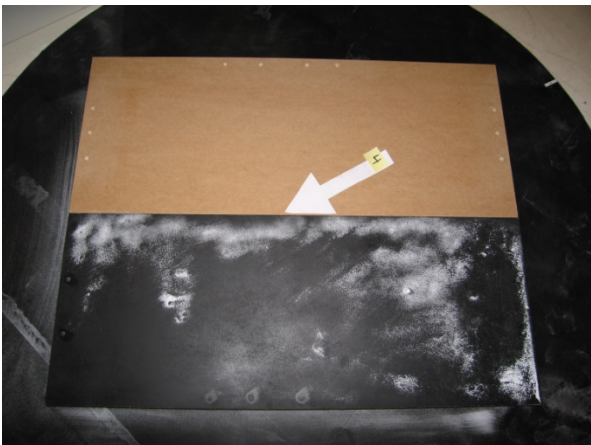
Vindretning 60°



Figur D22: Type I forsøg 1 – Ingen vind.



Figur D23: Type I forsøg 1 – Lav vind.



Figur D24: Type I forsøg 1 – Mellem vind.

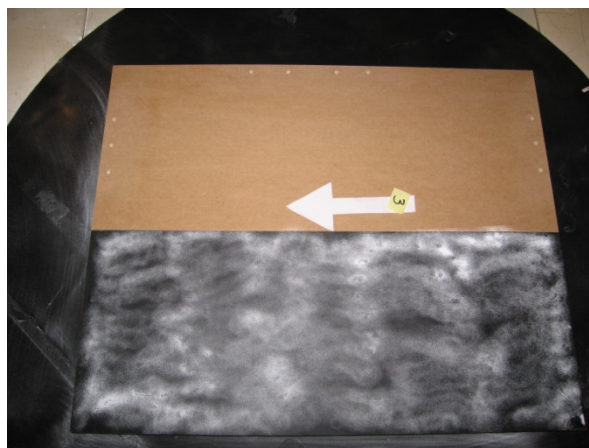


Figur D25: Type I forsøg 1 – Høj vind.

Vindretning 90°



Figur D26: Type I forsøg 1 – Ingen vind.



Figur D27: Type I forsøg 1 – Lav vind.

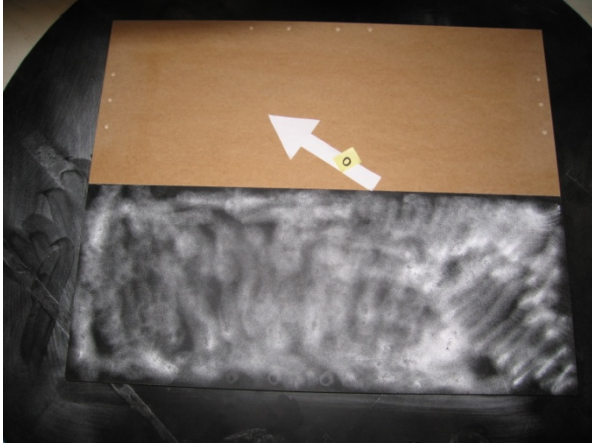


Figur D28: Type I forsøg 1 – Mellem vind.



Figur D29: Type I forsøg 1 – Høj vind.

Vindretning 120°



Figur D30: Type I forsøg 1 – Ingen vind.



Figur D31: Type I forsøg 1 – Lav vind.

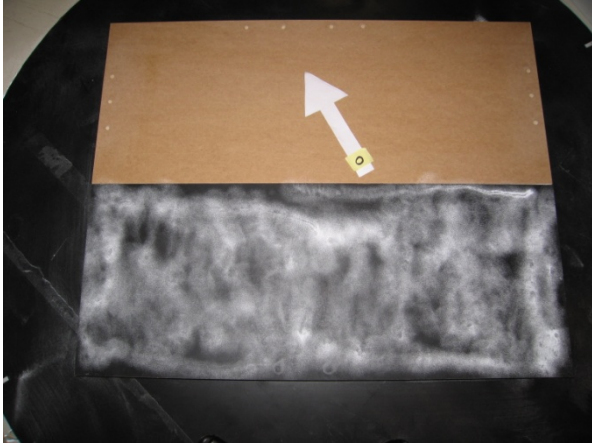


Figur D32: Type I forsøg 1 – Mellem vind.



Figur D33: Type I forsøg 1 – Høj vind.

Vindretning 150°



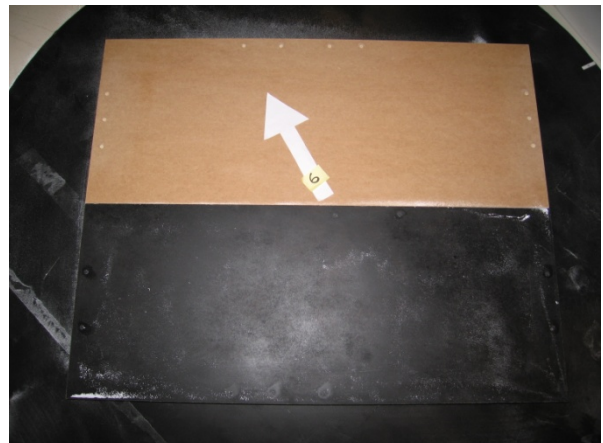
Figur D34: Type I forsøg 1 – Ingen vind.



Figur D35: Type I forsøg 1 – Lav vind.



Figur D36: Type I forsøg 1 – Mellem vind.

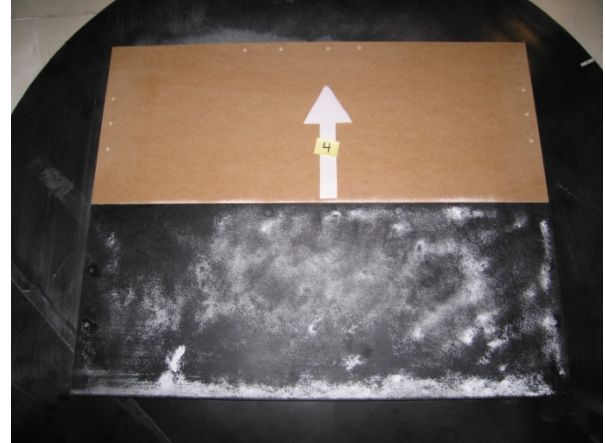


Figur D37: Type I forsøg 1 – Høj vind.

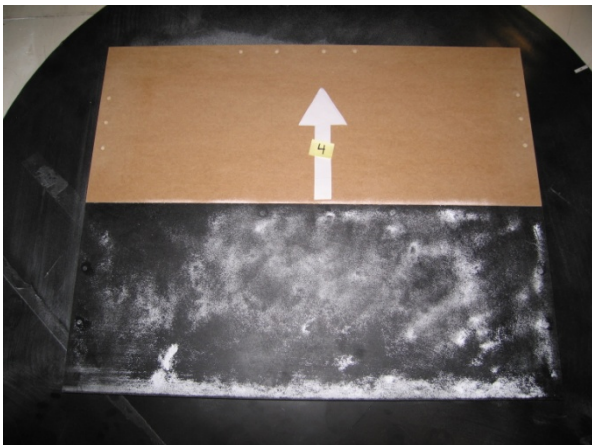
Vindretning 180°



Figur D38: Type I forsøg 1 – Ingen vind.



Figur D39: Type I forsøg 1 – Lav vind.



Figur D40: Type I forsøg 1 – Mellem vind.



Figur D41: Type I forsøg 1 – Høj vind.

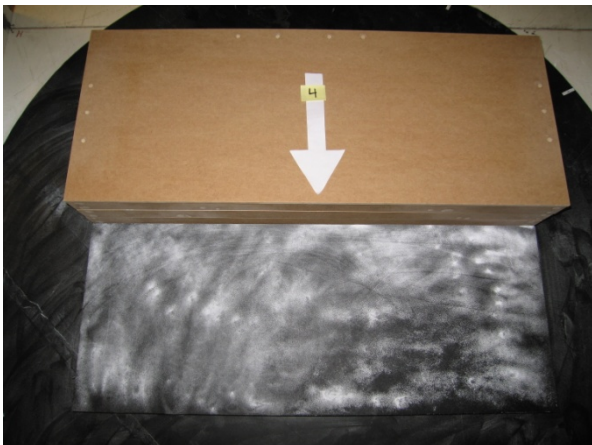
Vindretning 0°



Figur D42: Type I forsøg 4 – Ingen vind.



Figur D43: Type I forsøg 4 – Lav vind.



Figur D44: Type I forsøg 4 – Mellem vind.



Figur D45: Type I forsøg 4 – Høj vind.

Vindretning 30°



Figur D46: Type I forsøg 4 – Ingen vind.



Figur D47: Type I forsøg 4 – Lav vind.



Figur D48: Type I forsøg 4 – Mellem vind.



Figur D49: Type I forsøg 4 – Høj vind.

Vindretning 60°



Figur D50: Type I forsøg 4 – Ingen vind.



Figur D51: Type I forsøg 4 – Lav vind.



Figur D52: Type I forsøg 4 – Mellem vind.



Figur D53: Type I forsøg 4 – Høj vind.

Vindretning 90°



Figur D54: Type I forsøg 4 – Ingen vind.



Figur D55: Type I forsøg 4 – Lav vind.



Figur D56: Type I forsøg 4 – Mellem vind.



Figur D57: Type I forsøg 4 – Høj vind.

Vindretning 120°



Figur D58: Type I forsøg 4 – Ingen vind.



Figur D59: Type I forsøg 4 – Lav vind.



Figur D60: Type I forsøg 4 – Mellem vind.



Figur D61: Type I forsøg 4 – Høj vind.

Vindretning 150°



Figur D62: Type I forsøg 4 – Ingen vind.



Figur D63: Type I forsøg 4 – Lav vind.

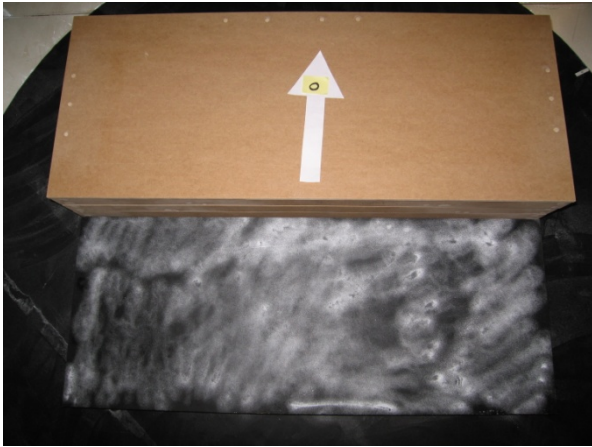


Figur D64: Type I forsøg 4 – Mellem vind.



Figur D65: Type I forsøg 4 – Høj vind.

Vindretning 180°



Figur D66: Type I forsøg 4 – Ingen vind.



Figur D67: Type I forsøg 4 – Lav vind.



Figur D68: Type I forsøg 4 – Mellem vind.



Figur D69: Type I forsøg 4 – Høj vind.

Konklusion

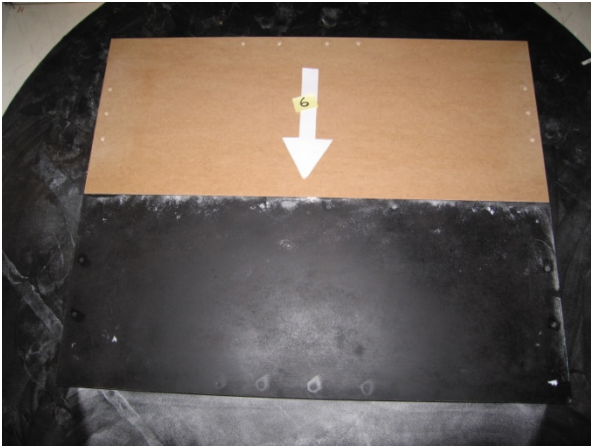
Type I – forsøg 1

Der finder stort set ingen sneophobning sted ved 0° - 60° sneen vil bare blive fjernet af vinden. Ved 90°-180° viser visualiseringen at der kun vil være meget små ophobninger af sne langs den kant, hvor vinden rammer bygningen.

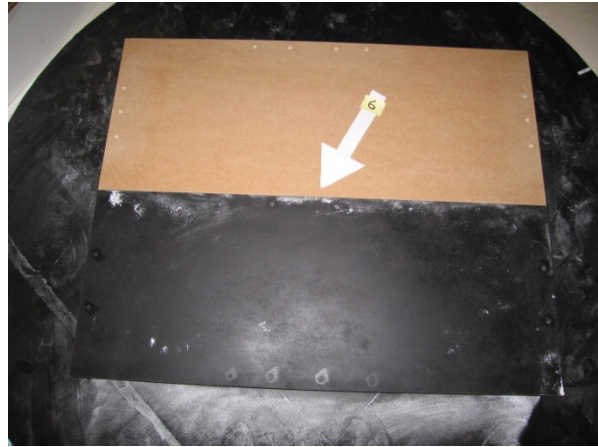
Type I – forsøg 4

Ved 0°-30° ses en tydelig sneophobning, hvor der læ inde langs den høje bygning. Derefter ses en formindskelse af sne ophobningen, når den lave bygning drejes op mod vinden. Herefter er der kun en meget lille ophobning af sne langs den kant, hvor vinden rammer bygningen.

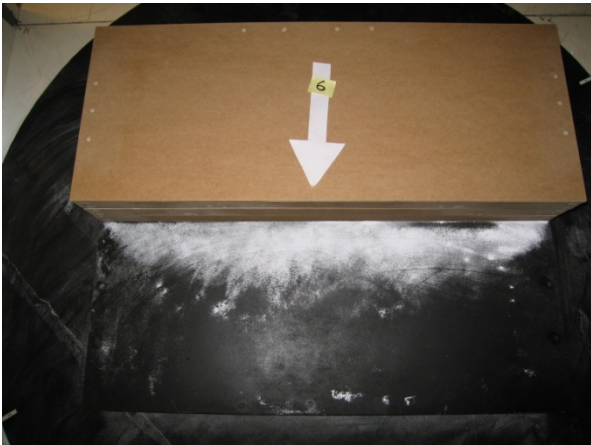
Konklusionerne på tendenserne fra vindtunnelforsøgene følger især af Figur D70, Figur D71, Figur D72 og Figur D73. Her er visualisering vist for vindretning 0° og 30° for type I- forsøg 1 og 4.



Figur D70: Type I forsøg 1 – vindretning 0° - høj vind.



Figur D71: Type I forsøg 1 – vindretning 30° - høj vind.



Figur D72: Type I forsøg 4 – vindretning 0° - høj vind.



Figur D73: Type I forsøg 4 – vindretning 30° - høj vind.

Geometrier beskrivende konstruktioner med stor sneophobning i vinteren 2010

Observationer af snedybder på tage i januar og februar 2010 har især vist to eksempler på sneophobning, der ikke er veldefineret og beskrevet i Eurocoden EN 1991-1-3:

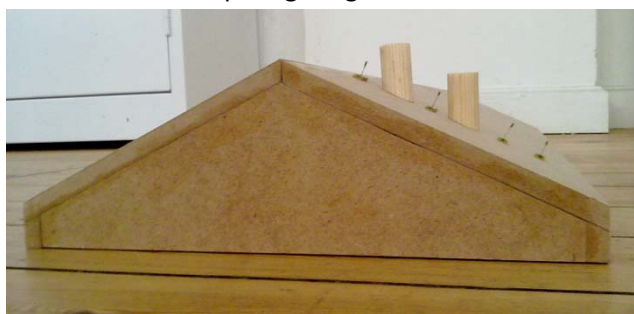
- Ved vinkelbygninger med sadeltage kan der samles betydelige mængder sne ved tagsammenskæringen.
- På bygninger med ventilationsskorstene kan der på læsiden samles betydelige mængde af sne, specielt hvis taget er bredt og der væk fra tagryggen er placeret to rækker skorstene. På tilsvarende bygninger uden skorstene er der væsentlig mindre mængder af sne.

Hotwireforsøg: Stald med installationer på taget

Opstilling

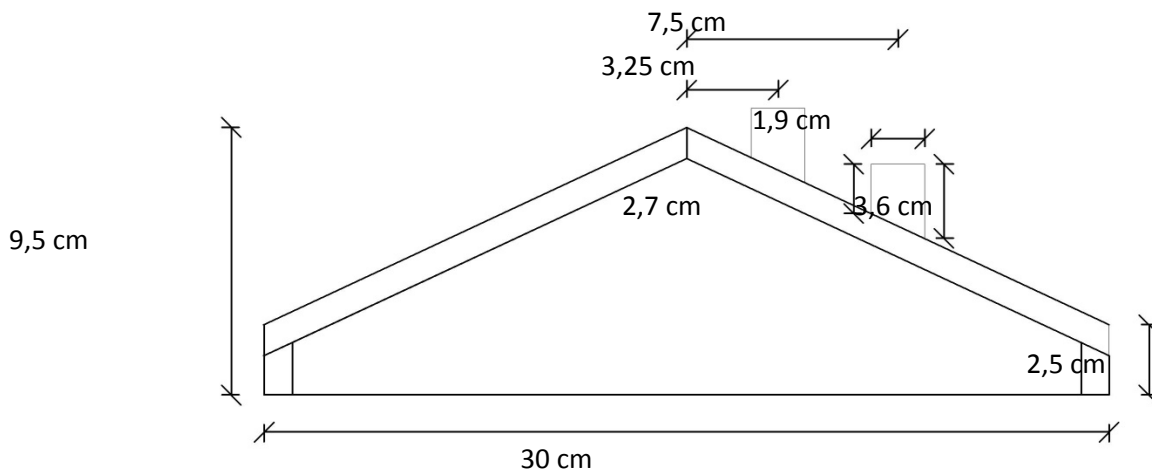
Den valgte staldbygningens dimensioner er baseret de staldbygninger, hvor der i vinteren 2010 er blevet observeret store sneophobninger. Sadeltaget har en hældning på 25° og staldbygningen er 100 m lang i fuldskala.

- Der udføres forsøg på 4 opstillinger:
 1. Staldbygningen uden ventilationsskorstene på taget.
 2. Staldbygning hvor der på den ene side af taget er to rækker med otte ventilationsskorstene i hver.
 3. Staldbygning hvor der er to gennemgående forhindrede med samme højde og bredde som ventilationsskorstene.
 4. Staldbygning hvor der på den ene side af ryggen er placeret en række hætter med otte ventilationsskorstene i hver.
- Forsøgene udføres i geometrisk skala 1:100. Dvs. at staldbygningen er 1 m lang i modelskala og tværsnitsdimensionerne for gavlen og installationerne kan ses på Figur D75. På Figur D74 kan størrelsesforholdet mellem installationer på taget og hotwirene ses.



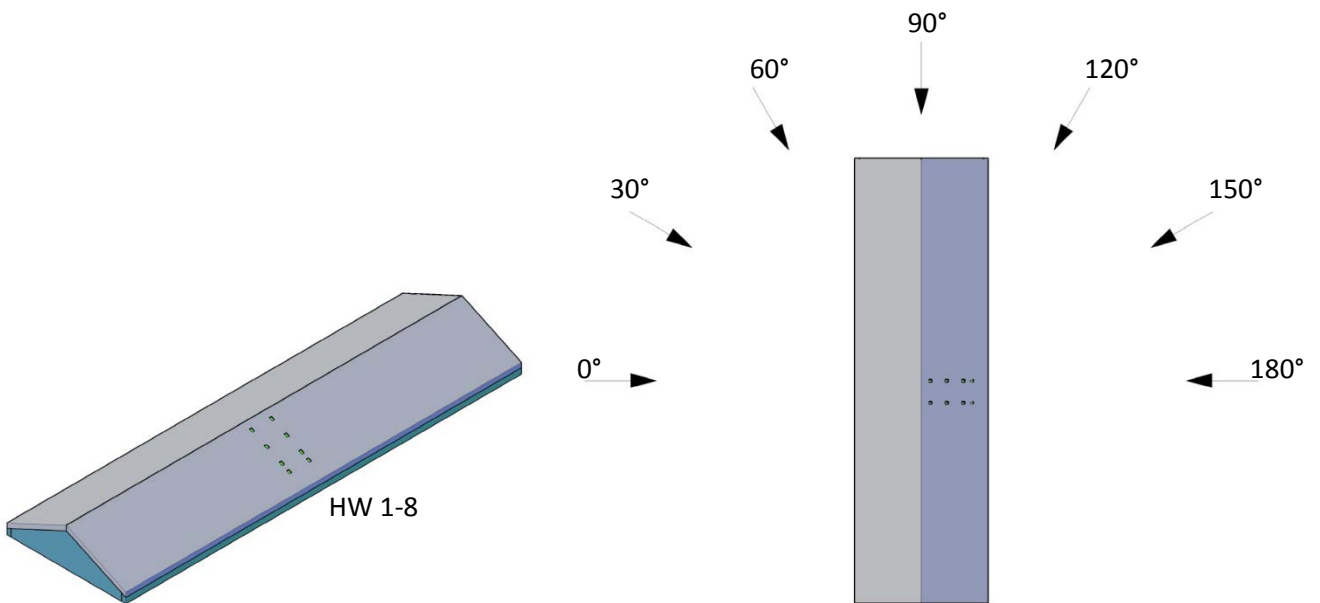
Figur D74: Model af staldbygning med to ventilationsskorstene og 4 hotwire.

- Måletiden for forsøgene er 30 s svarende til 10 min i fuld skala.
- På hver opstilling placeres 8 hotwire, der placeringsafhængigt registrerer vindhastigheder.
- Symmetrien af opstillingerne udnyttes, så der foretages målinger for hver forsøgsopstilling når denne roteres: 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°.



Figur D75: Tværsnit af staldgavl i modelskala.

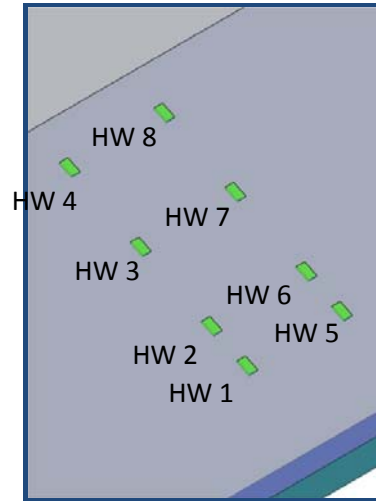
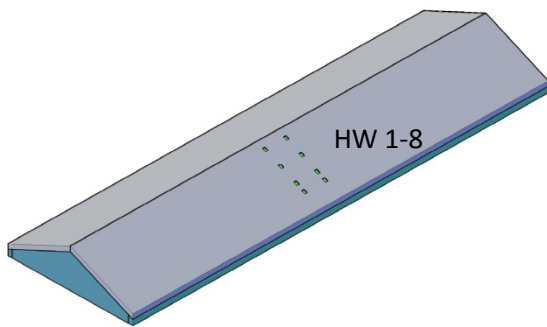
På Figur D76 ses staldbygningen brugt til hotwireforsøgene i 3D og på Figur D77 ses de undersøgte vindretninger.



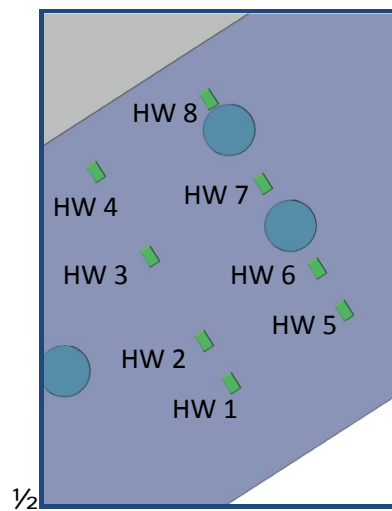
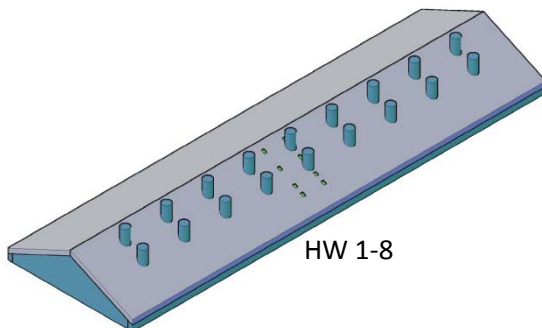
Figur D76: Staldbygning.

Figur D77: Vindretninger.

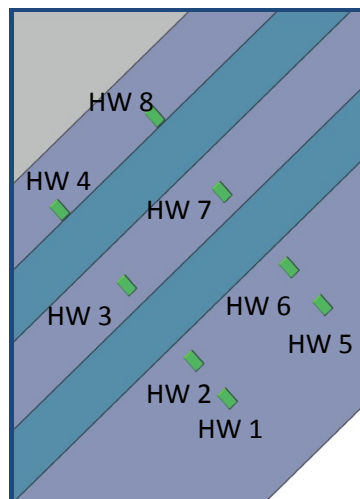
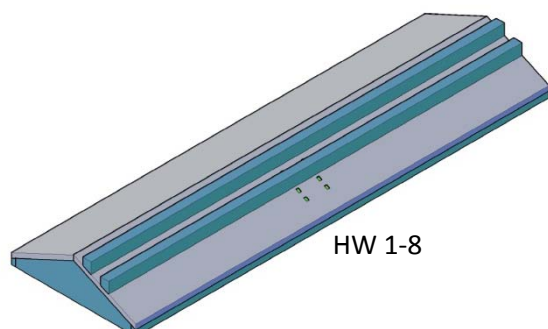
Forsøg 1- uden installationer



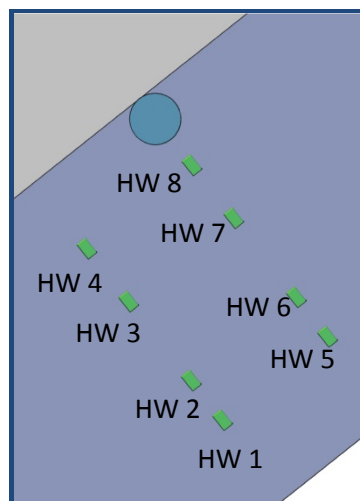
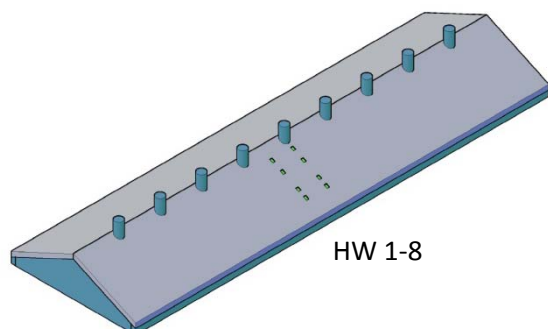
Forsøg 2- med 2 rækker ventilationskorstene



Forsøg 3- gennemgående forhindringer



Forsøg 4- med ventilationsskorstene på tagryggen



Resultater

Til analysen af vindtunneldataene laves syv plot, et for hver vinkel opstillingerne roteres (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°). På y-aksen plottes de målte vindhastigheder for hotwire 1-8 og ud ad x-aksen plottes forsøgs nummeret.

Følgende forsøg plottes i samme grafer:

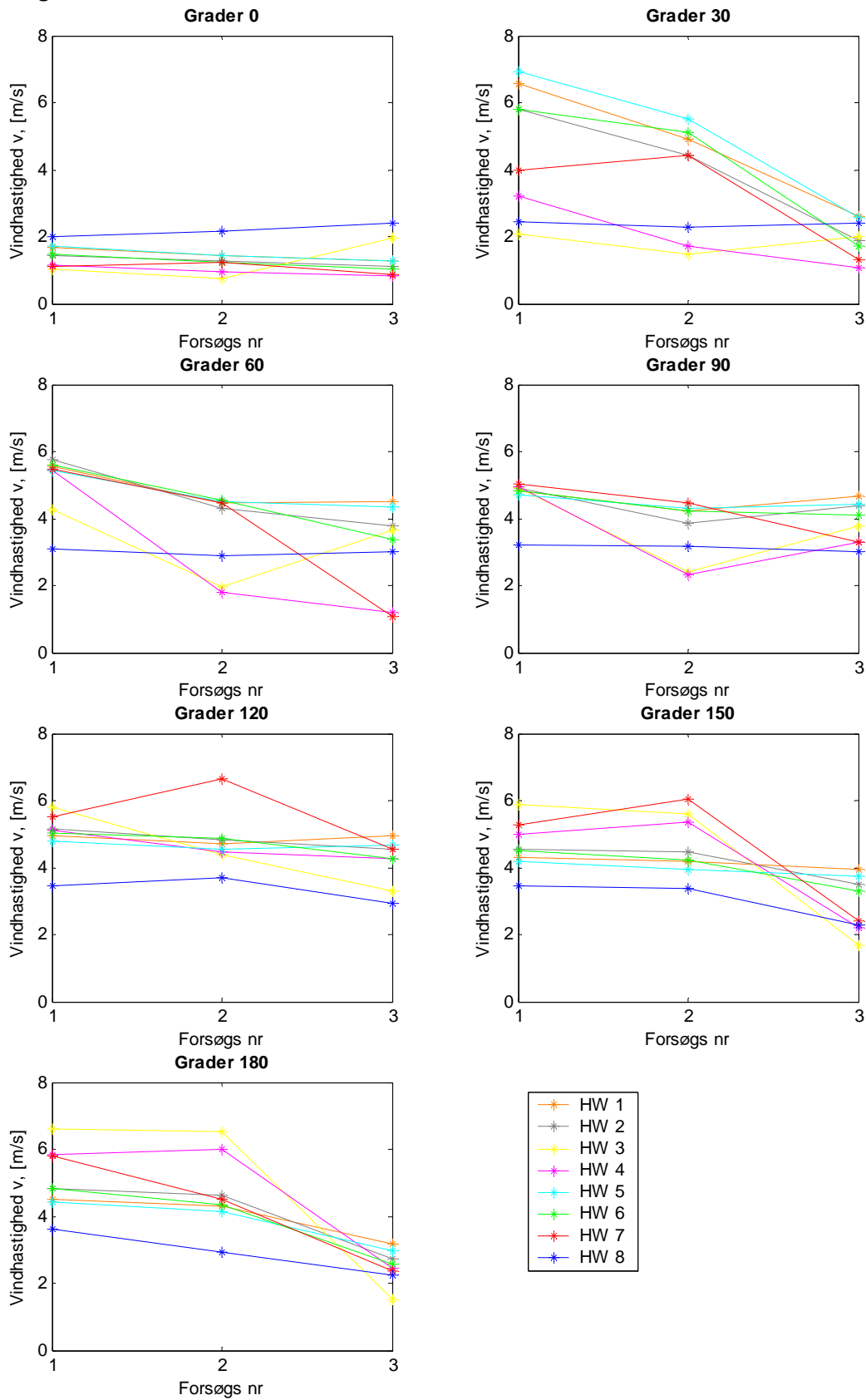
Vindtunneldata for staldbygning forsøg 1-3

1. Forsøg uden installationer på taget.
2. Forsøg med 2 rækker ventilationsskorstene på taget.
3. Forsøg med gennemgående forhindringer.

Vindtunneldata for staldbygning forsøg 1 og 4

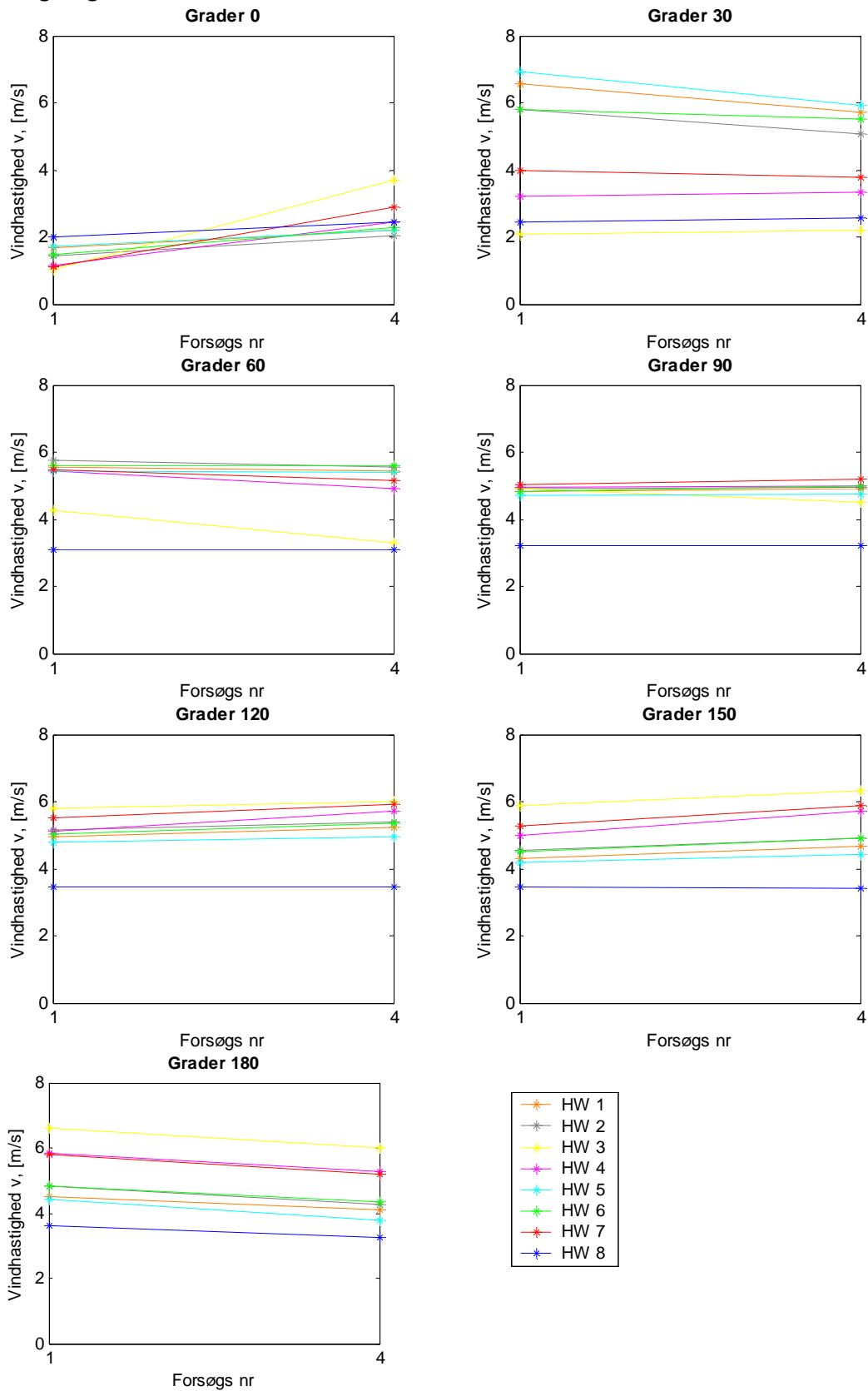
1. Forsøg uden installationer på taget.
4. Forsøg med hætter på tagryggen.

Stald- forsøg 1-3



Figur D78: Vindtunneldata for staldbygning forsøg 1-3.

Stald- forsøg 1 og 4



Figur D79: Vindtunneldata for staldbygning forsøg 1 og 4.

Konklusion

Stald– forsøg 1-3

De laveste vindhastigheder ses at forekomme når hotwirene er placeret på læsiden af staldbygning tag (vindretning 0°) både med og uden ventilationsskorstene på taget (forsøg 1-3). Vindhastighederne ses at være større når vindretningen ændres fra de 0° for alle tre forsøg.

Grunden til sneophobning på saddeltage, kan findes ved at se på vindforskelle fra vindsiden til læsiden af taget. Det ses af Figur D78, at der er store vindhastigheder på vindsiden af taget (vindretning 180°) både med og uden ventilationsskortene, hvilket betyder at der kan flyttes sne fra denne side. På læsiden ses der at være lave vindhastigheder, det vil sige sneen kan lægge sig der. Vindhastigheden ses at falde på læsiden bag ved lægiverne jo mere markante disse der er. Taghældningen på 25° er med til at underbygge dette scenarie, da sadeltage med hældninger omkring 25° og lidt større vil opleve en glat vind, der kan transportere sne fra vindsiden af taget til læsiden af taget.

Ved vindretning 30° og 60° ses der et markant drop i vindhastighederne for hotwire 3 og 4, fra forsøg 1 til 2 dvs. fra et tag uden ventilationsskorstene til et med. De lave vindhastigheder giver mulighed for sneophobning omkring hotwire 3 og 4, da disse står i læ af ventilationsskorstene ved vindretning 30° og 60°. Vindhastighederne målt af hotwire 1-2 og 5-7 er store sammenlignet med hotwire 3-4 dvs. der kan flyttes sne herfra pga. de høje hastigheder og dermed vil der opstå skrå snedriver, som beskrevet i registreringen af de reelle sneophobninger vinteren i 2009/10.

Stald– forsøg 4

De laveste vindhastigheder ses at forekomme, når hotwirene er placeret på læsiden af staldbygning tag, dvs. ved vindretning 0° ligesom i forsøg 1-3. Generelt ses der ingen større forskel i vindhastigheder fra en staldbygning uden installationer (1) til en med ventilationsskorstene nær tagryggen (4). Altså har placeringen af ventilationsskorstene meget nær tagryggen ikke den effekt at der vil dannes snedriver.

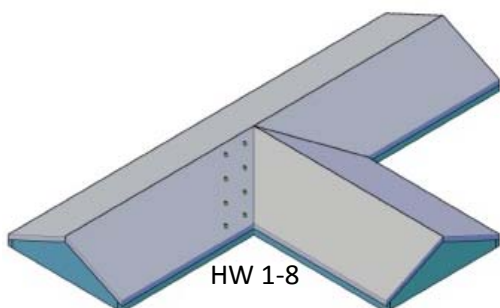
Hotwireforsøg: Stald med vinkelbygning i tagsammenskæring

Opstilling

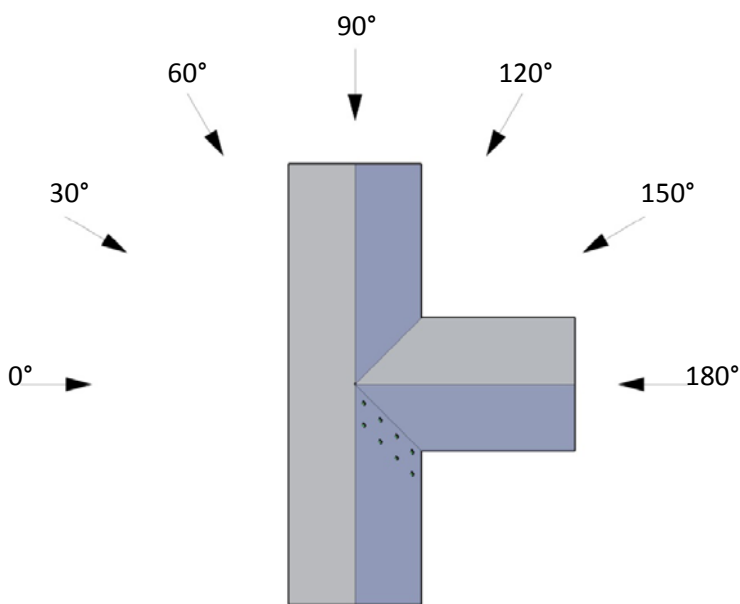
Dimensionerne for den valgte stald med vinkelbygning er baseret de staldbygninger, hvor der i vinteren 2010 er observeret store sneophobninger i tagsammenskæring. Sadeltaget har en hældning på 25°. Hovedbygningen er 100 m lang og vinkelbygningen er 35 m i fuldskala.

- Forsøgene udføres i geometrisk skala 1:100. Dvs. at staldbygningen er 1 m lang og vinkelbygningen er 35 cm lang i modelskala og tværsnitsdimensionerne kan ses på Figur D75 (hvor der ses bort fra installationerne på taget).
- Måletiden for forsøgene er 30 s svarende til 10 min i fuld skala.
- På hver opstilling placeres 8 hotwire, der placeringsafhængigt registrerer vindhastigheder.
- Symmetrien af opstillingerne udnyttes, så der foretages målinger for hver forsøgsopstilling når denne roteres: 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°.

På Figur D80 ses stalden med vinkelbygning i 3D og på Figur D81 ses vindretningerne.

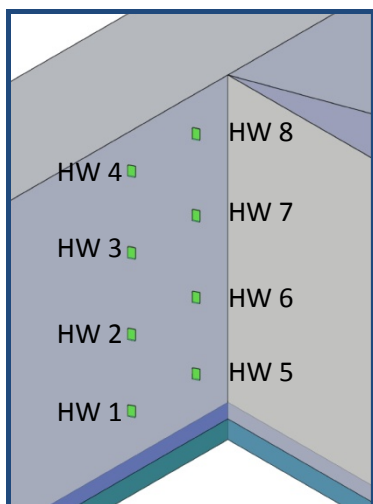


Figur D80: Stald med vinkelbygning.



Figur D81: Vindretninger.

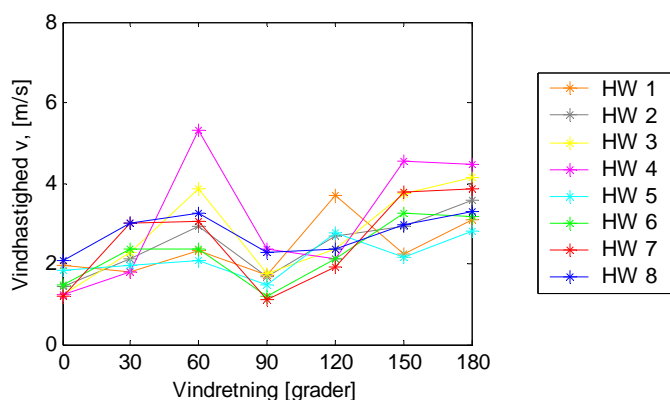
På Figur D82 ses et zoom ind på placering og en angivelse af nummereringen af hotwirene nær tagsammenskæringen. HW 1-4 er placeret 5,6 cm vinkelret fra i tagsammenskæringen og HW 5-8 er placeret 1,9 cm fra tagsammenskæringen (i modelskala).



Figur D82: Placering af hotwire.

Resultater

Til analysen af vindtunneldataene plottes på y-aksen de målte vindhastigheder for hotwire 1-8 og på x-aksen vindretningen.



Figur D83: Stald med vinkelbygning.

Konklusion

Vindhastighederne nær tagsammenskæringen ses at være lavest ved vindretning 0° og 90°, ca. 1-2 m/s, som er i omegnen af vindhastighederne på stalden uden en vinkelbygning for vindretning 0° (se Figur D78). Samme konklusion som i staldforsøgene 1-3, er gældende. Sneen vil flyttes fra et sted med stor vindhastighed til et med lavere, i dette tilfælde til tagsammenskæringen ved de to kritiske retninger 0° og 90°. Det kan konkluderes, at der ved bygninger med vinkelbygning kan være en fordobling af vindhastigheden, da de vindretninger vinkelret på hinanden (forudsat en 90° vinkelbygning) er kritiske.

Annex E: Sikkerhed ved høj snelast og konstruktive mangler

Indledning / Sammenfatning

I nedenstående tabel E.1 er angivet sikkerhedsindeks og i parentes tilhørende svigtsandsynlighed for forskellige lastscenarier. Både stål og trækonstruktioner er undersøgt for egenlasten G svarende til den karakteristiske snelast Q_k henholdsvis halvdelen af Q_k , hvilket dække de sædvanlige forhold. Snelasten er modelleret på forskellig måde.

Model 1 svarer til en konstruktion der overholder normkravene og hvor laster og bæreevner modelleres som forudsat i NA til EN 1990. Det er derfor naturligt at de beregnede sikkerhedsindekser ligger nær målsikkerhedsindekset $\beta = 4,3$ for normal sikkerhedsklasse.

I model 2 er der i modellen tilføjet en variationskoefficient på 40% på snelastens formfaktor, idet erfaringerne fra vinteren 2009-10 viser at usikkerheden på snelasten bør øges. Det reducerer naturligvis sikkerhedsindekset. Det skal undersøges nærmere hvordan modelleringen bør ændres, så tallene skal ses som et tænkt eksempel. Det kan udmøntes i en højere partialkoefficient på snelast eller substitueres med krav om snerydning på tage.

Ved kollaps har snelasten en givet størrelse og kan betragtes som deterministisk. Sikkerhedsindekset er beregnet for snelast svarende til 1,0 , 1,5 og 2,0 gange den karakteristiske snelast Q_k . Det ses at svigtsandsynligheden for både stål og træ er forholdsvis lille ved 1,5 gange den karakteristiske last, men ved 2 gange bliver den meget betydelig, især for stål. Selvom disse svigtsandsynligheder er formelle størrelser indikerer de dog ved hvilket lastniveau man kan forvente mange kollaps af konstruktioner der overholder normkravene.

Tabel E.1. Sikkerhedsindeks og i parentes svigtsandsynligheder for forskellige lastscenarier.

| | Stål | | Træ | |
|-------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | $G = Q_k$ | $G = \frac{1}{2}Q_k$ | $G = Q_k$ | $G = \frac{1}{2}Q_k$ |
| Model 1 | 4,37 ($0,6 \cdot 10^{-5}$) | 4,23 ($1,1 \cdot 10^{-5}$) | 4,41 ($0,5 \cdot 10^{-5}$) | 4,40 ($0,5 \cdot 10^{-5}$) |
| Model 2 | 3,21 ($0,7 \cdot 10^{-3}$) | 3,08 ($1,0 \cdot 10^{-3}$) | 3,58 ($0,2 \cdot 10^{-3}$) | 3,46 ($0,3 \cdot 10^{-3}$) |
| $Q=1.0 Q_k$ | 5,81 ($3,2 \cdot 10^{-9}$) | 6,90 ($2,7 \cdot 10^{-12}$) | 4,11 ($2,0 \cdot 10^{-5}$) | 4,48 ($0,4 \cdot 10^{-5}$) |
| $Q=1.5 Q_k$ | 3,63 ($1,4 \cdot 10^{-4}$) | 3,08 ($1,0 \cdot 10^{-3}$) | 3,06 ($1,1 \cdot 10^{-3}$) | 3,09 ($1,0 \cdot 10^{-3}$) |
| $Q=2.0 Q_k$ | 1,72 (0,04) | 1,34 (0,09) | 2,19 (0,014) | 2,01 (0,022) |

Beregningerne kan også bruges til at vurdere betydningen af konstruktive mangler ved en given snelast. Hvis fx en konstruktions modstandsmoment er 80% af det nødvendige, $G = Q_k$ og $Q = Q_k$ svarer det til at den samlede last øges fra $2 Q_k$ til $2,5 Q_k$. Svigtsandsynligheden svarer derfor til den der er beregnet for $Q = 1,5 Q_k$.

Er snelasten $1,5 Q_k$ samtidig med at modstandsmomentet er 83% af det nødvendige bliver svigtsandsynligheden som for $Q = 2,0 Q_k$. Kombinationen af en stor - men langt fra usandsynlig - snelast med en mindre fejl i konstruktionen øger altså svigtsandsynligheden dramatisk, svarende til kollaps i mellem 1 og 10% af bygningerne.

Det bemærkes at en eventuel højere partialkoefficient på snelast ikke har nogen indflydelse på betragtningerne baseret på deterministisk snelast.

Lastkombinationer og stokastiske modeller

Svigtfunktioner og designligninger

Ved kalibrering / vurdering af partialkoefficienter er benyttet følgende simple, repræsentative lineære svigtfunktion (STR) (se [1]):

$$g = z X_M R - ((1 - \alpha)G + \alpha Q) \quad (1)$$

hvor

R styrke / bæreevne, der modelleres som en stokastisk variabel inkl. modelusikkerhed

X_M modelusikkerhed på bæreevne

z design variabel (f.eks. tværsnitsareal)

G ugunstig permanent last, der modelleres som en stokastisk variabel

Q variabel last, der modelleres som en stokastisk variabel

$\alpha = \frac{Q}{G + Q}$. $\alpha = 0$ svarer til ingen variabel last, og $\alpha = 1$ svarer til ingen ugunstig permanent last.

Repræsentative værdier for α for bygningskonstruktioner: typisk i intervallet [0.1 ; 0.8].

Med udgangspunkt i svigtfunktion (1) og lastkombination (6.10a) og (6.10b) i EN 1990 [2] kan designligningerne skrives som følger, idet z_A og z_B er størrelsen af designvariablen z i (6.10a) og (6.10b):

Lastkombination svarende til EN1990: STR/GEO (6.10a)

$$z_A \frac{R_k}{\gamma_M} - ((1 - \alpha)\gamma_{GB,sup} G_k) \geq 0 \quad (2)$$

Lastkombination svarende til EN1990: STR/GEO (6.10b)

$$z_B \frac{R_k}{\gamma_M} - ((1 - \alpha)\gamma_{GA,sup} G_k + \alpha\gamma_Q Q_k) \geq 0 \quad (3)$$

NB: variable laster indgår ikke i (6.10a).

Design variablen z bestemmes som $z = \max\{z_A, z_B\}$, hvor z_A og z_B bestemmes af (2) og (3).

NB: karakteristisk værdi af bæreevne R_k bestemmes som 5% fraktilen i den totale bæreevne $X_M R$.

Stokastisk model

I nedenstående tabel E.2 er vist den stokastiske model, der benyttes i sikkerhedsvurderingerne nedenfor. Usikkerhederne for bæreevne af konstruktionselementer er baseret på modellerne, der er anvendt ved kalibrering af partialkoefficienter i forbindelse med udarbejdelse af de nationale annekser for bygningskonstruktioner, se [1].

Model 1 for snelast, Q er baseret på [1].

I model 2 modelleres snelast på et tag som et produkt af en terrænværdi, S og en formfaktor, X :

$$Q = X \cdot S$$

Usikkerheden på formfaktoren baseres på data fra baggrundsdokumentet for EN 1991-1-3 [2], se også kapitel 9 i 'Undersøgelser 2010'. Usikkerheden på terrænværdien baseres på resultaterne beskrevet i annek D i 'Undersøgelser 2010'.

Tabel E.2. Stokastisk model. V_m : variationskoefficient for styrkeparameter; V_2 : variationskoefficient for modelusikkerhed.

| Parameter | | Fordelingstype | COV | Karakteristisk værdi |
|-------------------------------|-----------------|----------------|--------------|----------------------|
| Laster – sne model 1 | | | | |
| Permanent last | G | Normal | 10 % | 50 % |
| Variabel last - naturlastlast | Q | Gumbel | 40 % | 98 % |
| Laster – sne model 2 | | | | |
| Permanent last | G | Normal | 5 % | 50 % |
| Variabel last - snelast | $Q = X \cdot S$ | | | |
| Terrænværdi | S | Gumbel | 40 % | 98 % |
| Formfaktor | X | Gumbel | 40 % | Middelværdi |
| Styrkeparametre – STR | | | | |
| Træ: styrke, konstruktionstræ | R | Lognormal | $V_m = 0.20$ | 5 % |
| Modelusikkerhed | X_M | Lognormal | $V_2 = 0.05$ | |
| Stål: styrke | R | Lognormal | $V_m = 0.07$ | 5 % |
| Modelusikkerhed | X_M | Lognormal | $V_2 = 0.05$ | |

Sikkerhedsniveau

Partialkoefficienter i de danske nationale annekser for bygningskonstruktioner er kalibreret til følgende mål-sikkerhedsindeks med en referenceperiode på 1 år:

$$\beta_t = 3.8 \quad \text{for Lav Konsekvensklasse (CC1)}$$

$$\beta_t = 4.3 \quad \text{for Middel Konsekvensklasse (CC2)}$$

Partialkoefficienter

Der er anvendt følgende partialkoefficienter:

Permanent last til ugunst: $\gamma_{GA,sup} = 1.0$

Permanent last til ugunst: $\gamma_{GB,sup} = 1.2$

Snelast: $\gamma_Q = 1.5$

Partialkoefficienter for konstruktionsmaterialer:

Træ (konstruktionstræ): $\gamma_M = 1.35$

Stål: $\gamma_M = 1.1 / 0.9$

Ved beregning af sikkerhedsindeks anvendes partialkoefficienten for varslet brud uden reserve. Korrektionen af partialkoefficienten for andre brudformer indgår ikke i beregningerne. Derfor normeres partialkoefficienten for stål med 0,9, svarende til brud med bæreevnereserve.

Resultater

Sikkerhedsniveauet er bestemt for to værdier af α :

$\alpha = 0,33$: karakteristisk permanent last = karakteristisk snelast

$\alpha = 0,50$: karakteristisk permanent last = $\frac{1}{2}$ karakteristisk snelast

Sikkerhedsindekser (med referenceperiode på 1 år) er bestemt for de 2 modeller for snelast i tabel 1. endvidere er sikkerhedsniveauet bestemt for deterministiske snelaster lig 1, 1,5 og 2 gange den karakteristiske snelast. Resultaterne er vist i tabel E.3.

Tabel E.3. Sikkerhedsindekser med svigtsandsynligheder angivet i parantes.

| | Stål | | Træ | |
|---------------|--|--|--|--|
| | $\alpha = 0,33$ | $\alpha = 0,5$ | $\alpha = 0,33$ | $\alpha = 0,50$ |
| Model 1 | 4,37 ¹⁾ ($0,6 \cdot 10^{-5}$) | 4,23 ³⁾ ($1,1 \cdot 10^{-5}$) | 4,41 ⁵⁾ ($0,5 \cdot 10^{-5}$) | 4,40 ⁷⁾ ($0,5 \cdot 10^{-5}$) |
| Model 2 | 3,21 ²⁾ ($0,7 \cdot 10^{-3}$) | 3,08 ⁴⁾ ($1,0 \cdot 10^{-3}$) | 3,58 ⁶⁾ ($0,2 \cdot 10^{-3}$) | 3,46 ⁸⁾ ($0,3 \cdot 10^{-3}$) |
| $Q = 1.0 Q_k$ | 5,81 ($3,2 \cdot 10^{-9}$) | 6,90 ($2,7 \cdot 10^{-12}$) | 4,11 ($2,0 \cdot 10^{-5}$) | 4,48 ($0,4 \cdot 10^{-5}$) |
| $Q = 1.5 Q_k$ | 3,63 ($1,4 \cdot 10^{-4}$) | 3,08 ($1,0 \cdot 10^{-3}$) | 3,06 ($1,1 \cdot 10^{-3}$) | 3,09 ($1,0 \cdot 10^{-3}$) |
| $Q = 2.0 Q_k$ | 1,72 (0,04) | 1,34 (0,09) | 2,19 (0,014) | 2,01 (0,022) |

Noter: Følsomheden af de enkelte stokastiske variable i form af α^2 -værdier er:

- | | | | |
|------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1) $\alpha_R^2 = 14\%$ | $\alpha_G^2 = 2\%$ | $\alpha_Q^2 = 84\%$ | |
| 2) $\alpha_R^2 = 5\%$ | $\alpha_G^2 = 1\%$ | $\alpha_S^2 = 47\%$ | $\alpha_X^2 = 47\%$ |
| 3) $\alpha_R^2 = 10\%$ | $\alpha_G^2 = 1\%$ | $\alpha_Q^2 = 89\%$ | |
| 4) $\alpha_R^2 = 4\%$ | $\alpha_G^2 = 0\%$ | $\alpha_S^2 = 48\%$ | $\alpha_X^2 = 48\%$ |
| 5) $\alpha_R^2 = 49\%$ | $\alpha_G^2 = 2\%$ | $\alpha_Q^2 = 49\%$ | |
| 6) $\alpha_R^2 = 24\%$ | $\alpha_G^2 = 1\%$ | $\alpha_S^2 = 38\%$ | $\alpha_X^2 = 38\%$ |
| 7) $\alpha_R^2 = 37\%$ | $\alpha_G^2 = 0\%$ | $\alpha_Q^2 = 62\%$ | |
| 8) $\alpha_R^2 = 18\%$ | $\alpha_G^2 = 0\%$ | $\alpha_S^2 = 41\%$ | $\alpha_X^2 = 41\%$ |

Resultaterne viser:

- Sikkerhedsniveauet ved anvendelse af model 1 svarer til det, som er forudsat ved kalibreringen af partialkoefficienterne
- Sikkerhedsniveau ved anvendelse af model 2 er væsentligt under det forudsatte både for lav og middel konsekvensklasse. Dette skyldes dels at variationskoefficienterne for snelast er større end dem, som er forudsat ved kalibreringen og dels at den karakteristiske værdi for formfaktoren er for lav – denne burde vælges som en øvre fraktilværdi.
- Ved store snelaster har trækonstruktioner en mindre svigtsandsynlighed end stålkonstruktioner

NB: Det bemærkes, at usikkerheden for terrænværdien kan antages at have en høj korrelationskoefficient mellem forskellige tage, medens usikkerheden for formfaktoren har en lille korrelationskoefficient fra tag til tag.

Referencer

- [1] Sørensen, J.D., J. Munch-Andersen, S.O. Hansen, F.O. Sørensen, H.H. Christensen, P. Lind & A. Poulsen: Baggrundsundersøgelser ifm. udarbejdelse af Nationale Annekser til EN1990 og EN1991. Dansk Standard, 2008.
- [2] Sanpaolesi, P. et al.: Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works – Snow loads. Report, Commission of the European Communities, December, 1997.

Andre referencer:

- [] EN 1990: Eurocode 0 – Basis of Structural Design. 2002.
- [] JCSS: Probabilistic Model Code. <http://www.jcss.ethz.ch/>
- [] Sørensen, J.D., S.O. Hansen & T. Arnbjerg Nielsen: Calibration of Partial Safety Factors for Danish Structural Codes. Draft – not published, 2000.
- [] Sørensen, J.D., S.O. Hansen & T. Arnbjerg Nielsen: Calibration of Partial Safety Factors and Target Reliability Level in Danish Structural Codes. IABSE Conf. 'Safety, Risk and Reliability – trends in Engineering', Malta, 2001, pp. 179-184.
- [] JCSS: Background documentation Eurocode 1 (ENV 1991) Part 1: Basis of Design, 1996.
- [] ISO 2394: General principles on reliability for structures. 1998.

INDLEDENDE UDREDNING AF SNELAST I 2010



Februar
2010

Dansk Standard normudvalget for sikkerhed og last

Dokumentet indeholder en sammenfatning og bilag med cases.

Indledende udredning af snelast i 2010

SAMMENFATNING

Der har i starten af 2010 været flere sammenstyrtninger af tagkonstruktioner påvirket af snelast. Erhvervs- og Byggestyrelsen (EBST) har på denne baggrund bedt Dansk Standard (DS) normudvalget for last og sikkerhed om at foretage en indledende udredning af de observerede snemængder på bygningstage og om at sammenholde observationerne med specifikationerne i normerne.

De nuværende regler i Eurocoden EN 1991-1-3, [1] er bl.a. baseret på resultaterne opnået i et omfattende europæisk forskningsprojekt, der blev gennemført med henblik på at etablere en veldokumenteret basis for de europæiske normregler, se Sanpaolesi 1997, [2]. I det nuværende danske nationale annekst suppleres Eurocoden med ekstra lasttilfælde af sneophobning og skærper dermed kravene.

Den gennemførte udredning er baseret på:

- DMI data af de målte snedybder på terræn på danske stationer.
- Informationer fra normudvalgets netværk.
- Besigtigelse af forholdene ved nogle af de sammenstyrtede konstruktioner. Dette omfatter densitet af sne og snedybder på tage, specielt brede staldbygninger.

Udredningen har ikke indeholdt nogen former for statiske beregninger af konstruktioner, og den belyser således ikke, om konstruktionerne lever op til normernes krav til sikkerhed.

Resultater

De gennemførte observationer i januar og februar 2010 viser, se bilag:

- Densiteten af sne varierer betydeligt med dybden: fra under 2 kN/m³ for nysne til 3.0-3.5 kN/m³ for ca. 1 måned gammel sne. Den gennemsnitlige densitet er ca. 2.5 kN/m³.
- DMI's målte snedybder på terræn svarer i visse områder af Danmark til terrænværdier, der er større end den karakteristiske værdi på 0.9 kN/m² angivet i det danske nationale annekst til Eurocoden EN 1991-1-3. Målte snedybder på 50-60 cm svarer til en snelast på terræn, der er af størrelsesordenen 1.5 kN/m². Dette er tæt på den regningsmæssige terrænværdi, hvis hele partialkoefficienten på 1.5 knyttes til usikkerheden på terrænværdien.

Det vides ikke i hvilket omfang DMI's målte snedybder er påvirket af lokal sneophobning.

Observationerne af snedybder på tage har især vist 2 eksempler på sneophobning, der ikke er beskrevet tydeligt i Eurocoden EN 1991-1-3:

- Ved vinkelhuse med sadeltage kan der samles betydelige mængder af sne i skotrender. Eurocoden EN 1991-1-3 indeholder ikke klare regler for disse snelaster.

- På brede bygninger med ventilationsskorstene kan der på læsiden samles betydelige mængder af sne – specielt hvis der er 2 rækker af skorstene på samme side af kip, og tagene er brede. På tilsvarende bygninger uden skorstene er der væsentlig mindre mængder af sne. Eurocoden EN 1991-1-3 indeholder ikke tydelige anvisninger, der tager hensyn til sneophobning ved ventilationsskorstene på tage.

Der er observeret tilfælde, hvor den dynamiske virkning af nedskridende sne fra et højere liggende tag har medført svigt på den lavere liggende konstruktion, eksempelvis for en markise i Hjørring.

Det vides ikke, om de konstruktioner, der lever op til normernes krav til sikkerhed, har været udsat for svigt.

Anbefalinger angående revision af snenormen

Det anbefales, at der gennemføres en detaljeret undersøgelse af sneophobning på hustage, eksempelvis hustage med flere lokale lægivere. Undersøgelsen kan eksempelvis omfatte vindtunnelmålinger på forskellige modeller, hvor sneophobningen belyses i forsøgene. Disse resultater kan sammen med generelle vurderinger medføre mere tydelige anvisninger angående sneophobning i det danske nationale anneks.

Den dynamiske virkning af nedskridende sne kunne også medtages i revisionen af normen.

På det foreliggende grundlag synes der ikke at være behov for en væsentlig forøgelse af sneens terrænværdi. Dette ville i givet fald øge kravene til samtlige sneudsatte konstruktioner voldsomt, og nærværende observationer synes ikke at give belæg for et sådant tiltag.

Det anbefalede videre arbejde forankres naturligt i offentlige forskningsmiljøer; men det er afgørende, at normudvalget kommer til at spille en central og aktiv rolle i udredningen. Det bedste endelige og implementerede normresultat skabes i samarbejde mellem forskningsmiljøer, praktiske ingeniører, sneeksperter og normudvalg, herunder også europæiske normudvalg. Arbejdet kunne eksempelvis gennemføres af en ad-hoc gruppe bestående af udvalgte sneeksperter fra forskningsmiljøerne og nogle af normudvalgets medlemmer. Det kunne være hensigtsmæssigt, hvis EBST sørger for, at ad-hoc gruppen får adgang til de igangværende udredninger af svigt fremkaldt af sne.

Tiltag til forøgelse af konstruktioners sikkerhed

Erfaringer fra tidligere ekstreme lastsituationer fremkaldt af enten vind eller sne viser, at de konstruktioner, som lever op til normernes krav til sikkerhed, ikke svigter. Erfaringerne viser ydermere, at de svigtede konstruktioners bæreevne er langt mindre end svarende til de normfastsatte krav. Dette er måske både tilfældet i nærværende situation og i forbindelse med de ekstreme sneforhold observeret i slutningen af februar 2007.

December orkanen i 1999 medførte forsikringskader for ca. 14 milliarder kr. Denne orkan var på de fleste lokaliteter væsentlig mindre end de regningsmæssige forhold, og de svigtede konstruktioner havde typisk langt mindre bæreevne end påkrævet efter normerne. Da antallet af skader øges eksplosivt med øget vindtryk, vil en lidt kraftigere orkan, som stadigvæk er inden for normernes regningsmæssige rammer, medføre et meget betydeligt skadesomfang, der langt overstiger skaderne fra decemberorkanen i 1999.

På baggrund af ovenstående mere generelle betragtninger kunne EBST overveje mulige tiltag, der på sigt vil øge sikkerheden for de eksisterende konstruktioner, som i øjeblikket slet ikke lever op til normernes krav. Der kunne eksempelvis etableres en procedure, hvor byggeriets parter, herunder forsikringsselskaberne, over en årrække kunne medvirke til øget sikkerhed for udsatte konstruktioner. Der skal fokuseres på de mest udsatte konstruktioner, hvis bæreevne er væsentlig mindre end normernes krav. Konstruktioner, hvis bæreevne er 10-20 % mindre end normernes krav, hører eksempelvis ikke til de omtalte udsatte konstruktioner.

BILAG

Indhold

- 1 SNE DENSITETER
- 2 SNEDYBDER PÅ TERRÆN
- 3 SNE PÅ TAGE – OBSERVATIONER
 - 3.1 Skindbjerg 1
 - 3.2 Skindbjerg 2
 - 3.3 Dronninglund
 - 3.4 Sindal
 - 3.5 Støvring
 - 3.6 Sæby
 - 3.7 Redsø
 - 3.8 Suldrup
 - 3.9 Doense
 - 3.10 Volsted
 - 3.11 Arden
- 4 REFERENCER

Sne densiteter

| Dybde [cm] | Densitet [kN/m ³] |
|---------------|----------------------------------|
| 0 | 1,85 |
| 0 | 1,60 |
| 0 | 1,49 |
| 10 | 2,44 |
| 20 | 1,75 |
| 20 | 3,02 |
| 27 | 3,10 |
| 38 | 3,42 |
| 38 | 3,18 |
| 42 | 3,14 |

Tabel 1. Snedybder og -densiteter d. 5. februar 2010.

| Dybde [cm] | Densitet [kN/m ³] |
|---------------|----------------------------------|
| 0 | 2,27 |
| 0 | 2,22 |
| 12 | 3,07 |
| 12 | 3,08 |
| 24 | 3,21 |
| 24 | 3,37 |

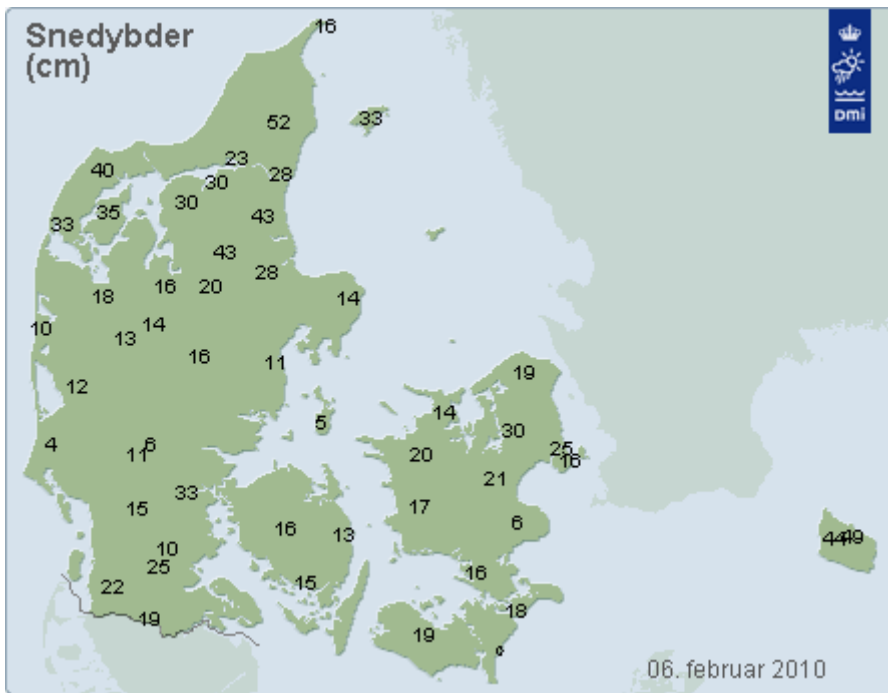
Tabel 2. Snedybder og -densiteter d. 19. februar 2010.

I tabel 1 og 2 er vist densiteten af sne udtaget i forskellige dybder ved AAU, Sohngaardsholmsvej, Aalborg den 5. og 19. februar 2010 – fra løs sne i overfladen til fast sne ved jordoverfladen. Resultaterne viser stor variation i densiteten, men i overensstemmelse med værdierne i tabel 3. Gennemsnittet for densiteterne den 5. februar er ca. 2.5 kN/m³. Densiteterne den 19. februar, hvor sneen var meget 'våd' pga. regn/slud, er lidt større.

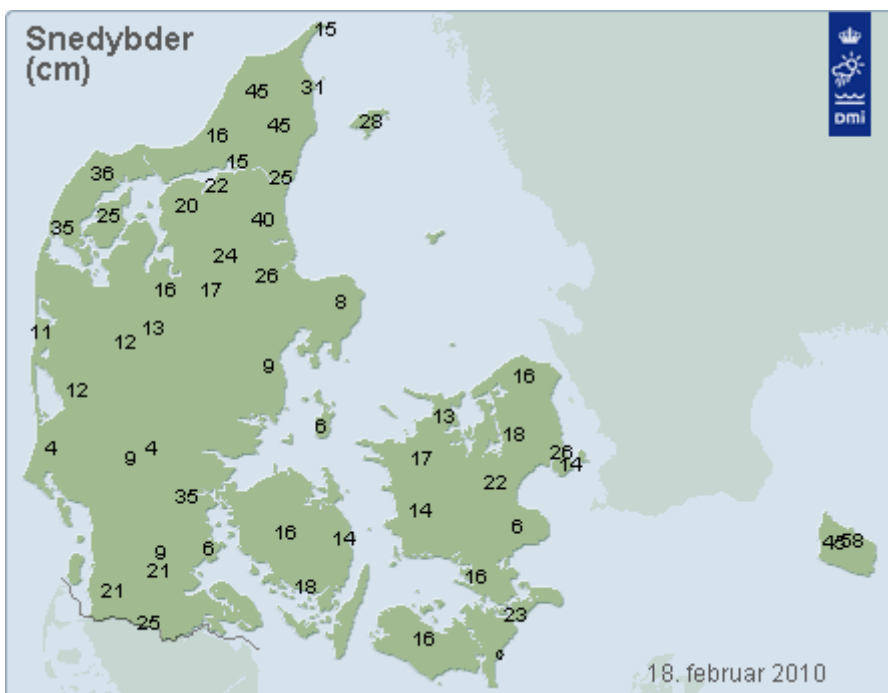
Table E.1: Mean bulk weight density of snow

| Type of snow | Bulk weight density [kN/m ³] |
|--|---|
| Fresh | 1,0 |
| Settled (several hours or days after its fall) | 2,0 |
| Old (several weeks or months after its fall) | 2,5 - 3,5 |
| Wet | 4,0 |

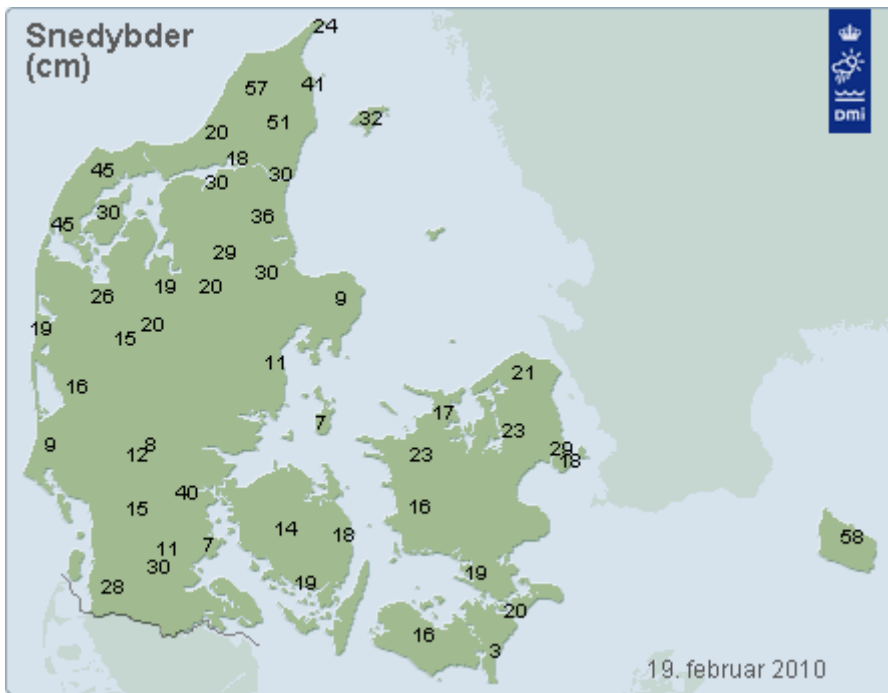
Tabel 3. Densiteter angivet i EN 1991-1-3.



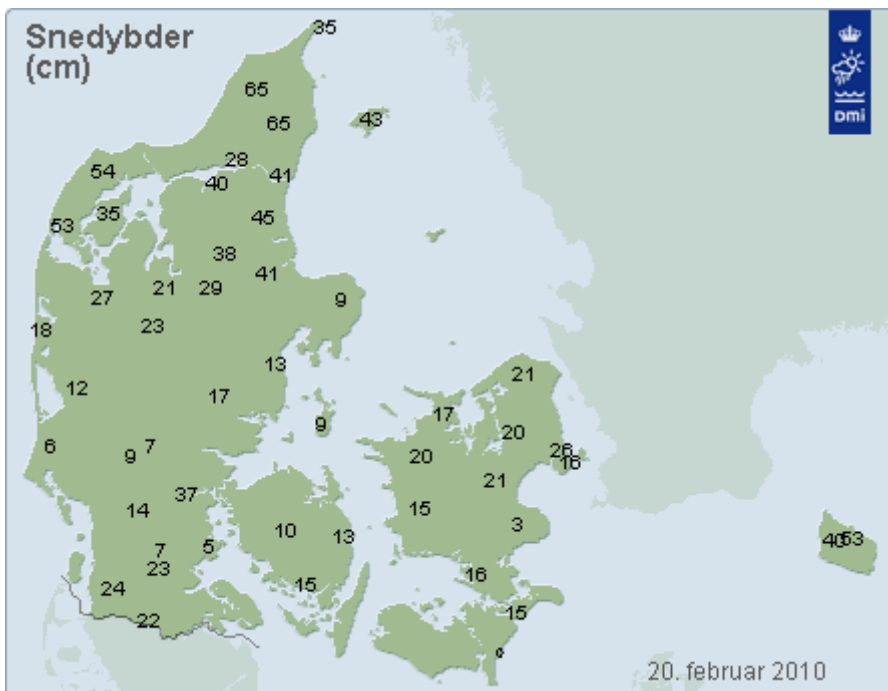
Snedybder den 6. februar 2010.



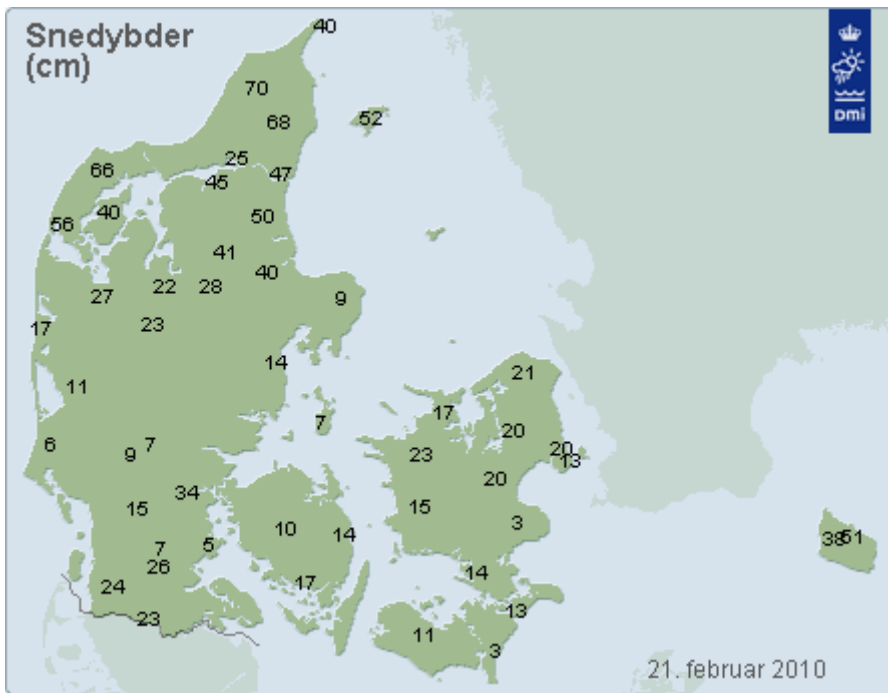
Snedybder den 18. februar 2010.



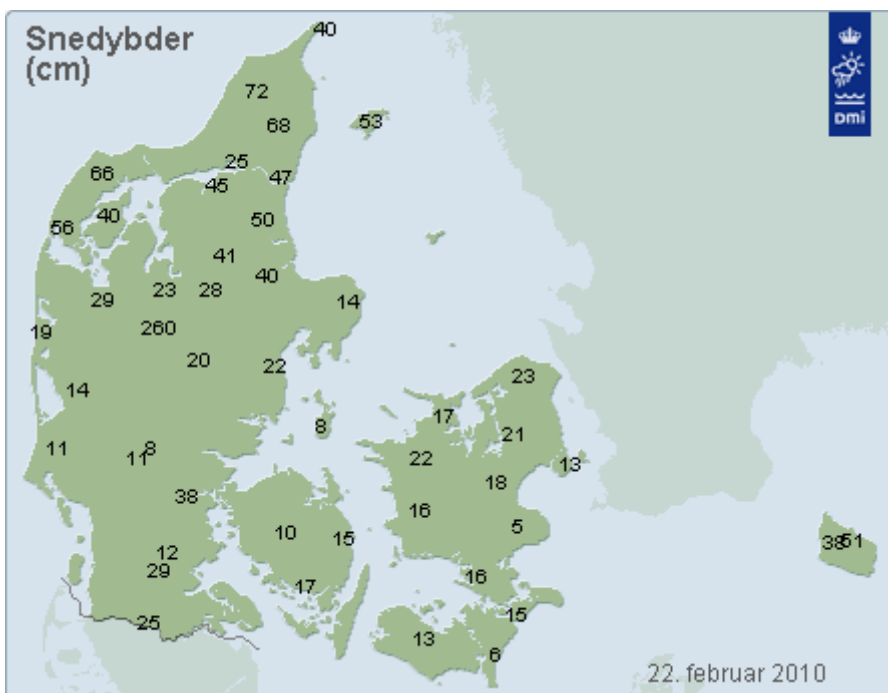
Snedybder den 19. februar 2010.



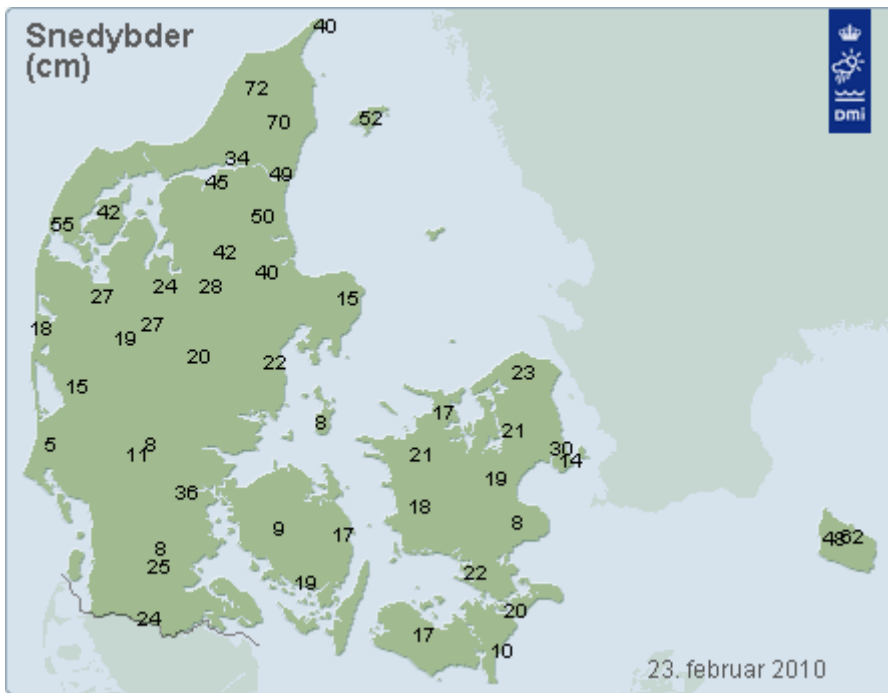
Snedybder den 20. februar 2010.



Snedybder den 21. februar 2010.

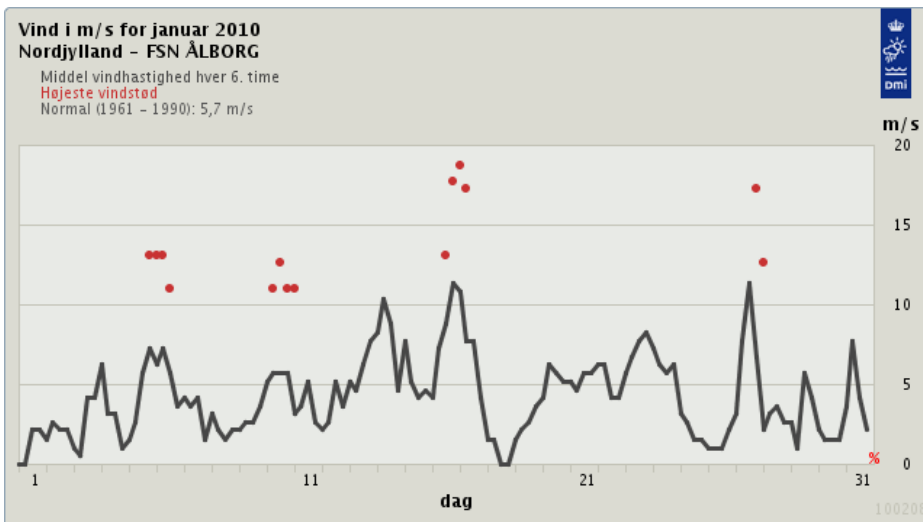
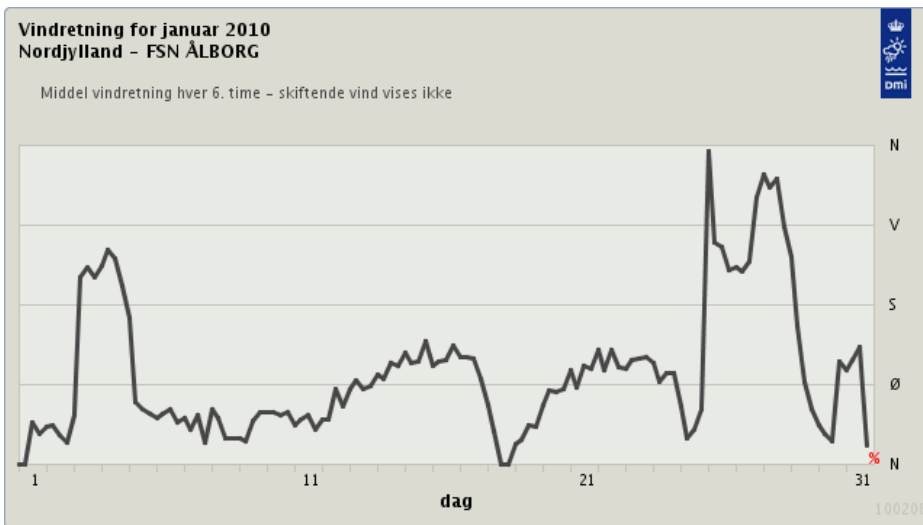
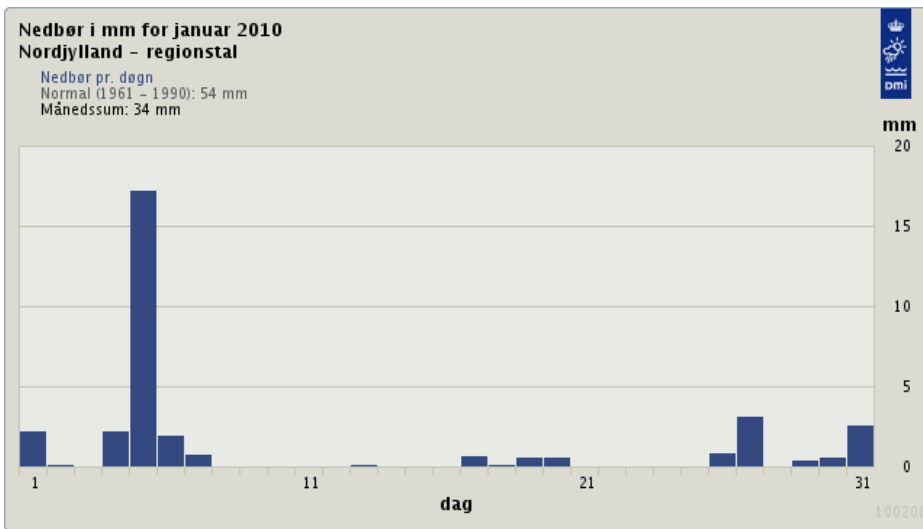


Snedybder den 22. februar 2010.



Snedybder den 23. februar 2010.

Bemærk: der er meget store snedybder på terræn, specielt i dele af Vendsyssel. Med en gennemsnitlig densitet på 2.5 kN/m^3 og en snedybde på 72 cm fås en snelast på terræn på 1.8 kN/m^2 . Denne værdi er dobbelt så stor som den karakteristiske værdi i det danske nationale annek til EN 1991-1-3. Det er ikke undersøgt, om der er specielle terrænforhold ved de 2 målestationer i Vendsyssel.



Snestorme i januar 2010:

05-06 januar 2010

16-17 januar 2010

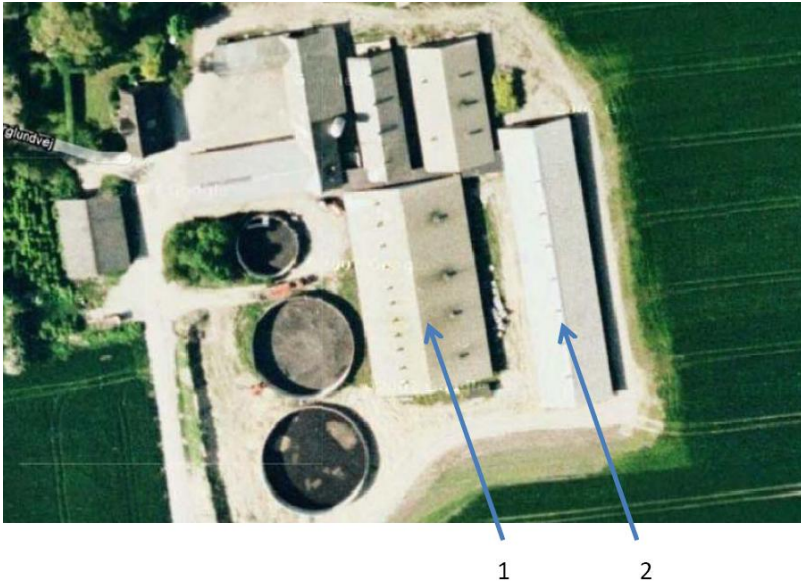
27-28 januar 2010

Sne på tage – observationer

Observationerne beskrevet i det følgende er foretaget i januar og februar 2010.

Skindbjerg 1

Staldbygninger til svin.



Oversigt: Bygning 1: ca. 32m bred. Bygning 2: ca. 24m bred.



Svinestalde set fra syd.



Bygning 1 set fra vest. 7 januar 2010.



Bygning 1 set fra vest (læside) – zoom. 7 januar 2010.

Bemærk: kun sne (driver) nedenfor (i læ for) skorstene.

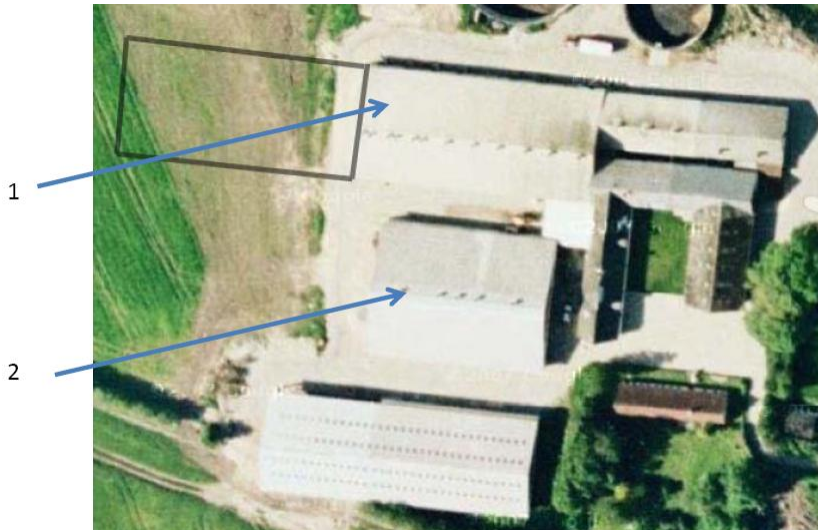


Bygning 2 set fra syd-vest. 7 januar 2010.

Bemærk: indflydelse fra skorstene på snedriver.

Skindbjerg 2

Staldbygninger til svin.



Oversigt: bygning 1: ca. 27m bred (forlænget efter luftfoto er taget) og bygning 2 ca. 32 m bred.

Bemærk: skorstene på bygning 1 er placeret i kip – nogle af dem meget tæt

Bemærk: skorstene på bygning 2 er placeret 2-3 m nord for kip og ingen skorstene syd for kip.

Bemærk: taghældning er på begge bygninger 20°.

På mark er målt ca. 45 cm sne.



Bygning 1 og 2 set fra syd. 7 januar 2010.



Bygning 1 og 2 set fra syd. 7 februar 2010.



Bygning 1 set fra syd. 7 januar 2010.



Bygning 1 set fra syd. 7 februar 2010.



Bygning 1 set fra syd. 7 februar 2010.



Bygning 2 set fra syd. 7 februar 2010.

7 februar 2010: ca. 15-20 cm sne på bygning 1 på nordside

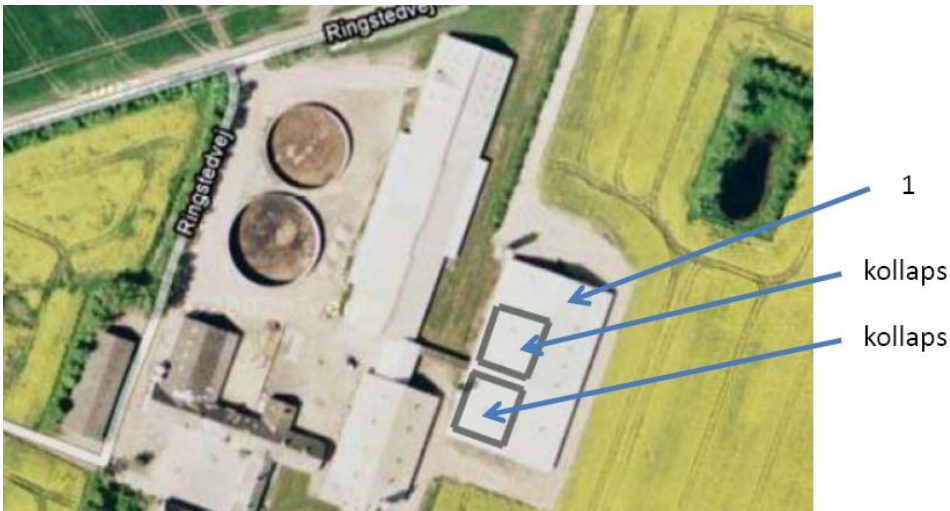
7 februar 2010: ca. 25-35 cm sne på bygning 1 på sydside

7 februar 2010: stort set ingen sne på bygning 2 på syd og nordside

Bemærk: kun meget sne, hvor der er skorstene i læside.

Dronninglund

Staldbygninger til svin.



Oversigt: bygning 1: ca.35m bred.

Bemærk: skorstene på bygning 1 er midt på hver side.

På mark er målt 50-60 cm sne.



Bygning 1 set fra nordvest. 6 februar 2010.



Bygning 1 set fra nordvest. 6 februar 2010.



Bygning 1 set fra nordvest. 6 februar 2010.

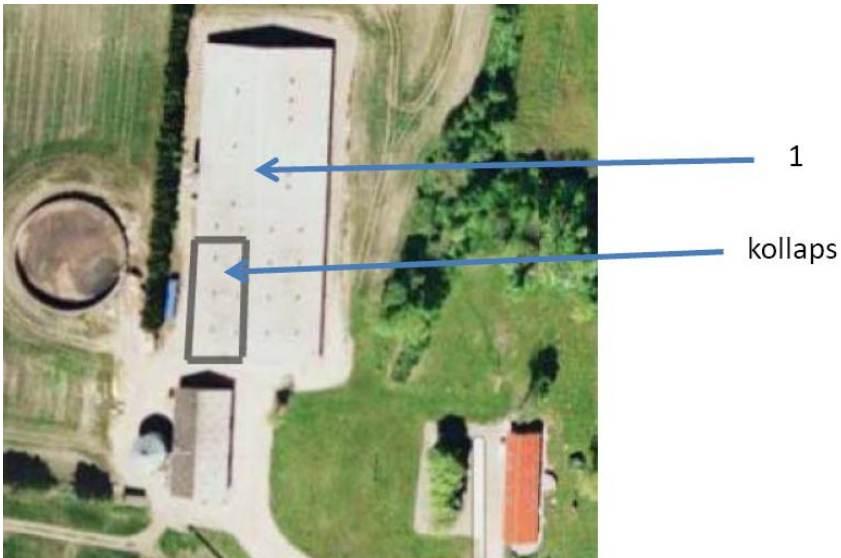
Sne på bygning 1 på vestside måles til ca. 45 cm.



Bygning 1 set fra nordøst. 6 februar 2010.

Sindal

Staldbygning til svin.



Overstigt: bygning 1: ca.37m bred.

Bemærk: skorstene på bygning: 2 rækker på hver side af kip i den sydlige del af stalden. Den sydlige ende er bygget i år 2000 – den nordlige del er nyere.

På mark er målt 40-45 cm sne.



Bygning 1 set fra vest. 9 januar 2010 (foto fra 'Nordjyske?').



Bygning 1 set fra vest. 6 februar 2010.



Bygning 1 set fra vest. 6 februar 2010.



Bygning 1 set fra vest. 6 februar 2010.

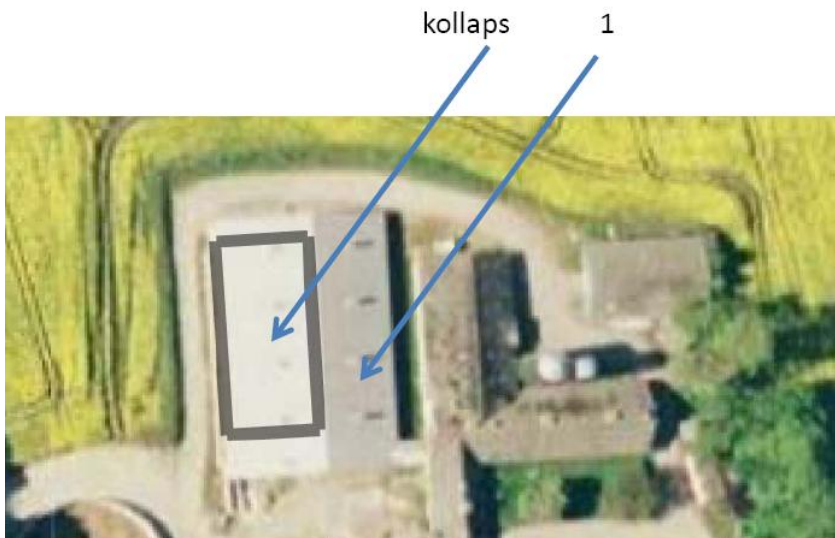


Bygning 1 set fra vest. 6 februar 2010.

Sne på bygning 1 på vestside: 50-60 cm.

Støvring

Staldbygninger til svin.



Oversigt: bygning 1: ca.31m bred.

Bemærk: skorstene på bygning: 1 række midt på tag på hver side af kip.

På mark er målt 40-45 cm sne.



Bygning 1 set fra vest. 6 februar 2010.



Bygning 1 set fra vest. 6 februar 2010.

Sne på bygning 1 på vestsiden: 60-70 cm.

Sæby

Staldbygning til svin.



Oversigt: bygning 1: ca.35m bred.

Bemærk: skorstene på bygning: 1 række på hver side af kip midt på siden.

Bemærk: sidebygning og kollaps ved skotrende.

På mark er målt 30 cm sne.

Ved skotrenden var der før kollaps betydelige snemængder – op til 2m sne (tal er behæftet med nogen usikkerhed).



Bygning 1 set fra syd. 6. februar 2010.

Redsø

Staldbygninger til svin.



Oversigt: bygning 1: ca. 38m bred (er opført efter at luftfoto blev taget).



Bygning 1 set fra nord. 7 februar 2010.

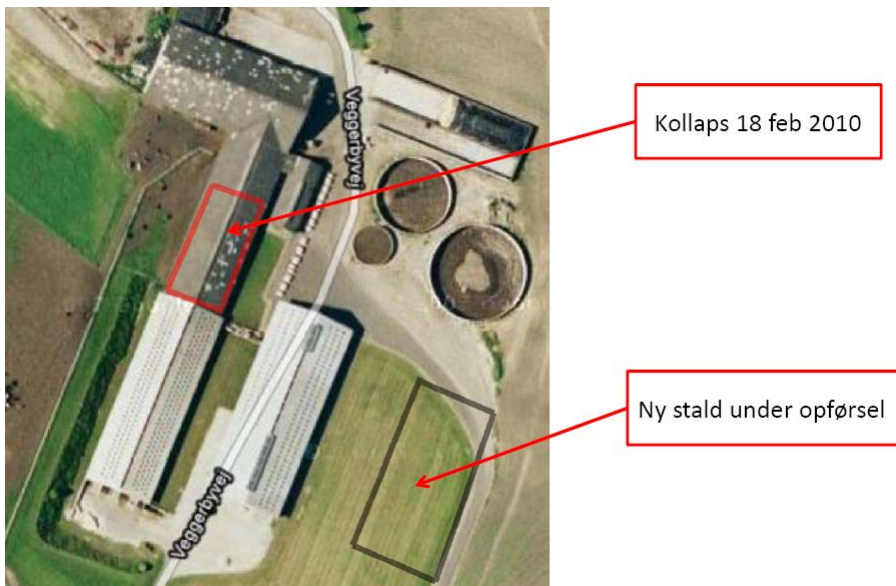
Bemærk: skorstene på bygning: 2 rækker på hver side af kip.
Bemærk: stor taghældning.



Bygning 1 set fra nord. 7 februar 2010.

Suldrup

26 m bred kvægstald kollaps (18 februar 2010 om aftenen)



Alle 3 bygninger er ca. 27-30m brede.

Den ældste del af kvægstalden til venstre (mørkt tag) er fra 1979 og er ca 27 m bred. Taget er isoleret med 2 lag rockwool og plader nedenunder.

Den nye del af kvægstalden til venstre (lyst tag) er fra 2000 og ca 30 m bred. Ingen isolering af taget.

Bemærk: ingen skorstene – kun udluftnings'hætte' ved kip på nogle af bygningerne.



Vestligste bygning set fra sydvest. 6 februar 2010.

Zoom:



Midterste bygning set fra sydvest. 6 februar 2010.



Østligste bygning set fra sydvest. 6 februar 2010.

Bemærk: stort set ingen sne på tagene.



Foto 19 februar 2010

Der var 20cm (højst 30cm) sne på taget, da det kollapsede.

Fotos 20 februar:



Doense

Staldbygninger til malkekvæg.



Oversigt: bygning er ca. 30m brede.

Bemærk: ingen skorstene.



Bygning set fra vest. 7 februar 2010.



Bygning set fra vest. 7 februar 2010.

Bemærk: stort set ingen sne på tagene.

Volsted

37m bred slagtesvinestald – 13 februar 2010.



Bemærk: kun sne på den del af taget, hvor der er skorstene



Arden

Observationer 13. februar 2010.



Det flade tag mellem hallen (til højre) og butikken (til venstre) blev delvist ødelagt af nedskridende sne fra hallen og meget sne pga. den høje bygning.



Referencer

- [1] EN 1991-1-3: Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1-3: General actions – Snow loads. 2003.
- [2] Sanpaolesi, P. et al.: Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works – Snow loads. Report, Commission of the European Communities, December, 1997.