

Sætning i løsfyldsisolering udlagt på lofter – Del A: Feltmålinger

2. udgave

Udført med støtte fra:

**Energistyrelsen
Amaliegade 44
1256 København K**

**Udført af: Anders Elbek, Teknologisk Institut, Byggeri
Lars Olsen, Teknologisk Institut, Byggeri
Dan Brøsted Pedersen, Delta Akustik & Vibration**

**Århus, den 3. maj 2005
Projekt nr.: 1027905**

Resultatet af undersøgelsen må kun gengives i sin helhed. I uddrag kun efter Teknologisk Instituts godkendelse

Byggeri

RESUME

Denne rapport beskriver en feltundersøgelse af sætning i løsfyldsisolering. Undersøgelsen er gennemført med 6 forskellige typer løsfyldsisolering og med loftrum i 6 forskellige bygninger som målelokationer.

Undersøgelsen viser, at store klimatiske svingninger medfører øget sætning i de undersøgte organiske produkter, mens vibrationer i bygningerne ikke ses at have indflydelse på sætningens størrelse.

For de undersøgte uorganiske produkter ses hverken vibrationer eller klimatiske forhold at have indflydelse på sætningens størrelse.

Der er observeret meget store forskelle på, hvor meget klimaet svinger i de undersøgte bygninger. Største klimatiske svingninger er observeret i bygninger med let tagdækning uden undertag.

Undersøgelsen viser, at sætningen i de undersøgte uorganiske produkter udgør nogle få procent, mens der for de undersøgte organiske, cellulosebaserede produkter er observeret store og varierende sætninger.

Undersøgelsen peger derfor på, at der i forbindelse med de organiske løsfyldsprodukter bør tages højde for de store variationer, der optræder såvel mellem de forskellige produkter som mellem klimaet i forskellige loftrum.

0 INDHOLD

RESUME.....	2
0 INDHOLD	3
1 INDLEDNING.....	4
2 FORMÅL.....	6
3 UNDERSØGELSENS METODER.....	7
3.1 Generelt	7
3.2 Målelokationer.....	7
3.3 Isoleringsprodukter.....	11
3.4 Indbygning af målekasser.....	11
3.5 Indblæsning af løsfyld i målekasser.....	13
3.6 Sætningsmålinger.....	16
3.7 Vibrationsmålinger.....	17
3.8 Fugt i materialer.....	19
3.9 Klima i loftrum.....	20
4 UNDERSØGELSERNES GENNEMFØRELSE.....	22
4.1 Installation.....	22
4.2 Sætningsmålinger.....	24
4.3 Vibrationsmålinger.....	25
4.4 Klimamålinger i loftrum.....	26
4.5 Fugtmålinger i materialer.....	26
5 RESULTATER.....	27
5.1 Sætning.....	27
5.2 Vibrationer.....	35
5.3 Klimamålinger i loftrum.....	39
5.4 Fugtindhold i materialer.....	43
6 VURDERING AF RESULTATER.....	46
6.1 Sammenhæng mellem sætning og øvrige undersøgte parametre.....	46
6.2 Sætningens tidslige forløb.....	55
6.3 Relation til praksis.....	57
7 KONKLUSION.....	63

1 INDLEDNING

Nærværende undersøgelse er gennemført af Teknologisk Institut i samarbejde med DELTA Akustik & Vibration med støtte fra Energistyrelsens udviklingsprogram for miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering¹.

Rapporten er udarbejdet af Teknologisk Institut; afsnit vedrørende måling af vibrationer er udarbejdet af DELTA Akustik & Vibration v. Dan Brøsted Pedersen.

Forud for nærværende undersøgelse er gennemført et litteraturstudium ”Sætningsforhold og varmeledningsevne af alternative isoleringsmaterialer – litteraturstudie” (september 1998). Dette litteraturstudium er ligeledes udført af Teknologisk Institut v. civilingeniør Lars Olsen og teknikumingeniør Johnny H. Jensen i samarbejde med DELTA Akustik og Vibration v. Dan Brøsted Pedersen med støtte fra Energistyrelsens udviklingsprogram for miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering.

Der er ikke i forbindelse med nærværende undersøgelse gennemført yderligere litteraturstudier. Med hensyn til litteraturliste henvises således til rapporten vedrørende ovennævnte litteraturstudium.

Senere litteratur, som bl.a. er udarbejdet under Energistyrelsens udviklingsprogram for miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering, er således ikke omfattet af litteraturlisten, men kan f.eks. søges på internetadressen www.alternativisolering.dk.

På baggrund af ovennævnte litteraturstudium opstilledes et 3-trins program for yderligere undersøgelser:

Del A: Feltmålinger

Del B: Laboratiemålinger

Del C: Metodeudvikling.

Nærværende undersøgelse er igangsat som første del af dette program. Efterfølgende er det besluttet ikke at iværksætte Del B og Del C på grund af manglende finansiering.

Til projektet har været tilknyttet en følgegruppe, bestående af:

Borry Henriksen, udpeget af Landsforeningen Økologisk Byggeri, LØB

Helge Høyer, udpeget af Dansk Standards sektorudvalg S-181

Michael Petersen, udpeget af Varmeisoleringsfabrikantforeningen, VIF

Torben Valdbjørn Rasmussen, udpeget af Statens Byggeforskningsinstitut

Carsten Rode, udpeget af Danmarks Tekniske Universitet

Søren Svare, udpeget af Varmeisoleringkontrollen, VIK

Følgegruppen har bistået med forslag til forbedringer af undersøgelsen og i øvrigt virket som konstruktive dialogpartnere i undersøgelsens forløb.

Undersøgelsen er gennemført i bygninger i Århus-området tilhørende nedenstående bygningsejere, der alle vederlagsfrit har stillet bygninger til rådighed for undersøgelsen:

Brabrand Boligforening,

Højbjerg Andelsboligforening,

Viby Andelsboligforening.

¹ Jf. Energistyrelsens journal nr. 75664/99-0006.

Undersøgelsen er gennemført med 6 produkter, der repræsenterer hver sin art af løsfyldsisolering. Produkterne er vederlagsfrit stillet til rådighed af følgende virksomheder:

Borry Henriksen ApS
Miljø Isolering ApS
Nordisk Perlite ApS
Rockwool A/S
Saint-Gobain Isover A/S
Thermocell Denmark A/S

Både følgegruppe, bygningsejere og leverandører af bygninger skal have tak for deres bidrag til undersøgelsens gennemførelse.

I nærværende 2.udgave (april 2005) af rapporten er kapitel 6 og 7 omarbejdet med henblik på at tydeliggøre undersøgelsens vurderinger og konklusioner. Endvidere er der foretaget mindre rettelser i rapportens øvrige kapitler.

2 FORMÅL

Som anført i indledningen er nærværende undersøgelse iværksat som første del af et samlet program med følgende formulerede formål:

Med baggrund i erfaringerne fra projektet "Sætningsforhold og varmeledningsevne af alternative isoleringsmaterialer – litteraturstudie" er det projektets formål at udvikle en reproducerbar, accelereret prøvningsmetode til bestemmelse af realistiske, sikre overtykkelser for løsfyldsisolering.

Der er ikke i forbindelse med opstilling af undersøgelsesprogrammet formuleret separate formål for de enkelte dele, men for nærværende del (Del A) af det samlede program kan formålet udtrykkes således:

På baggrund af sætningsmålinger på seks forskellige produkter repræsenterende forskellige arter af løsfyldsisolering, samt målinger af vibrationsforhold, fugtforhold i materialer samt klimaforhold er det projektets formål at undersøge korrelationer mellem sætning og øvrige undersøgte parametre, samt at foretage fremskrivninger med henblik på fastlæggelse af sikre overtykkelser.

3 UNDERSØGELSENS METODER

3.1 GENERELT

Undersøgellesprogrammet blev tilrettelagt med henblik på at afspejle realistiske forhold ved praktisk indbygning af løsfyldsisolering samt anvendelse af løsfyldsisolering ”i drift” i færdigt byggeri.

I forbindelse med planlægning og gennemførelse af undersøgelsen viste det sig af praktiske hensyn nødvendigt at fravige almindelig praksis på flere punkter.

Undersøgelsen er gennemført som en feltundersøgelse af løsfyldsisolering med loftrum som målelokationer.

Målingerne er udført på 6 forskellige lokationer i Århus-området.

Undersøgelsen har omfattet 6 forskellige produkter repræsenterende 6 forskellige materialearter. På hver lokation er indbygget 4 målekasser med hvert produkt. Af disse 4 kasser er 1 kasse ophængt vibrationsisoleret med henblik på undersøgelse af vibrationernes betydning for sætningen.

Således er der indbygget 24 målekasser på hver lokation, hvoraf 6 kasser er ophængt vibrationsisoleret.

Undersøgelsen har i alt omfattet 144 kasser; heraf 24 vibrationsisolerede kasser.

På alle målelokationer er foretaget vibrationsmålinger med henblik på bestemmelse af vibrationsniveauet på hver enkelt lokation.

På alle målelokationer er udført løbende logning af temperatur og luftfugtighed.

Sætningsmålinger er udført ved installation samt efter 1, 2, 4, 8, 16 og 32 måneder.

I forbindelse med sætningsmålingerne er der samtidigt bestemt fugtindhold i hvert af de undersøgte produkter.

3.2 MÅLELOKATIONER

Udvælgelse af målelokationer er primært foretaget efter følgende kriterier:

1. Vibrationsniveau

Det er tilstræbt at få bygninger med forskellige vibrationsniveauer repræsenteret i undersøgelsen. I forbindelse med udvælgelsen er vibrationsniveauerne bedømt ud fra bygningernes beliggenhed i forhold til vej- og jernbanetrafik, bygningskonstruktionernes art (tung/let), bygningernes højde, samt indflydelse af eventuelt mekanisk ventilationsanlæg.

2. Adgangsforhold

Af hensyn til installationens gennemførelse samt let adgang til aflæsning i projektperioden er der lagt vægt på direkte adgang til loftrum uden passage gennem bolig. Endvidere er det en forudsætning, at målekasserne, som måler 0,6 x 0,6 x 0,3 m, skulle kunne passere gennem eventuel loftslem eller anden adgangsvej.

3. Pladsforhold

Da der i hvert loftrum skulle være plads til indbygning af 24 målekasser, stilles der visse krav til loftrummenes størrelse, ikke mindst i forbindelse med indbygning og installation.

4. Uforstyrrethed

Af hensyn til, at måleresultaterne ikke skulle påvirkes i projektperioden, er der lagt vægt på, at det kunne forventes, at der ikke ville forekomme væsentlig persontrafik i loftrummenes.

5. Geografisk placering

Af hensyn til begrænsning af transportomkostningerne er der lagt vægt på, at den geografiske afstand fra Teknologisk Institut i Århus ikke skulle overstige 10 km.

6. Begrænsning af ejerkræds

Af hensyn til forenkling af projektets gennemførelse er der lagt vægt på at begrænse antallet af bygningsejere involveret i projektet.

Adgang til målelokationer er skaffet ved henvendelse til boligforeninger i Århus-området. Herved opnåedes tilsagn om at kunne anvende loftrumene i et større antal bygninger.

Af dette større antal er de 6 følgende lokationer udvalgt:

Karensvej 7, 8220 Brabrand. 3-etages boligblok af beton, opført ca. 1960. Oprindeligt udført med fladt tag. Siden er tagkonstruktion af gitterspær og tagdækning af profilerede, coatede stålplader påbygget. Rolig beliggenhed på stillevej med trafikchikaner. Ingen nærliggende jernbaner. Bygningens hovedretning er nord-syd.



Foto 3.2.1. Karensvej nr.7

Højbjergparken 1, 8270 Højbjerg. 3-etages muret boligblok, opført 1943. I forbindelse med senere renovering (1999) er tag udskiftet og nyt tag med vingetegl og undertag af tung banevare pålagt den oprindelige spærkonstruktion. Beliggenhed direkte ud til stærkt trafikeret vej (Oddervej) med megen tung trafik. I loftrummet er monteret anlæg til mekanisk ventilation. Bygningens hovedretning er nord-syd.



Foto 3.2.2. Højbjergparken 1

Højbjergparken 6, 8270 Højbjerg. 3-etages muret boligblok, opført ca. 1943. I forbindelse med senere renovering (1999) er tag udskiftet og nyt tag med vingetegl og undertag af tung banevare pålagt den oprindelige spærkonstruktion. Beliggenhed ca. 100 m fra stærkt trafikeret vej (Oddervej). I loftrum er monteret anlæg til mekanisk ventilation. Bygningens hovedretning er nord-syd.

Rundhøjparken 14, 8270 Højbjerg. 3-etages boligblok af betonelementer med skalmur, opført ca. 1963. Oprindeligt tag med understrøget vingetegl, ingen undertag. Beliggende på rolig vej, der hovedsageligt befærdes af personbiler. Bygningen er en vinkelbygning, hvor der er tagflader mod alle 4 verdenshjørner.



Foto 3.2.3. Rundhøjparken 14

Bøgeskovparken 131, 8260 Viby J. Tæt-lav bebyggelse med lette bagvægge med skalmur, opført 1997. Hanebåndsspærfag med tagdækning af sort bølgeeternit uden undertag. Meget rolig beliggenhed i lukket område. Afstand til jernbane ca. 500 m. I loftrum er monteret anlæg til mekanisk ventilation. Bygningens hovedretning er omtrent øst-vest.



Foto 3.2.4. Bøgeskovparken 131

Bøgeskovparken 149, 8260 Viby J. Tæt-lav bebyggelse med lette bagvægge med skalmur, opført 1997. Hanebåndsspærfag med tagdækning af sort bølgeeternit uden undertag. Meget rolig beliggenhed i lukket område. Afstand til jernbane ca. 500 m. I loftrum er monteret anlæg til mekanisk ventilation. Bygningens hovedretning er omtrent. nord-syd. Der er adgang til loftrum gennem lem i gavlen.

3.3 ISOLERINGSPRODUKTER

6 produkter er udvalgt til at repræsentere hver sin art af løsfyldsisolering.

Glasuld:

- *ISOVER 45 LOFTGRANULAT* leveret af *Saint-Gobain Isover A/S*

Stenuld:

- *ROCKWOOL LOFTGRANULAT* leveret af *Rockwool A/S*

Cellulosefibre (fremstillet ved hammermøllemetode):

- *PAPIRULD* leveret af *Miljø Isolering ApS*

Cellulosefibre (fremstillet ved defibrering):

- *EKOFIBER* leveret af *Borry Henriksen ApS*

Træfibre (virgine cellulosefibre):

- *THERMOCELL* leveret af *Thermocell AB*

Ekspanderet perlite:

- *PERLITE 0560 SC* leveret af *Nordisk Perlite ApS*.

Leverandørerne har oplyst følgende densiteter for produkterne:

- *ISOVER 45 LOFTGRANULAT*: Minimumsdensitet: 23 kg/m³

- *ROCKWOOL LOFTGRANULAT*: Minimumsdensitet: 30 kg/m³

- *PAPIRULD*: Oplyst densitet: 28 kg/m³

- *EKOFIBER*: Oplyst densitet: 32 kg/m³

- *THERMOCELL*: Minimumsdensitet: 19 kg/m³

- *PERLITE 0560 SC*: Oplyst densitet: 85 kg/m³ +/- 20 kg/m³.

3.4 INDBYGNING AF MÅLEKASSER

Isoleringsmaterialerne er installeret i specialfremstillede målekasser fremstillet af 15 mm støbekrydsfiner i dimensionerne 600 x 600 x 300 mm.

Kasserne er monteret i grupper med 3 kasser, der er monteret ovenpå planker af 50 x 100 mm halvtømmer. Plankerne er monteret på spærkonstruktionen. Hvor der fandtes gulv i loftrummene, er plankerne skruet fast i gulvet.

En del af kasserne er ophængt vibrationsisoleret, jf. afsnit. 3.4.1.

På foto nr. 3.4.1 er vist en gruppe af målekasser (Højbjergparken 1).

Kasserne er alle opstillet på den "kolde side" af varmeisoleringen i loftet, og er opstillet med indbyrdes afstand på ca. 10 cm, således at der er mulighed for fri luftbevægelse på alle sider af kasserne.

Opstilling af kasserne på den ”kolde side” af varmeisoleringen er begrundet i hensyn til at begrænse indgreb i de bygninger, der var stillet til rådighed for undersøgelsen.

Valget af støbekrydsfiner som materiale til målekasserne er begrundet i støbekrydsfiners fugtbestandighed og glatte overflade. På grund af den glatte overflade er der ringe friktion mellem isoleringsprodukt og sider i kasserne. Endvidere er der lagt vægt på materialets stivhed og tyngde, som mindsker risikoen for, at luftlyd sætter kassernes sider i svingninger.



Foto 3.4.1. Gruppe af målekasser opstillet i Højbjergparken 1. Kasserne er fastgjort til langsgående planker, der er fastgjort til gulv i loftrum. Kasserne er fremstillet af 15 mm støbekrydsfiner.

3.4.1 Vibrationsisolering

Vibrationsisolering af målekasser er udført ved, at kasserne er monteret på stive rammer af halvtømmer, som er ophængt med en stålfjeder i hvert hjørne. Disse fjedre er fastgjort til 2 lodretstående rammer, ligeledes af halvtømmer, der er fastgjort til spærkonstruktion eller gulv i loftrum. Til afstivning af konstruktionen er på begge sider monteret en langsgående planke.

For at dæmpe svingninger er monteret et *diepolastbånd* ved hver fjeder.

På foto nr. 3.4.2 er vist eksempel på vibrationsdæmpede kasser.



Foto 3.4.2. Karensvej 7, kasse nr. 10, 11 og 12. Vibrationsisolerede kasser. Kasserne står på en ramme af halvtømmer, der er ophængt i fjedre. Ved hver fjeder er monteret et diepolastbånd som svingningsdæmper.

3.5 INDBLÆSNING AF LØSFYLD I MÅLEKASSER

Normalt udføres indblæsning i praksis ved, at indblæsningsentreprenøren medbringer et blæseaggregat påbygget en bil eller anhænger, hvorfra materialet blæses gennem en kraftig slange til installationsstedet.

I nærværende projekt var denne metode ikke mulig af flere årsager. Dels på grund af de begrænsede mængder, og dels fordi den luftstrøm, der bærer materialet frem gennem slangen, også kunne forudses at ville bære en stor del af materialet op fra målekasserne igen, således at loftrummene ville blive tilsmudset i uacceptabel grad og med risiko for, at de forskellige materialer ville blive sammenblandet. Endvidere ville det være til stor ulempe for bygningsejere og beboere, såfremt der på hver målelokation skulle komme 6 forskellige hold indblæsningsentreprenører til stede.

Det besluttedes derfor, at personale ansat ved Teknologisk Institut skulle gennemføre installationerne efter følgende fremgangsmåde:

Løsfyldsmaterialerne er modtaget på Teknologisk Institut, Byggekomponenter i sædvanlig transportpakning (komprimeret form) fra leverandørerne.

På Teknologisk Institut er materialerne oprevet og udblæst ved hjælp af en indblæsningsmaskine (venligst udlånt af A. Nørgård Ingeniør og Tømrerfirma ApS, Skanderborg). Materiale er udblæst i stor lukket fodersæk, ca. 3m³.



Foto 3.5.1. Udblæsning af løsfyldsisolering. Materialet blæses ind i 3m³ fodersæk. Indblæsningsmaskinen er lånt til formålet.

Det oprevne løsfyldsmateriale er herefter pakket i poser med henblik på transport til installationssteder (loftrum).

Umiddelbart inden indblæsning af løsfyldsmaterialet er målekasserne vejjet i tom tilstand med henblik på senere bestemmelse af densitet af løsfyldsmaterialet.

På centrale pladser i loftrumene, hvor der kunne findes tilstrækkelig hovedhøjde og arbejdsrum, er løsfyldsmaterialerne indblæst i målekasserne ved hjælp af et specialkonstrueret apparat.

Apparatet består af en ombygget spånsuger til bortsugning af savsmuld og høvlspåner fra træbearbejdningsmaskiner. Spånsugeren er monteret ovenpå en pyramidestub af transparente akrylplader med grundflade af samme størrelse som målekasserne. Indvendigt i pyramidestubben er monteret en ventilatormotor påmonteret et stykke fladstål, der roterer i vandret plan.

Apparatets virkemåde er, at løsfyldsmaterialet bæres af en luftstrøm, der suges ind gennem apparatets sugeslange og blæses op i en stofpose over pyramidestubben. Stofposen virker som et filter, der tillader luften at slippe igennem, mens løsfyldsmaterialet falder ned i pyramidestubben, hvor det vandret roterende fladstål sikrer en jævn fordeling af materialet.



Foto nr. 3.5.2. Apparat til indblæsning af løsfyldsisolering i målekasse

Efter indblæsning af løsfyldsmateriale i en kasse er kassen vejet inklusive løsfyld. Volumen af løsfyld er bestemt, jf. pkt. 3.6, og densitet af løsfyldsmaterialet bestemt herefter.

I tilfælde, hvor densitet viste sig at afvige fra deklareret densitet – altså ligge udenfor densitetsgrænser for pågældende produkt oplyst af leverandør – er installation i pågældende kasse kasseret, og der er derefter foretaget ny installation. For *Papiruld* og *Ekofiber*, hvor der ikke er specificeret egentlige densitetsgrænser, men blot en enkelt værdi for densitet, er grænser fastlagt som den oplyste værdi $\pm 2 \text{ kg/m}^3$.

Efter kontrol af densitet er kassen båret til sin plads i loftrummet og fastgjort til tømmerkonstruktionen. Transport internt i loftrummet samt fastgørelse på tømmerkonstruktionen er sket under stor forsigtighed, således at rystelser, der ville kunne forårsage sætning, er begrænset mest muligt.

Ovennævnte fremgangsmåde er valgt ud fra at sikre, at løsfyldsmaterialet bæres af luftstrøm ved installationen, og at der ikke sker nogen efterfølgende pakning eller håndtering, der ville kunne påvirke densitet og struktur.

Ovennævnte metode er ikke anvendt ved installation af *Perlite*, da *Perlite* normalt ikke indblæses. Til installation af *Perlite* er følgende fremgangsmåde anvendt:

Efter modtagelse på Teknologisk Institut, hvortil levering er sket i sække indeholdende 200 liter, er *Perlite* ompakket i mindre plastsække, i hvilke transport til installationsstedet er sket.

Perlite er hældt direkte fra plastsækkene i målekasserne, hvorefter densiteten er bestemt som anført ovenfor.

Da der ikke ved installation af *Perlite* er mulighed for at styre densiteten, er der ikke foretaget korrektion i de tilfælde, hvor densiteten har vist sig at være udenfor det af leverandøren opgivne interval.

3.6 SÆTNINGSMÅLINGER

I hver målekasse er monteret en lodret stålpind Ø4 mm i midten af hver kasse.

Den frie længde af hver pind regnet fra overside af kassens bund er målt i forbindelse med montage.

Til definition af overfladen i materialerne, der ved udlægning opnår en ujævn, ikke klart defineret overflade, er pålagt en almindelig cd-skive.

Anvendelse af cd-skiver til dette formål er valgt dels ud fra deres prisbillighed og deres fugtbestandighed, dels ud fra et ønske om at måle tykkelsen under en vis forbelastning. DS 418 foreskriver, at tykkelse af løsfyldsisolering skal måles under en kortvarig forbelastning på 20 +/- 1,5 Pa. En cd-skive vejer ca. 16 gram, har en diameter på ca. 120 mm, og resulterer således i en permanent spænding på ca. 14 Pa, hvilket vurderedes at være tilfredsstillende til formålet.

Højden af isoleringen er bestemt ved, at afstanden fra øverste ende af stålpinden ned til overside af cd-skiven er målt ved hjælp af almindeligt målebånd, jf. foto nr. 3.6.1. Usikkerheden ved denne målemetode vurderes at være +/- 2 mm svarende til 0,7% ved 300 mm højde i isoleringen. For Perlite vurderes usikkerheden dog kun at være +/- 1 mm.



Foto nr. 3.6.1. Sætningsmåling i kasse nr. 1, Ekofiber. Kassen er installeret på Karensvej 7 uden vibrationsdæmpning.

I forbindelse med sætningsmålinger er udvist forsigtighed, således at cd-skive ikke er belastet af målepinden i forbindelse med målinger.

Sætningen på et givet måletidspunkt er bestemt som den relative forskel mellem den oprindelige højde ved afslutning af installationen (H_0) og den aktuelle resthøjde på tidspunktet for målingen.

Måling af afstand fra øvre ende af stålpind ned til cd-skive er i det følgende benævnt som ”sætningsmåling”.

3.7 VIBRATIONSMÅLINGER



Foto 3.7.1. Vibrationsmåling i Bøgeskovparken 131

3.7.1 Indledende målinger

Indledende blev der udført en række målinger på én lokation, Højbjergparken 1, for at fastlægge variationer i vibrationerne hen over dagen samt fra dag til dag. Resultatet af disse undersøgelser var, at der kunne konstateres variationer på op til 6 dB mellem eftermiddag og aften, med de laveste vibrationsniveauer i aftenperioden. Der kunne ikke konstateres væsentlige variationer mellem de enkelte måledage.

Med et frekvensområde på f.eks. 1-80 Hz eller 1-100 Hz fås resultater, som er repræsentative for de vibrationer, som eventuelt har betydning for sætningen. Dette underbygges bl.a. af, at forskellen var mindre end 0,2 dB mellem de ækvivalente accelerationsniveauer for frekvensområderne henholdsvis 1-80 Hz og 0,4-100 Hz (indledende målinger i Højbjergparken 1).

3.7.2 Kontrol af vibrationsisolering

For en af de elastisk ophængte kasser i Højbjergparken 1 blev vibrationsisoleringen kontrolleret ved at måle indsætningsdæmpningen $\Delta L_a = L_{a,1} - L_{a,2}$ (se foto 3.7.2).

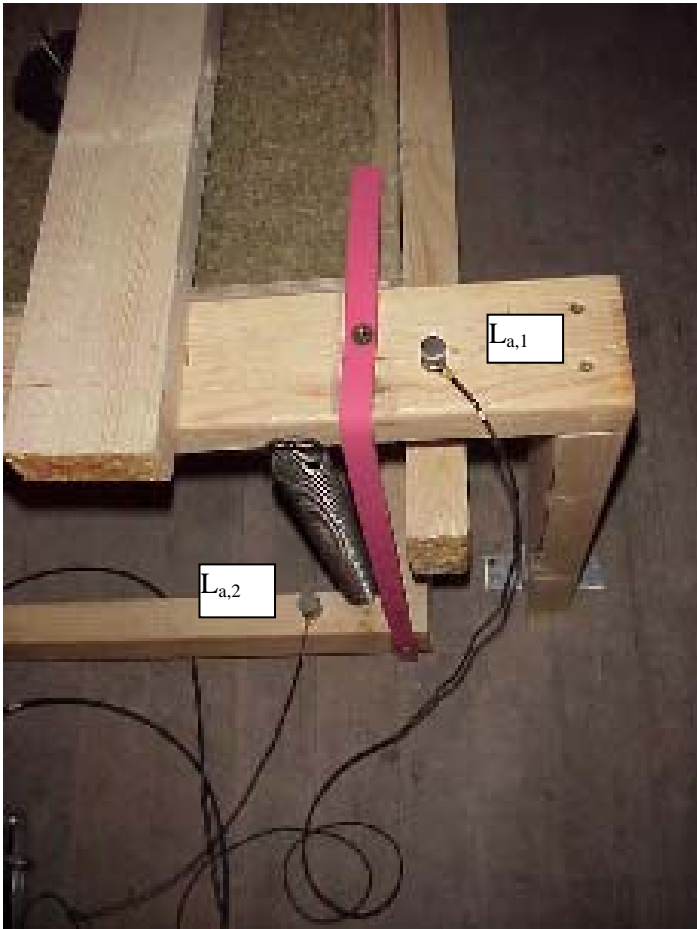


Foto 3.7.2 Måling af indsætningsdæmpning

Den væsentligste vibrationskilde var vejtrafik. En frekvensanalyse af accelerationen viste, at indsætningsdæmpningen var 10-18 dB for oktavbåndene med centerfrekvens fra 1-63 Hz, svarende til frekvensområdet 0,7-89 Hz. Vibrationsisoleringen var således effektiv i det frekvensområde, som kan antages at være relevant for sætningen.

For oktavbåndene med centerfrekvens fra 125-1000 Hz var indsætningsdæmpningen mellem -3 dB og -7 dB. Den negative indsætningsdæmpning betyder et højere niveau på den vibrationsisolerede del ved høje frekvenser og kan skyldes luftlydexcitation af broen, idet der var et betydeligt trafikstøjniveau i tagrummet.

3.7.3 Metode

På baggrund af de indledende målinger blev det besluttet at gennemføre resten af målingerne på følgende måde:

- Måleperioderne var henholdsvis kl. 14-16 og kl. 19-21.
- Målinger henholdsvis eftermiddag og aften blev udført på forskellige datoer.
- Ved hver måling blev signalet fra tre accelerometre optaget på bånd; accelerometrene var monteret på et af de øverste hjørner på en af de uisolerede kasser som vist på foto 3.7.3.
- Vibrationsniveauerne blev bestemt som de ækvivalente accelerationsniveauer og som de typiske maksimalniveauer (tidskonstant "Fast") i frekvensintervallet fra 1-95 Hz (i Højbjergparken 1 dog fra 1-80 Hz).

Målingerne blev gennemført med følgende udstyr:

Accelerometre: B&K 4381 eller 4383

Ladningsforstærkere: B&K 2635

Kalibrator: B&K 4294

Båndoptager: TEAC RD-110T

Analysator: B&K 2144 eller Viblab ver. 1.1 (DELTA) eller Harmonie ver. 4.205 (01dB-Stell)



Foto 3.7.3. Vibrationsmåling på kasse nr. 100, Bøgeskovparken 131, ikke-vibrationsisoleret kasse med Ekofiber.

3.8 FUGT I MATERIALER

På hver målelokation placeredes ved installationen et antal bægre med prøver af hvert produkt.

Bægrene var almindelige plastbægre af en type, der normalt anvendes til udskænkning af fadøl. Bægrenes rumindhold var ca. 0,5 l, og der var i hvert bæger placeret 15 – 55 g isoleringsmateriale (afhængigt af densitet) i tilstræbt normal lejring.

Bægrene placeredes i bakker af ekspanderet polystyren, der normalt anvendes til transport af potteplanter. I disse bakker har bægrene været fastholdt uden risiko for væltning eller lignende.

Bakkerne har været placeret i loftrumene i samme højdeniveau som målekasserne, således at den klimamæssige eksponering, som bægrene udsattes for, kunne antages at svare til den, målekasserne udsattes for.

I alt er der placeret 7 bægre af hvert materiale på hver målelokation. På den først installerede målelokation, Karensvej 7, placeredes dog kun 6 bægre, da det først efter udførelsen af denne installation besluttedes at øge antallet til 7, således at fugtindholdet ved afslutning af installationen også kunne bestemmes.



Foto. 3.8.1. Karensvej 7. Bægre med løsfyldsmateriale til bestemmelse af fugtindhold i forbindelse med sætningsmålinger.

I forbindelse med hver sætningsmåling er et bæger af hvert produkt hjemtaget med henblik på bestemmelse af fugtindhold. Ved hjemtagning er hvert bæger placeret i lukket plastpose, således at fugten i materialet ikke har kunnet ændres under transport til laboratoriet.

Fugtindhold er bestemt i laboratoriet ved veje-tørre metoden og angivet som vægtprocent af tørstoffet.

Udtørring er foretaget ved 105 °C, hvor forsøg har vist, at stabilitet opnås indenfor 24 timer.

3.9 KLIMA I LOFTRUM

På hver målelokation ophængtes en minidatalogger af type *TinyTag Ultra 1500* til løbende registrering af temperatur og luftfugtighed i loftrumene. Nøjagtigheden ved bestemmelse af relativ luftfugtighed oplyses af leverandøren at være bedre end 3%, hvilket vurderedes at være tilfredsstillende.

I forbindelse med sætningsmålinger blev dataloggerne aflæst elektronisk og resultaterne arkiveret i en elektronisk database med angivelse af målelokation, internt identifikationsnummer for den anvendte minidatalogger, samt samhørende værdier for tid, temperatur og relativ luftfugtighed.

Dataloggerne ophængtes ca. midt i loftrumene i ca. 1,5-2 m højde over gangbro. Ophængningshøjden er vurderet ikke at være kritisk med hensyn til, hvilke måleresultater der opnås. Der er derfor primært lagt vægt på tilgængelighed.



Foto 3.9.1. Højbjergparken 1. Minidatalogger under montage i loftrum.

4 UNDERSØGELSERNES GENNEMFØRELSE

4.1 INSTALLATION

Installationerne er gennemført i perioden fra september 2000 til april 2001.

Ressourcemæssige forhold hindrede, at alle installationer kunne udføres i en kontinuert proces. De tre første installationer er således udført i september – oktober 2000 og de tre sidste i marts – april 2001.

I forbindelse med installation i de første målekasser, viste det sig i visse tilfælde vanskeligt at opnå de foreskrevne densiteter for Rockwool og Isover, hvor densiteterne viste tilbøjelighed til at blive væsentligt højere end de oplyste minimumsdensiteter. Derfor måtte installationerne i en del kasser gøres om, indtil acceptable densiteter var opnået.

Det viste sig, at den installerede densitet blandt andet afhang af, med hvilken hastighed materialet indførtes i installationsapparatet, samt hvor meget materialet var løsnet på forhånd.

Installationerne er gennemført med densiteter og højder (isoleringstykkelser) angivet i tabel 4.1.1.

Produkt	Interval for installeret densitet kg/m ³	Middeldensitet kg/m ³	Interval for højde efter installation, H ₀ mm	Middelværdi for højde efter installation, H ₀ mm
Ekofiber	30 – 34	32,0	275 - 310	295
Papiruld	26 - 30	28,3	272 - 311	296
Thermocell	19 – 22	19,7	228 - 309	290
Perlite	101 – 120	109,3	247 - 297	276
Rockwool	38 – 45	41,2	223 - 302	259
Isover	28 - 32	30,5	257 - 313	285

Tabel 4.1.1. Installerede densiteter og højder

For Perlite ligger hovedparten af de installerede kasser over den øvre densitetsgrænse oplyst af leverandøren, $85 + 20 \text{ kg/m}^3 = 105 \text{ kg/m}^3$. Da der ikke i installationsmetoden for Perlite er mulighed for justering af densiteten, er kasserne med Perlite indbygget med de anførte densiteter.

For Perlites vedkommende må den forhøjede densitet tages i betragtning ved vurdering af resultaterne.

De enkelte installationer er udført i tidsrum anført i tabel 4.1.2.

Målelokation	Installationsperiode
Karensvej 7	21. – 27. september 2000
Højbjergparken 1	25. - 26. oktober 2000
Højbjergparken 6	19. - 20. oktober 2000
Rundhøjparken	28. - 30. marts 2001
Bøgeskovparken 131	04. - 18. april 2001
Bøgeskovparken 149	23. - 24. april 2001

Tabel 4.1.2. Installationsperioder for de enkelte målelokationer

Efterhånden udvikledes ”håndelaget” og dermed evnen til med et mindre antal forsøg at opnå et tilfredsstillende resultat. Dette afspejles også i, at den første installation – Karensvej 7 – strakte sig over 4 arbejdsdage (samt en weekend, hvor der ikke arbejdedes), mens de efterfølgende installationer er gennemført på 2 arbejdsdage.

Ved installation i Bøgeskovparken 131 måtte arbejdet afbrydes i 2 uger på grund af sygdom. Denne installation er således udført på 2 dage med 2 ugers indbyrdes mellemrum. På første dag er udført installation af stenuld, glasuld samt *Thermocell*. 2 uger senere er udført installation af *Papiruld*, *Ekofiber* og *Perlite*.

Der er således visse variationer i, hvor længe materialerne har været installeret i kasserne på det tidspunkt, hvor referencehøjden (H_0 , jf. tabel 4.2.1) er aflæst.

4.2 SÆTNINGSMÅLINGER

Målinger er sket på tidspunkter anført i tabel 4.2.1, hvor det ligeledes er angivet med hvilke indekser tidsangivelser og sætningsparametre er benævnt:

Tidspunkt	Tidsangivelse	Sætningsparametre
Efter indblæsning / installation i de enkelte målekasser	T_{inst}	H_{inst}, S_{inst}
Efter afslutning af installation på den enkelte lokation	T_0	H_0, S_0
Ca. 1 måned efter installation	T_1	H_1, S_1
Ca. 2 måneder efter installation	T_2	H_2, S_2
Ca. 4 måneder efter installation	T_3	H_3, S_3
Ca. 8 måneder efter installation	T_4	H_4, S_4
Ca. 16 måneder efter installation	T_5	H_5, S_5
Ca. 32 måneder efter installation	T_6	H_6, S_6

Tabel 4.2.1 Tidspunkter for måling af sætning, samt angivelser af tid, T , højde H og sætning, S .

Alle kasser er forblevet intakte og aflæst til og med aflæsning efter 8 måneder.

I forbindelse med 16-måneders aflæsningen viste 4 kasser sig at være forstyrret af nedfaldende genstande. Ved 32 måneders aflæsningen viste cd-skiven på yderligere 1 kasse at være forsvundet. For ovennævnte kassers vedkommende er der derfor kun registeret resultater frem til henholdsvis 8 og 16 måneder efter installation.

For alle øvrige 139 kasser foreligger resultater fra samtlige aflæsninger.

Af disse 139 kasser er et mindre antal observeret i mindre grad at være blevet forstyrret efter installation; f.eks. har der for enkelte kasser kunnet observeres spor efter menneskelig berøring. I disse tilfælde har det dog ikke kunnet iagttages, at de mindre forstyrrelser har påvirket målingerne, hvorfor resultaterne fra disse kasser er medtaget på lige fod med øvrige resultater.

Alle sætningsmålinger er registreret i en database, hvor også data fra installation af de enkelte kasser er registreret. På grundlag heraf er optegnet kurver mv. over sætningens tidlige forløb.

I forbindelse med målingerne er det observeret, at de cd-skiver, der er anvendt til definition af overfladen, har en tilbøjelighed til at synke lidt ned i produkterne - især de organiske, jf. foto 4.2.1. Dette medfører, at de registrerede sætninger, jf. figur 5.1.1 overvurderes, da de baseres på cd-skivernes højdeniveau.

I forbindelse med 32 mdr. aflæsningen er udført er ensartet registrering af skivernes nedsynkning. Det har ikke været muligt at udføre præcise målinger af skivernes nedsynkning, da der ikke andre steder end netop ved skiverne er en entydigt defineret overflade. Endvidere kan en del af nedsynkningen være sket allerede i forbindelse med installationen. Derfor er nedsynkning vurderet visuelt. Usikkerheden ved denne vurdering skønnes at være indenfor +/- 5 mm.

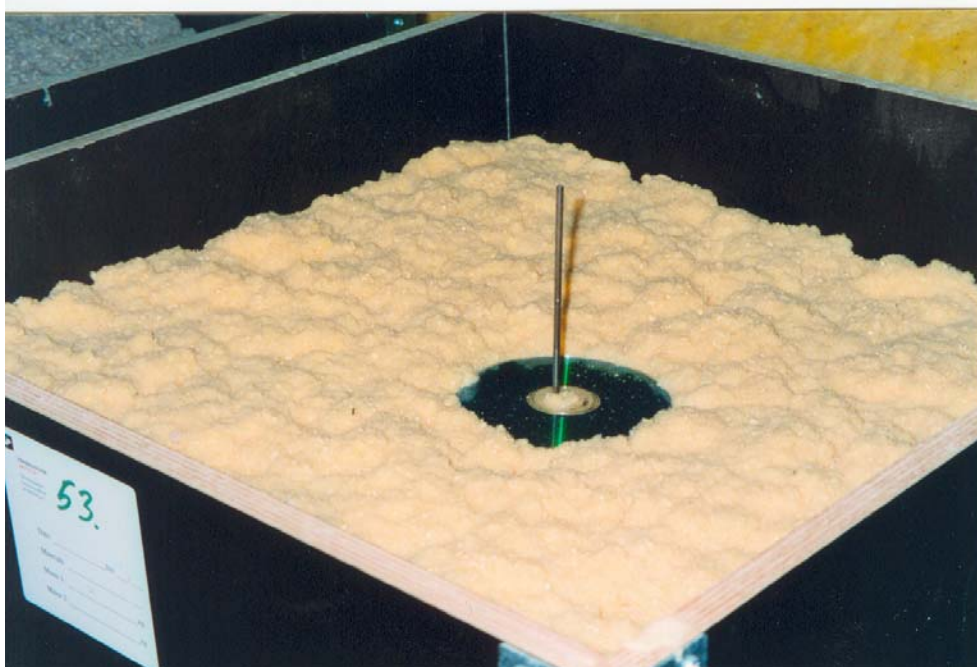


Foto nr. 4.2.1. Kasse nr. 53, Thermocell, ikke vibrationsisoleret kasse installeret i Højbjergparken 6. Her fotograferet efter 16 måneder. Cd-skiven ses at være sunket lidt ned i materialet. Efter 32 måneder registreredes en nedsynkning på 5-10 mm, svarende til ca. 3% af den oprindelige højde (H_0) og ca. 7% af den registrerede sætning i kasse nr. 53 efter 32 måneder.

4.3 VIBRATIONSMÅLINGER

Målingerne blev gennemført som vist i tabel 4.3.1.

Målested	Dato	Tidsrum	Kasse	
Karensvej 7	Eftermiddag	29. nov. 2001	14.00-16.00	1
	Aften	28. nov. 2001	19.10-21.15	1
Højbjergparken 1	Eftermiddag	8. feb. 2001	14.00-16.00	40
	Aften	9. jan. 2001	19.00-21.00	40
Højbjergparken 6	Eftermiddag	14. nov. 2001	13.55-16.00	54
	Aften	20. nov. 2001	18.55-21.00	54
Rundhøjparken 14	Eftermiddag	31. okt. 2001	13.55-16.00	81
	Aften	01. nov. 2001	18.55-21.00	81
Bøgeskovparken 131	Eftermiddag	17. okt. 2001	14.00-16.05	100
	Aften	16. okt. 2001	18.45-20.50	100
Bøgeskovparken 149	Eftermiddag	24. okt. 2001	13.45-15.50	129
	Aften	17. okt. 2001	18.45-20.50	129

Tabel 4.3.1

Gennemførelse af vibrationsmålinger er i øvrigt beskrevet under 3.7.

4.4 KLIMAMÅLINGER I LOFTRUM

I hvert loftrum er i forbindelse med installation af materialer monteret en minidatalogger til registrering af temperatur og relativ luftfugtighed i loftrummene. Dataloggerne er programmeret til registrering af temperatur og relativ luftfugtighed hver time.

I forbindelse med sætningsmålinger er der foretaget aflæsning af dataloggerne. Data er derefter registreret i en database med klimadata for de enkelte loftrum.

I enkelte tilfælde har det ikke været muligt at aflæse data fra dataloggerne på grund af svigt i selve dataloggerne. I enkelte andre tilfælde er dataopsamlingen ophørt inden pågældende måleperiode var afsluttet. Begge ovennævnte typer af svigt har som konsekvens, at der for nogle af målelokationerne er perioder, hvorfra der ikke foreligger klimadata.

Generelt foreligger der dog for alle målelokationer et meget stort antal målinger, der i alle tilfælde dækker hovedparten af den samlede måleperiode.

4.5 FUGTMÅLINGER I MATERIALER

Fugtindholdet er bestemt ved veje-tørre metoden i forbindelse med sætningsmålinger.

På en enkelt målelokation (Bøgeskovparken 149) er fugtindhold i et enkelt produkt (Papiruld) ikke bestemt ved måling efter 32 måneder på grund af et manglende bæger.

For alle øvrige lokationer er fugtindhold af alle materialer bestemt i forbindelse med alle sætningsmålinger.

5 RESULTATER

5.1 SÆTNING

5.1.1 Sætning i installationsperioden

Umiddelbart efter indblæsning i hver målekasse er isoleringens aktuelle højde, H_{inst} , bestemt ved måling, jf. punkt. 3.5.

Ved afslutning af arbejdet med installering i et loftrum er referencehøjden, H_0 , bestemt i alle installerede kasser.

Sætningen i installationsperioden, S_{inst} , er beregnet således:

$$S_{inst} = \frac{H_{inst} - H_0}{H_0}$$

Tabel 5.1.1 angiver for de enkelte produkter hvilken installationssætning, der som middelværdi er målt på de enkelte lokationer, samt hvor lang tid [døgn], der i gennemsnit er gået fra installation i den enkelte kasse, T_{inst} til afslutningen af installationen på pågældende målelokation og måling af referencehøjden, H_0 .

	Karensvej 7	Højbjerg-parken 1	Højbjerg-parken 6	Rundhøj-parken	Bøgeskov-parken 131	Bøgeskov-parken 149
Rockwool	4,8%	3,1%	2,3%	3,9%	4,4%	3,0%
$T_{inst} - T_0$	5,0 [dg]	0,2 [dg]	0,2 [dg]	0,1 [dg]	14,1 [dg]	0,1 [dg]
Isover	3,8%	2,7%	1,4%	6,8%	2,6%	2,0%
$T_{inst} - T_0$	5,5 [dg]	0,2 [dg]	1,0 [dg]	2,0 [dg]	14,0 [dg]	0,1 [dg]
Perlite	0,5%	0,2%	-0,2%	0,4%	0,4%	0,3%
$T_{inst} - T_0$	5,9 [dg]	1,0 [dg]	1,2 [dg]	0,6 [dg]	0,0 [dg]	0,0 [dg]
Ekofiber	6,4%	2,9%	4,0%	6,0%	0,6%	2,9%
$T_{inst} - T_0$	5,0 [dg]	0,1 [dg]	0,2 [dg]	2,1 [dg]	0,1 [dg]	1,1 [dg]
Papiruld	2,8%	1,4%	1,7%	4,5%	1,1%	3,0%
$T_{inst} - T_0$	0,1 [dg]	0,0 [dg]	0,1 [dg]	2,2 [dg]	0,1 [dg]	1,0 [dg]
Thermocell	1,2%	1,8%	1,6%	3,5%	9,5%	3,1%
$T_{inst} - T_0$	0,0 [dg]	1,0 [dg]	0,0 [dg]	2,1 [dg]	14,0 [dg]	1,0 [dg]

Tabel 5.1.1. Installationssætning, S_{inst} , for de enkelte produkter på de enkelte målelokationer samt installationstiden fra T_{inst} til T_0 .

Det må antages, at installationssætningen dels består af en sætning, der hidrører fra håndtering af målekasserne, og dels en tidsafhængig sætning, der begynder straks efter indblæsning i målekassen. Det fremgår tydeligt, at der for Ekofiber, Papiruld og Thermocell er en sammenhæng mellem installationsperiodens længde og installationssætningens størrelse. F.eks. er der for Thermocell i Bøgeskovparken 131, hvor installationsperioden var 14,0 døgn, registreret en installationssætning på 9,5%, mens der på Karensvej 7 og Højbjergparken 6, hvor installationsperioden kun var 0,0 døgn en installationssætning på henholdsvis 1,2% og 1,6%.

For Rockwool, Isover og Perlite er sammenhængen mellem installationsperiodens længde og installationssætningens størrelse mindre tydelig.

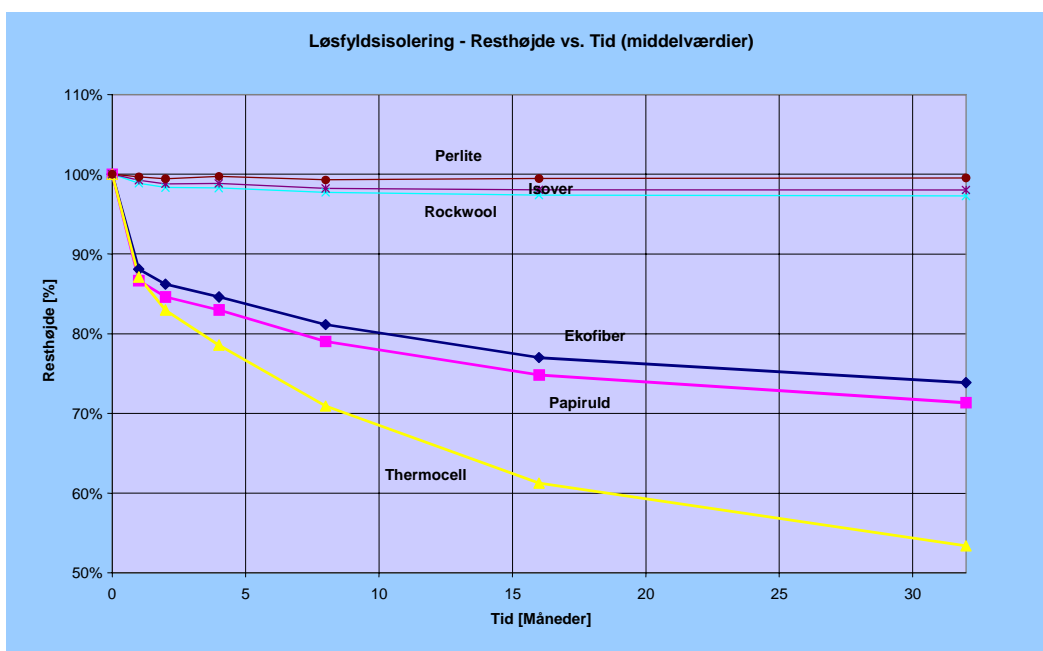
For Perlites vedkommende er sætningerne så små, at måleusikkerheden udgør en væsentlig del af de målte størrelser. Den skønnede måleusikkerhed på +/- 1 mm udgør ca. 0,3% af de målte højder. I Højbjergparken 6 er der f.eks. registreret en negativ installationssætning (-0,2%) for Perlite. Dette antages dog at afspejle usikkerhed ved målingerne og ikke vækst i materialetykkelsen.

Blandt de subjektive indtryk, der dannedes i forbindelse med udførelse af installationerne, var, at de 3 organiske produkter viste større ”robusthed” i forbindelse med håndtering af målekasserne, forstået således at de mekaniske påvirkninger, kasserne udsattes for – trods forsigtighed i håndteringen – synligt førte til sætninger i Isover og Rockwool, mens tilsvarende påvirkninger i de 3 organiske ikke medførte sætninger af samme størrelse som i Isover og Rockwool.

Under punkt 5.1.3 er behandlet, hvorledes installationssætningen for de enkelte produkter antages fordelt på tidsafhængig og tidsafhængig sætning.

5.1.2 Sætning efter installation

På figur 5.1.1 er vist det registrerede sætningsforløb for de enkelte produkter. For hvert produkt er optegnet en kurve, der som funktion af tiden angiver middelværdien for *relativ resthøjde* for samtlige målekasser med pågældende materiale. Relativ resthøjde er beregnet som den målte tykkelse af isoleringen divideret med den oprindelige tykkelse ved afslutning af installationen (H_0).



Figur 5.1.1. Sætningsforløb beskrevet ved middelværdier af resthøjde for alle lokationer. Værdier er ikke korrigeret for skivers nedsynkning i materialer eller tidsafhængig sætning i installationsperioden.

Da målinger ikke er foretaget løbende, men kun på forudbestemte tidspunkter, haves intet kendskab til sætningens tidlige forløb mellem måletidspunkterne. Kurverne er derfor dannet ved indtegning af rette linier mellem de kendte punkter. Kurverne er ikke korrigeret for skivernes nedsynkning i materialerne eller for tidsafhængig del af sætningen i installationsperioden.

På efterfølgende figurer 5.1.2 til 5.1.7 er angivet tilsvarende sætningsforløb for de enkelte produkter på de enkelte målelokationer. De indtegnede kurver repræsenterer middelværdier af de installerede kasser af pågældende produkt på de enkelte målelokationer. Desuden er indtegnet en kurve repræsenterende middelværdierne af alle målinger på pågældende produkt på alle målelokationerne.

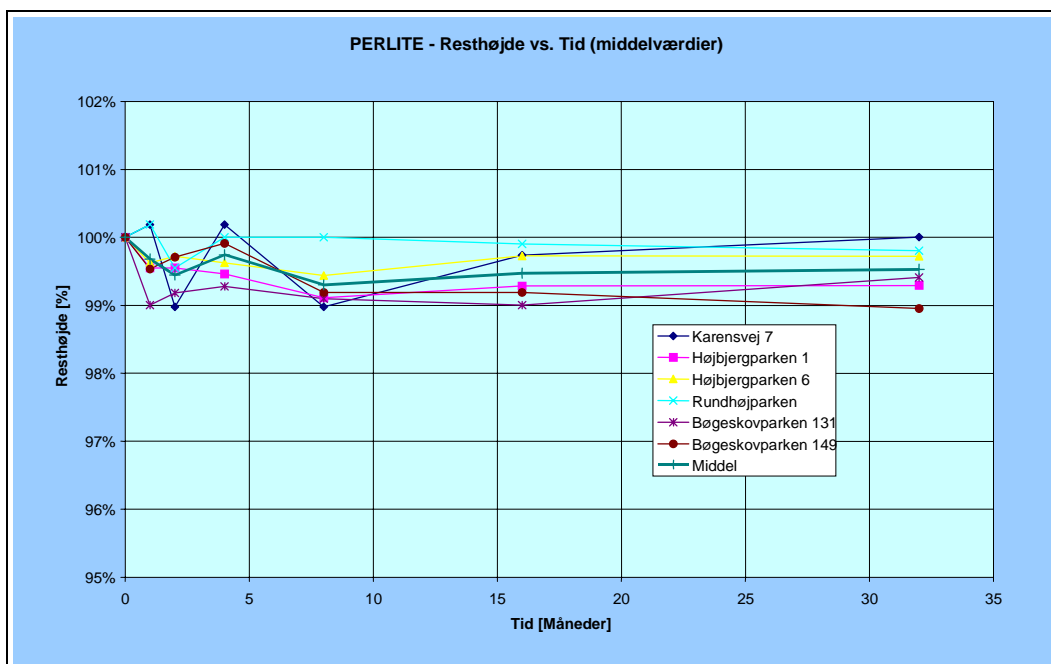
Med hensyn til sætning deler produkterne sig i to hovedgrupper: Dels de *uorganiske* produkter *Perlite*, *Rockwool* og *Isover*, der alle har en sætning på højst nogle få procent efter 32 måneder; dels de *organiske* produkter, *Ekofiber*, *Papiruld* og *Thermocell*, hvor sætningen er væsentligt større.

Det fremgår klart, at *Ekofiber* sætter sig mindre end *Papiruld*. Endvidere fremgår det klart, at *Thermocell* sætter sig væsentligt mere end de to andre typer celluloseisolering.

Akserne for resthøjde er tilpasset de aktuelle størrelser af sætning for de enkelte produkter.

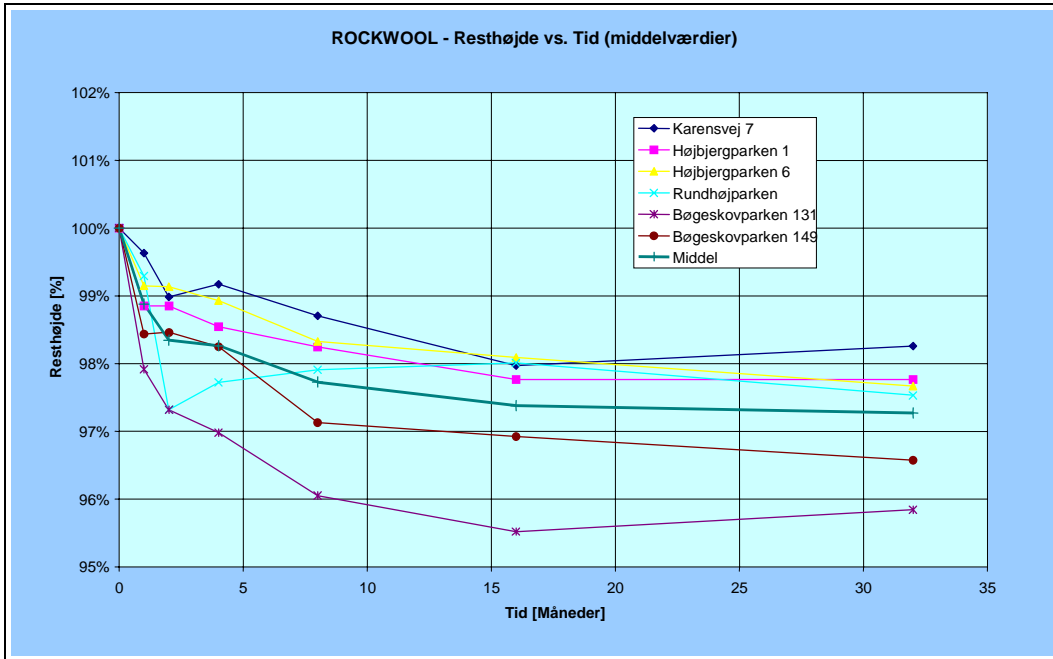
Der er i figur 5.1.1 ikke skelnet mellem vibrationsisolerede og ikke-vibrationsisolerede kasser.

For *Perlite* er sætningen på alle lokationer inden for ca. 1%, jf. figur 5.1.2. Der er ikke noget klart mønster i det tidlige forløb. Ved de første målinger ses nogen fluktuation, men fra 16 til 32 måneder er der ingen synlig sætningsudvikling. I forhold til de registrerede sætninger er usikkerheden ved målemetoden relativt stor. Måleusikkerheden kan derfor være årsag til fluktuationerne først i perioden.

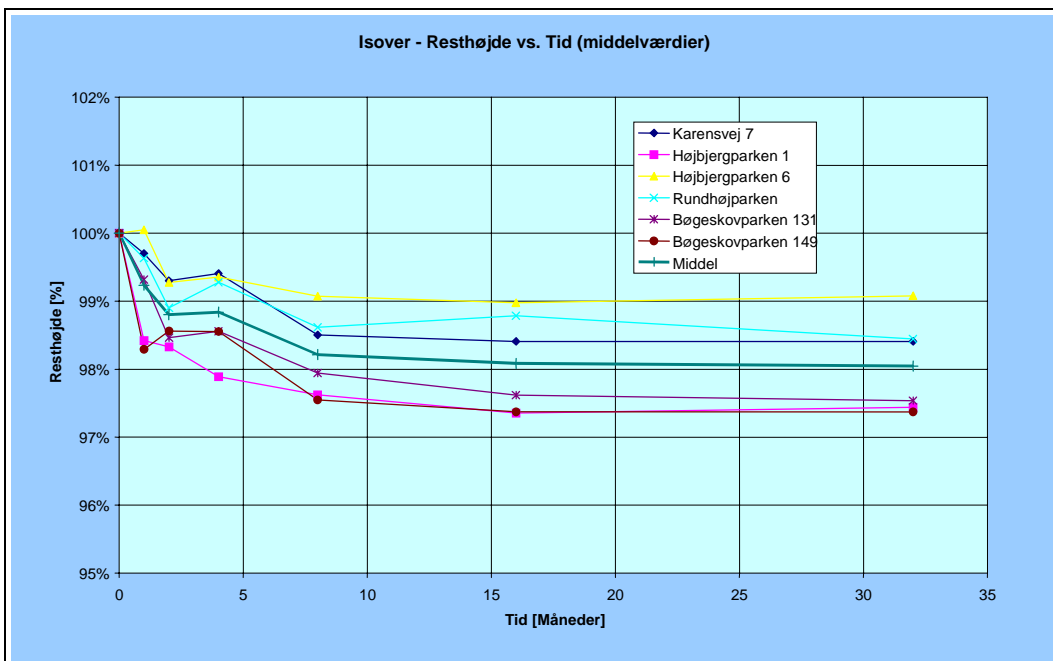


Figur 5.1.2. Sætningsforløb for *Perlite* beskrevet ved middelværdier af kasser på hver enkelt lokation. Værdier er ikke korrigeret for skivers nedsynkning i materialer.

For *Rockwool*, jf. figur 5.1.3, varierer resthøjderne efter 32 måneder mellem knap 96% og godt 98%. Det tidlige forløb forekommer nogenlunde jævnt med tendens til aftagende sætning. Fra 16 til 32 måneder ses ingen udvikling. I Rundhøjparken ses et atypisk forløb, hvor sætningen når sit maksimum efter 2 måneder, hvorefter sætningen mindskes igen. Disse udsving er dog relativt små, måleusikkerheden taget i betragtning.

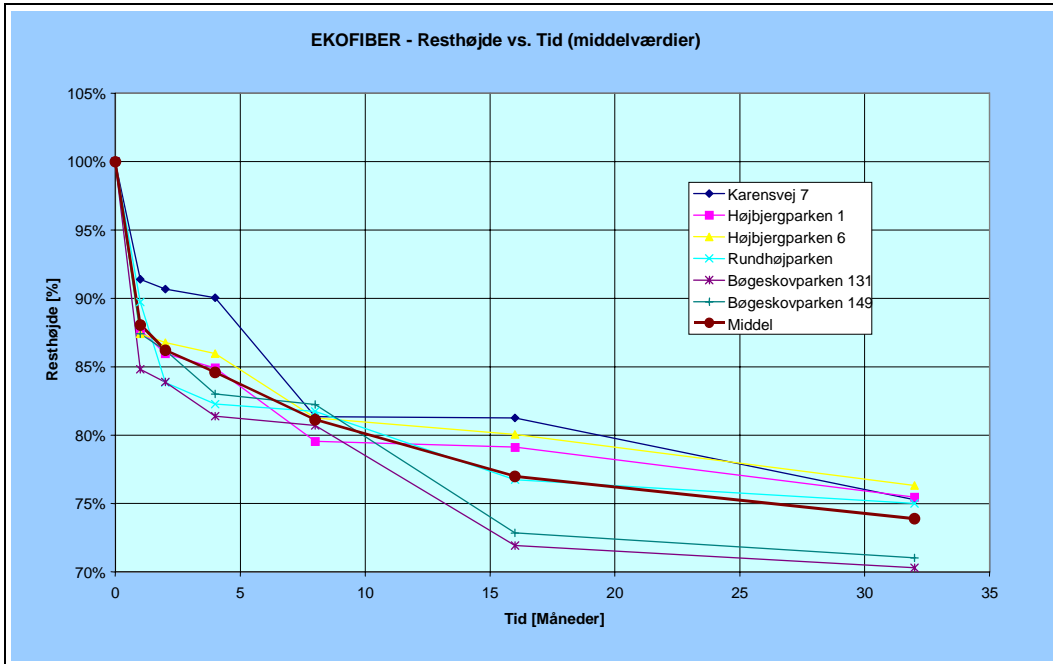


Figur 5.1.3. Sætningsforløb for ROCKWOOL beskrevet ved middelværdier af kasser på hver enkelt lokation. Værdier er ikke korrigeret for skivers nedsynkning i materialer.

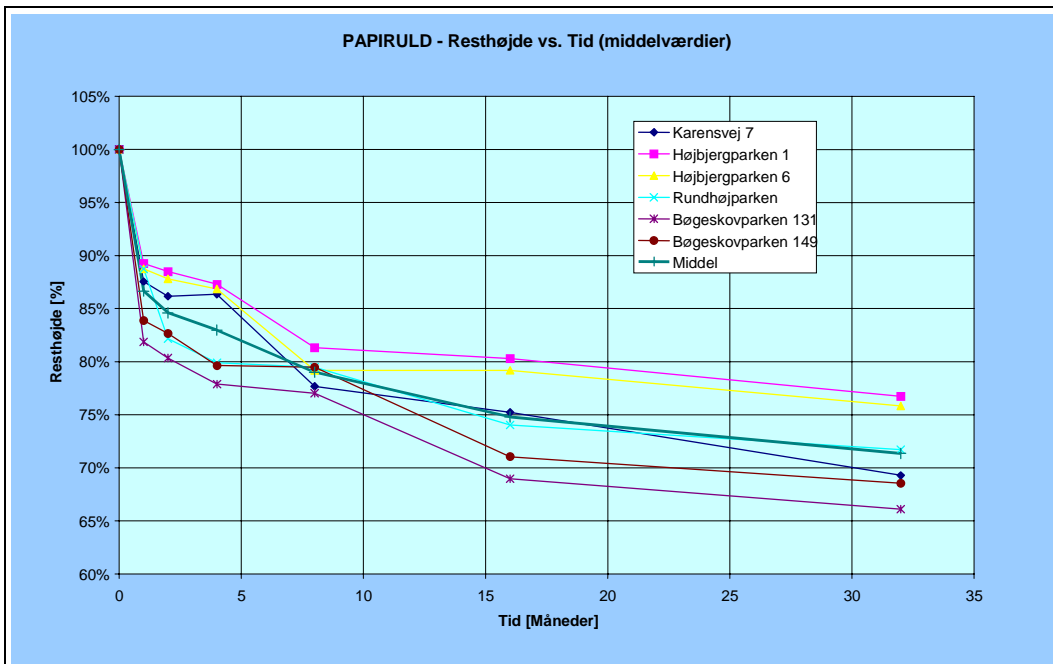


Figur 5.1.4. Sætningsforløb for Isover beskrevet ved middelværdier af kasser på hver enkelt lokation. Værdier er ikke korrigeret for skivers nedsynkning i materialer.

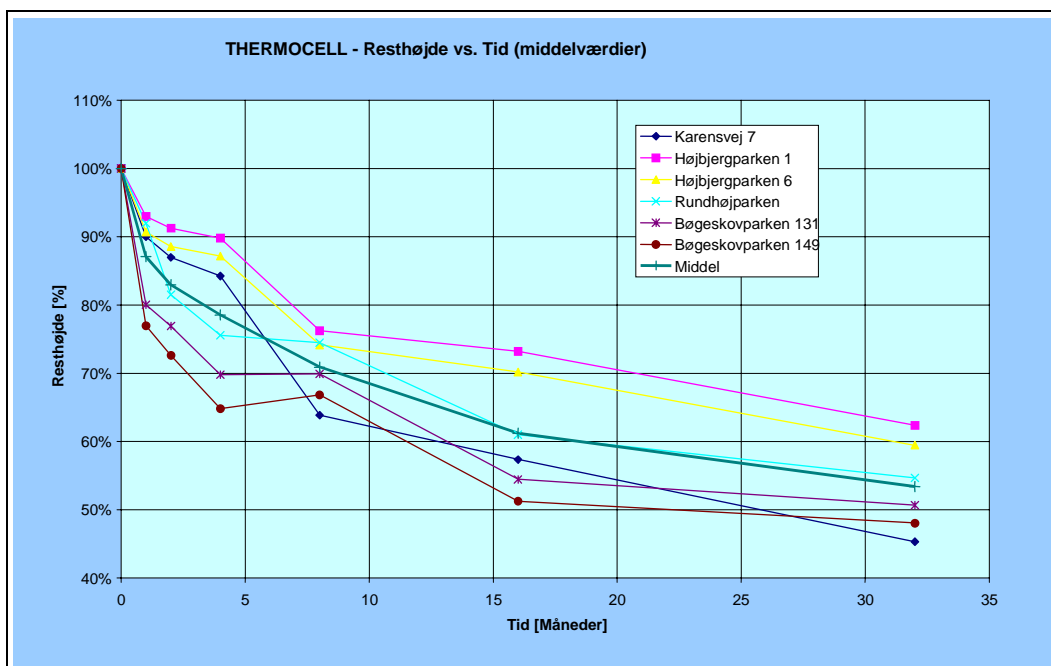
For Isover gælder, jf. figur 5.1.4, samme mønster som for Rockwool. Sætningerne er dog en smule mindre, 1% - knap 3% .



Figur 5.1.5. Sætningsforløb for Ekofiber beskrevet ved middelværdier af kasser på hver enkelt lokation. Værdier er ikke korrigeret for skivers nedsynkning i materialer.



Figur 5.1.6. Sætningsforløb for Papiruld beskrevet ved middelværdier af kasser på hver enkelt lokation. Værdier er ikke korrigeret for skivers nedsynkning i materialer.



Figur 5.1.7. Sætningsforløb for Thermocell beskrevet ved middelværdier af kasser på hver enkelt lokation. Værdier er ikke korrigeret for skivers nedsynkning i materialer.

Figur 5.1.5, 5.1.6 og 5.1.7 viser sætningsforløbet for henholdsvis Ekofiber, Papiruld og Thermocell.

Det er tydeligt, at der for alle 3 produkter er store forskelle på det tidlige forløb af sætningen på de forskellige målelokationer.

Forløbene har endvidere en meget abrupt form. F.eks. har alle 3 organiske produkter på Karensvej 7 vist en relativt beskedne sætning i tidsintervallet fra 2 til 4 måneder, mens sætningen i tidsintervallet fra 4 til 8 måneder har været væsentligt større. Samme mønster gør sig gældende i Højbjergparken 1 og 6.

Omvendt har der på de 3 øvrige lokationer, Rundhøjparken samt Bøgeskovparken 131 og 149, for de 3 organiske produkter været beskedne sætninger i tidsintervallet fra 4 – 8 måneder.

I den forbindelse skal man være opmærksom på, at installationerne er foretaget med indbyrdes tidsforskydning, jf. det ovenfor beskrevne under 4.1. Installationerne Karensvej 7 og Højbjergparken 1 og 6 er udført i efteråret 2000, mens de 3 øvrige installationer er udført i foråret 2001. Der har således været forskel på, hvilke klimatiske påvirkninger produkterne har været udsat for til de forskellige tider.

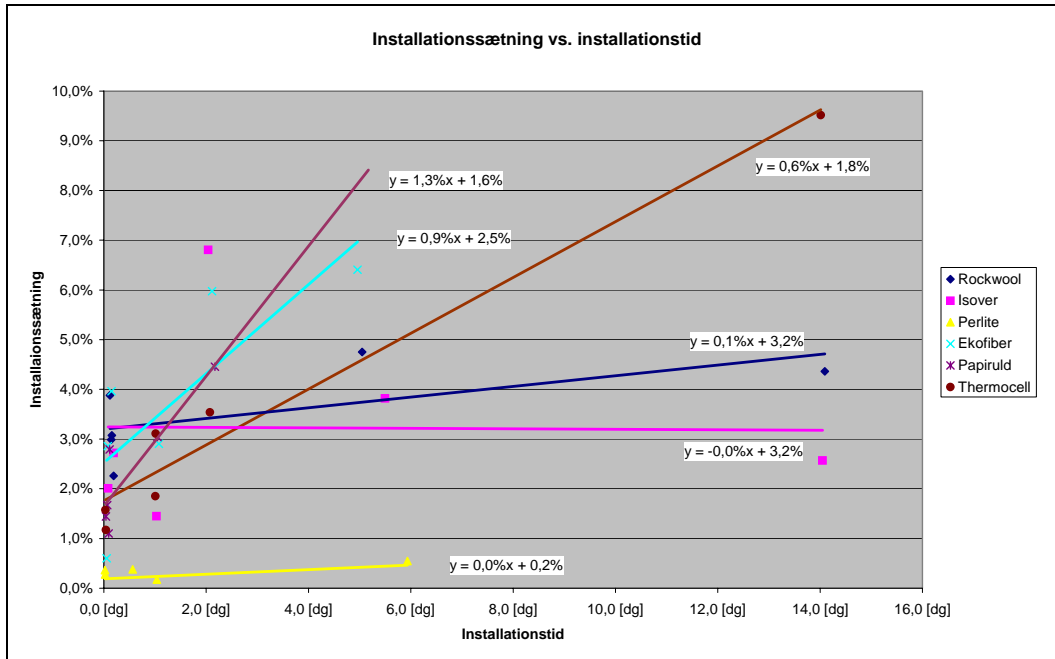
Efter 32 måneder bemærkes det, at sætningen i alle de 3 organiske produkter har været mindst på de 2 lokationer i Højbjergparken og størst på de 2 lokationer i Bøgeskovparken; dog har Thermocell efter 32 måneder haft større sætning på Karensvej 7 end på de 2 lokationer i Bøgeskovparken.

5.1.3 Korrigerede værdier for sætning efter 32 måneder

Som anført under afsnit 5.1.1 er der forskelle mellem længden af installationsperioden; både hvad angår de forskellige lokationer, og hvad angår de forskellige produkter på den enkelte lokation.

Da det er umiddelbart iagttageligt, at installationssætningen er størst i de tilfælde, hvor installationsperioden har været lang, må der ved sammenligning mellem lokationerne korrigeres for disse forskelle.

I figur 5.1.8 er installationssætninger anført i tabel 5.1.1 indtegnet som funktion af installationstiden. For hvert produkt er indtegnet en lineær regressionslinie under forenklet antagelse af en lineær sammenhæng mellem installationstid og installationssætning.



Figur 5.1.8. Grafisk afbildning af sammenhæng mellem installationstid og installationssætning

Regressionslinierne antyder en stærk tidsafhængighed for de 3 organiske produkter, mens tidssammenhængen er mindre tydelig for de 3 uorganiske.

Diagrammet antyder, at der for alle de 3 organiske produkter er opstået en sætning på 1-2% (middelværdi) i forbindelse med håndteringen af målekasserne, og at der herefter er sket en tidsafhængig sætning.

For Rockwool og Isover antyder diagrammet, at sætningen i forbindelse med håndtering af målekasserne udgør ca. 3% (middelværdi)

Dette stemmer godt overens med de subjektive indtryk, der dannedes i forbindelse med installationerne, jf. 5.1.1.

Ved sammenligning af sætninger efter 32 måneder udgør installationstiden en begrænset del af den samlede måleperiode. I denne sammenligning vil det derfor være rimeligt at medregne den tidsafhængige del af installationssætningen.

Til korrektion for forskelle i installationstid er i tabel 5.1.2 anvendt hældningskoefficienterne, α , for regressionslinierne i figur 5.1.8 for de enkelte produkter:

Rockwool:	0,1 % pr. døgn
Isover:	0,0 % pr. døgn
Perlite:	0,0 % pr. døgn
Ekofiber:	0,9 % pr. døgn
Papiruld:	1,3% pr. døgn
Thermocell:	0,6% pr. døgn.

Korrektionen, K_{inst} for det enkelte produkt på den enkelt lokation er beregnet som

$$K_{inst} = \alpha \cdot (T_0 - T_{inst})$$

Som anført under punkt 4.2 er det registreret, at cd-skiverne i nogle tilfælde er sunket ned i isoleringsmaterialet.

Til korrektion for denne nedsynkning er for hvert produkt beregnet en korrektion for hver målelokation. Korrektionen, K_{skive} , er beregnet som den gennemsnitlige nedsynkning for pågældende produkt på pågældende lokation delt med den oprindelige højde, H_0 .

I tabel 5.1.2. er anført middelværdier for sætning efter 32 måneder i de enkelte produkter på de enkelte målelokationer samt korrektioner for tidsafhængig del af installationssætningen samt for skivernes nedsynkning i materialerne.

De korrigerede værdier for sætning efter 32 måneder, $S_{6,korr}$ er beregnet således:

$$S_{6,korr} = \frac{S_6 + K_{inst} - K_{skive}}{1 + K_{inst}}$$

Produkt	Karensvej 7	Højbjerg-parken 1	Højbjerg-parken 6	Rundhøj-parken 14	Bøgeskov-parken 131	Bøgeskov-parken 149
Rockwool, $S_{6,korr}$	2,3%	2,3%	0,8%	2,5%	2,6%	2,4%
S_6	1,7%	2,2%	2,3%	2,5%	4,2%	3,4%
K_{skive}	0,0%	0,0%	1,6%	0,0%	3,1%	1,0%
K_{inst}	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	0,0%
Isover, $S_{6,korr}$	0,8%	2,6%	0,9%	1,5%	1,1%	2,2%
S_6	1,6%	2,6%	0,9%	1,6%	2,5%	2,6%
K_{skive}	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	0,5%
K_{inst}	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,1%	0,0%
Perlite, $S_{6,korr}$	0,3%	0,8%	0,3%	0,2%	0,6%	1,0%
S_6	0,0%	0,7%	0,3%	0,2%	0,6%	1,0%
K_{skive}	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
K_{inst}	0,3%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Ekofiber, $S_{6,korr}$	22,0%	20,3%	19,9%	20,7%	25,4%	24,9%
S_6	24,7%	24,5%	23,7%	25,0%	29,7%	29,0%
K_{skive}	6,2%	4,3%	3,9%	5,8%	4,3%	4,8%
K_{inst}	4,4%	0,1%	0,1%	1,9%	0,0%	1,0%
Papiruld, $S_{6,korr}$	24,1%	20,1%	21,0%	26,5%	32,3%	29,0%
S_6	30,7%	23,3%	24,2%	28,3%	33,9%	31,5%
K_{skive}	6,7%	3,2%	3,3%	3,9%	1,7%	3,5%
K_{inst}	0,1%	0,1%	0,1%	2,8%	0,1%	1,4%
Thermocell, $S_{6,korr}$	48,2%	33,7%	35,9%	41,0%	48,4%	46,6%
S_6	54,7%	37,6%	40,6%	45,4%	49,4%	51,9%
K_{skive}	6,5%	4,3%	4,6%	5,0%	5,0%	5,7%
K_{inst}	0,0%	0,6%	0,0%	1,2%	7,9%	0,6%

Tabel 5.1.2. Korrigerede værdier for sætning efter 32 måneder, $S_{6,korr}$. Endvidere er angivet de ukorrigerede værdier for sætning efter 32 måneder, S_6 , samt korrektion for skivers nedsynkning, K_{skive} , og korrektion for tidsafhængig del af installationssætningen, K_{inst} .

5.1.4 Sætning i vibrationsisolerede versus ikke-vibrationsisolerede kasser

I tabel 5.1.3 er sætningsværdierne efter 32 måneder fordelt på vibrationsisolerede kasser og ikke-vibrationsisolerede kasser for de enkelte produkter på hver enkelt målelokation.

Sætningsværdierne i tabel 5.1.3 er korrigeret for skivers nedsynkning, men ikke for forskelle i installationsperiodens varighed, da denne korrektion ikke vil have betydning ved direkte sammenligning mellem vibrationsisolerede og ikke-vibrationsisolerede kasser.

Resultater vedrørende ikke-vibrationsisolerede kasser er beregnede middelværdier af resultater fra de 3 ikke-vibrationsisolerede kasser af hvert produkt på hver lokation. Værdier for vibrationsisolerede kasser er enkeltresultater.

I Rundhøjparken foreligger ikke sætningsresultat efter 32 måneder for vibrationsisolerede kasser med Isover, Ekofiber, Papiruld og Thermocell, da disse 4 kasser ikke har kunnet måles på grund af nedfaldne genstande. Resultater fra Rundhøjparken indgår derfor ikke i beregning af middelværdier for Isover, Ekofiber, Papiruld og Thermocell.

Produkt	Karensvej 7	Højbjerg- parken 1	Højbjerg- parken 6	Rundhøj- parken 14	Bøgeskov- parken 131	Bøgeskov- parken 149	Middel
Rockwool							
Uisoleret	2,1%	2,6%	0,1%	2,3%	0,7%	2,8%	1,8%
Isoleret	0,8%	1,2%	2,9%	3,0%	2,3%	1,1%	1,9%
Isover							
Uisoleret	0,6%	2,1%	1,0%	(1,6%)	1,0%	1,9%	1,3%
Isoleret	1,6%	3,9%	0,7%	(mangler)	1,8%	2,9%	2,2%
Perlite							
Uisoleret	0,1%	0,8%	0,2%	0,0%	0,7%	1,4%	0,5%
Isoleret	-0,4%	0,4%	0,4%	0,8%	0,4%	0,0%	0,2%
Ekofiber							
Uisoleret	19,0%	18,1%	20,7%	(19,2%)	26,6%	24,4%	21,8%
Isoleret	17,1%	26,5%	17,1%	(mangler)	21,8%	23,5%	21,2%
Papiruld							
Uisoleret	23,9%	19,8%	21,3%	(23,1%)	31,0%	27,8%	24,8%
Isoleret	24,2%	20,8%	19,6%	(mangler)	35,8%	28,7%	25,8%
Thermocell							
Uisoleret	47,8%	32,5%	35,6%	(38,7%)	42,8%	46,4%	41,0%
Isoleret	49,5%	35,7%	37,0%	(mangler)	49,1%	45,9%	43,4%

Tabel 5.1.3.: Sætning i vibrationsisolerede (isoleret) og ikke-vibrationsisolerede målekasser (uisoleret) på de enkelte lokationer. Sætningsværdierne er korrigeret for skivers nedsynkning. For hvert produkt er beregnet en middelværdi for alle lokationer. I Rundhøjparken mangler resultater for 4 vibrationsisolerede kasser. Ved beregning af middelværdier er resultater fra tilsvarende ikke-vibrationsisolerede kasser ikke medregnet.

5.2 VIBRATIONER

Måleresultaterne vedrørende vibrationsmålinger fremgår af tabel 5.2.1 og 5.2.2. De samme resultater er vist grafisk i figur 5.2.1 til 5.2.4. X-retningen er vandret og parallelt med spærkonstruktionen, Y-retningen er vandret og på tværs af spærkonstruktionen, og Z-retningen er lodret.

I figur 5.2.5 og 5.2.6 er der vist 2 eksempler på niveauskriverudskrifter med tidskonstant "Fast" fra målingerne.

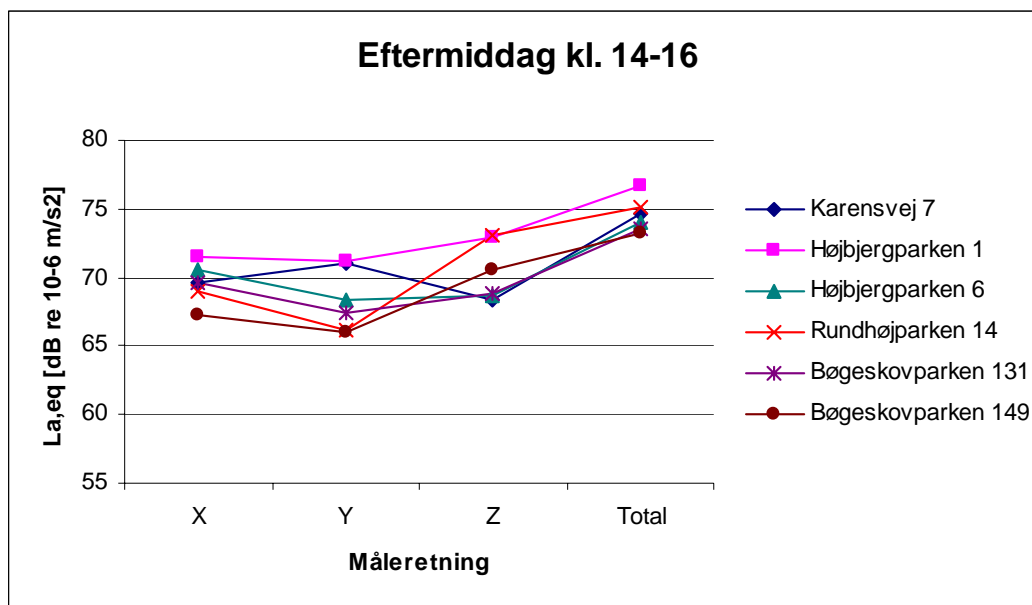
Til sammenligning med beskrivelse af målelokationernes beliggenhed mv. henvises til punkt, 3.2.

Målelokation	Eftermiddag kl. 14-16				Aften kl. 19-21			
	X	Y	Z	Total	X	Y	Z	Total
Karensvej 7	69,7	71,1	68,4	74,6	70,6	69,6	71,4	75,4
Højbjergparken 1	71,5	71,2	72,9	76,7	64,6	66,7	68,0	71,4
Højbjergparken 6	70,5	68,3	68,7	74,0	64,0	60,3	66,1	68,8
Rundhøjparken 14	69,0	66,2	73,1	75,1	63,6	64,8	69,9	71,8
Bøgeskovparken 131	69,7	67,5	68,8	73,5	68,7	68,5	70,3	74,0
Bøgeskovparken 149	67,2	66,0	70,6	73,2	67,7	62,1	68,9	71,8

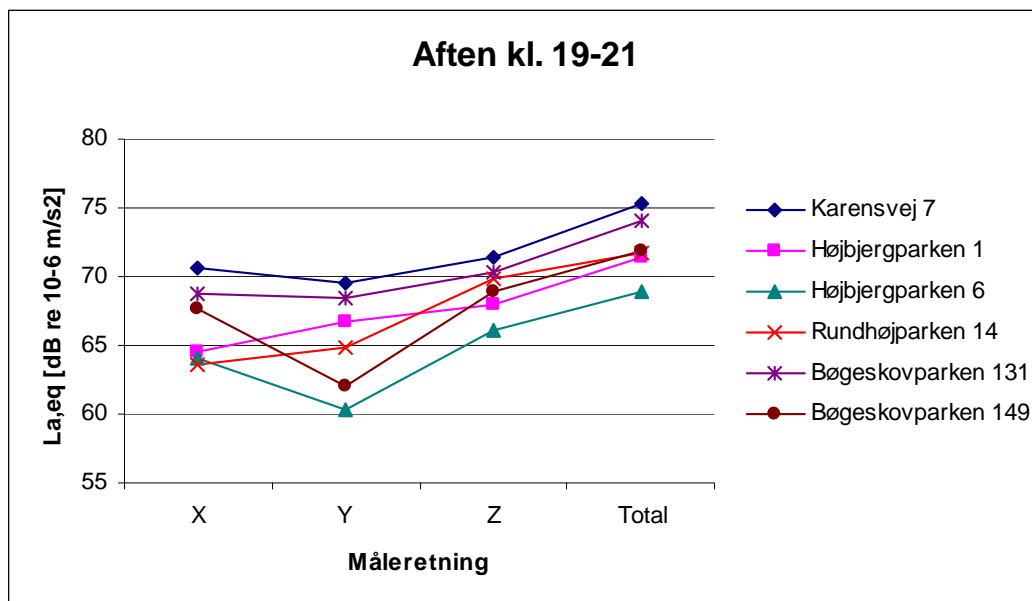
Tabel 5.2.1. Ækvivalente accelerationsniveauer $L_{a,eq}$ [dB re $1 \mu\text{m/s}^2$]

Målelokation	Eftermiddag kl. 14-16				Aften kl. 19-21			
	X	Y	Z	Total	X	Y	Z	Total
Karensvej 7	91,2	83,7	93,4	95,7	80,9	86,4	87,9	90,7
Højbjergparken 1	86,2	82,7	86,5	90,2	87,4	83,5	88,6	91,8
Højbjergparken 6	90,6	85,9	88,4	93,5	85,2	77,4	85,0	88,5
Rundhøjparken 14	81,6	83,9	92,4	93,3	81,0	83,8	82,6	87,4
Bøgeskovparken 131	84,6	80,7	84,3	88,3	84,3	82,6	88,5	90,6
Bøgeskovparken 149	80,5	76,2	80,1	84,1	81,9	79,2	85,3	87,6

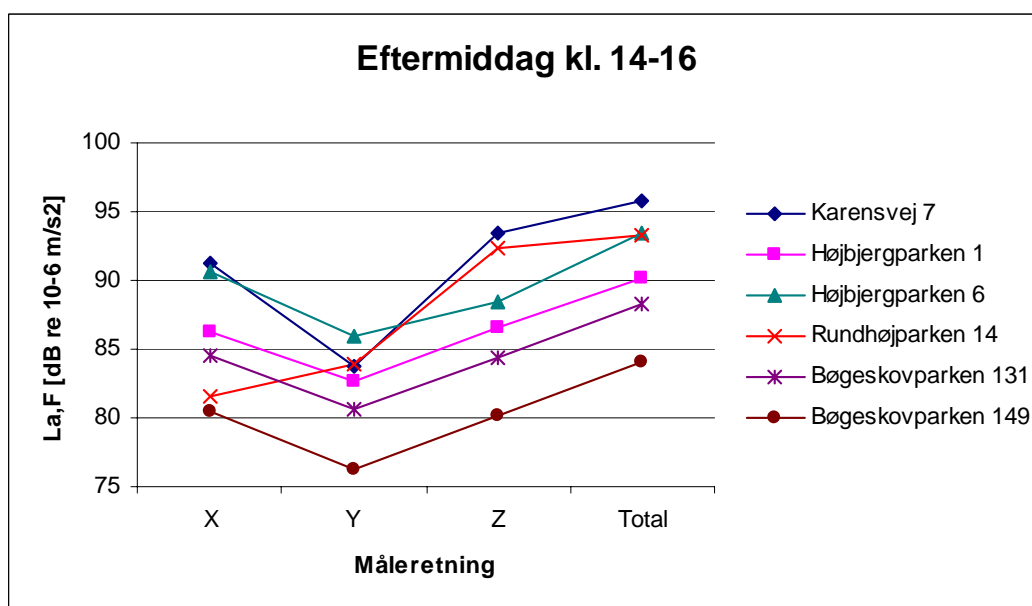
Tabel 5.2.2. Typiske maksimalniveauer $L_{a,F}$ [dB re $1 \mu\text{m/s}^2$]



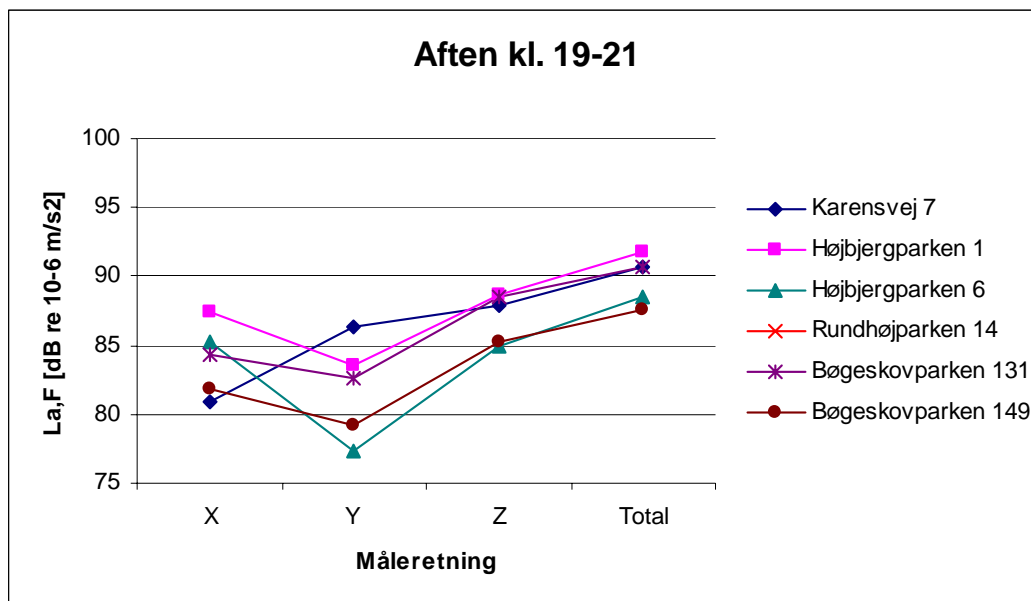
Figur 5.2.1. Ækvivalente accelerationsniveauer, eftermiddag



Figur 5.2.2. Ækvivalente accelerationsniveauer, aften



Figur 5.2.3. Typiske maksimalniveauer, eftermiddag

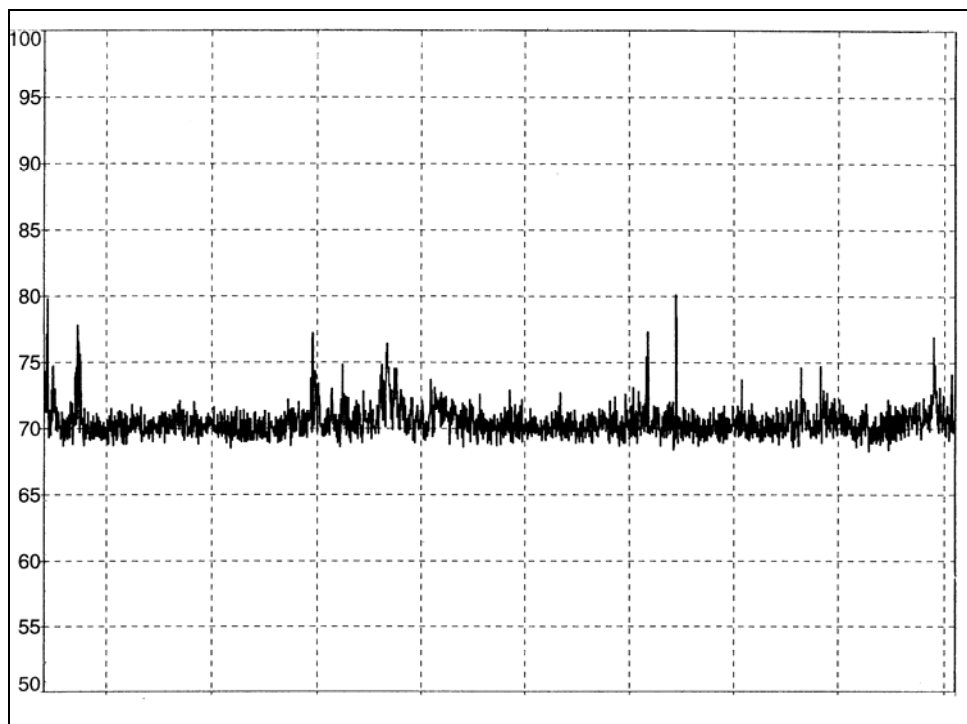


Figur 5.2.4. Typiske maksimalniveauer, aften

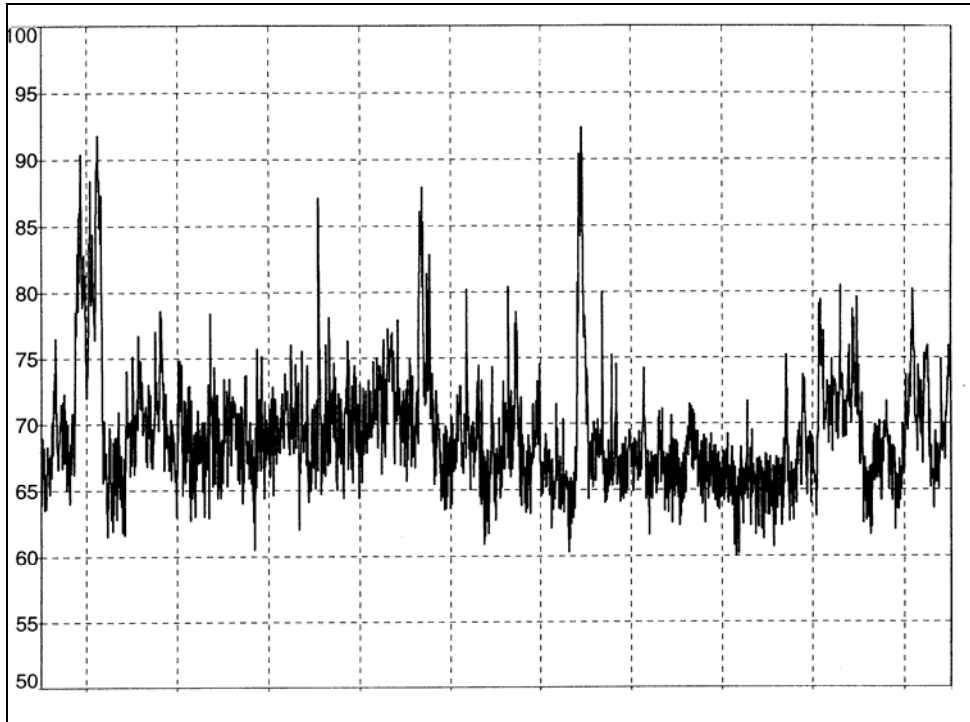
Generelt gælder det, at vibrationerne er lidt kraftigere i lodret retning end vandret.

Totalværdierne for $L_{a,eq}$ er 3-5 dB lavere om aftenen end om eftermiddagen i Højbjergparken 1 og 6 samt Rundhøjparken 14. De tre øvrige steder er totalværdierne for $L_{a,eq}$ omtrent ens om eftermiddagen og om aftenen. Spredningen mellem resultaterne for $L_{a,eq}$ fra de forskellige lokationer må siges at være beskednen.

Der er ingen tydelig sammenhæng mellem ækvivalent- og maksimalniveauer. Maksimalniveauerne udviser større forskelle om eftermiddagen end om aftenen.



Figur 5.2.5 Eksempel på accelerationsniveau (tidskonstant "Fast") som funktion af tiden (2 min. pr. inddeling): Bøgeskovparken 149 - eftermiddag, Z-retning.

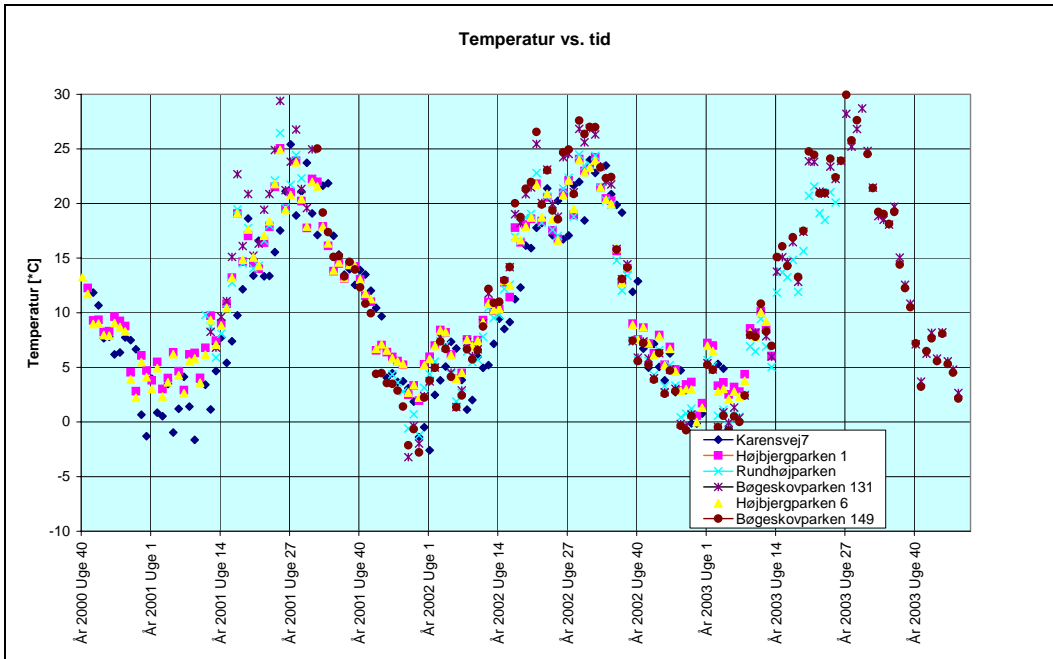


Figur 5.2.6 Eksempel på accelerationsniveau (tidskonstant "Fast") som funktion af tiden (2 min. pr. inddeling): Karensvej 7 - eftermiddag, Z-retning

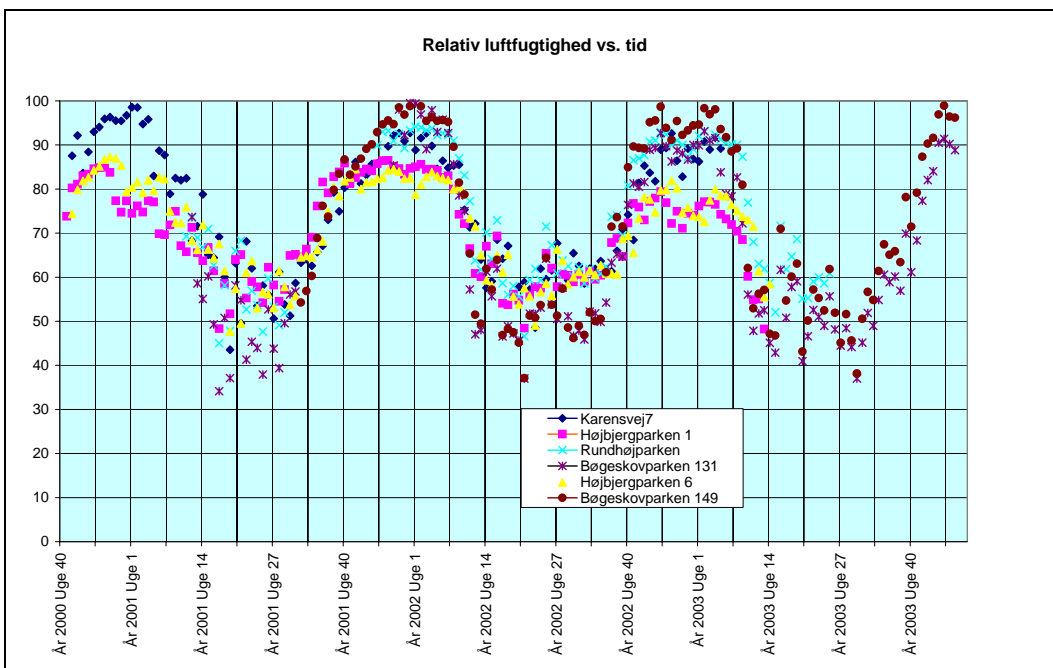
5.3 KLIMAMÅLINGER I LOFTRUM

For hver målelokation foreligger et meget stort antal samhørende værdier for tid, temperatur og relativ luftfugtighed. De registrerede målinger af temperatur og relativ luftfugtighed er sammenfattet i figur 5.3.1 og 5.3.2.

Af hensyn til overskueligheden er begge figurer er baseret på ugevise middelværdier for hver enkelt lokation.



Figur 5.3.1 Ugevisse middelværdier for temperatur på de enkelte lokationer



Figur 5.3.2 Ugevisse middelværdier for relativ luftfugtighed på de enkelte lokationer

Det fremgår tydeligt, at temperatur og luftfugtighed i loftrumene generelt følger en årscyklus for udeklima med lav temperatur og høj fugtighed om vinteren og omvendt om sommeren. Endvidere fremgår det, at der er forskel mellem lokationerne, både hvad angår temperatur og relativ luftfugtighed. Det er f.eks. tydeligt, at udsvingene er mindre på de 2 lokationer i Højbjergparken end i de 2 lokationer i Bøgeskovparken. Dette gælder både temperatur og luftfugtighed.

Det meget store antal måleresultater, der forligger for temperatur og relative luftfugtighed – generelt 1 sæt resultater for hver time fra hver målelokation – nødvendiggør, at der findes metoder til at overskue resultaterne. Med henblik på at finde relevante parametre til at karakterisere klimaet på lokationerne, er den relative luftfugtighed på hver enkelt lokation søgt tilnærmet med en simpel beskrivelse i dels en *årscyklus* og dels en *døgn*cyklus.

Det er velkendt, at ikke kun den relative luftfugtighed men også temperaturen har indflydelse på fugtoptagelse i celluløse materialer, men for overskuelighedens skyld er klimaet søgt karakteriseret ved den relative luftfugtighed alene.

Årscyklus er søgt tilnærmet som en sinusfunktion af tiden. Funktionen er karakteriseret ved årsmiddel (middelværdi), årsvariation (= 2 gange amplituden) samt tidsforskydning i forhold til kalenderåret.

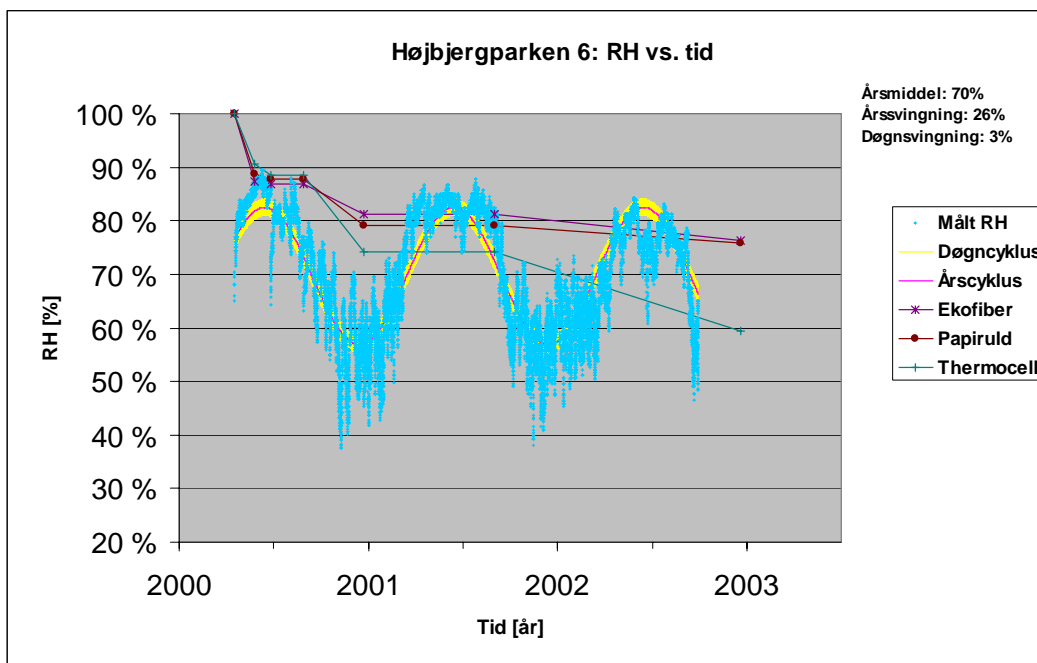
For hver lokation er årsmiddel og årsvariation estimeret ved kurvetilpasning efter mindste kvadraters princip, hvor samtlige måleresultater (timeværdier) på pågældende lokation indgår i beregningen. Perioden i sinusfunktionen er fastlagt til 365 døgn, mens amplitude, middelværdi og tidsforskydning i forhold til kalenderåret er bestemt iterativt.

Efter fastlæggelse af parametrene for årscyklus er estimeret en døgncyklus, der ligeledes er søgt tilnærmet med en sinusfunktion af tiden. Funktionen for døgncyklus er karakteriseret alene ved amplitude og tidsforskydning i forhold til døgnet (middelværdi af døgncyklus = 0). For at undgå for komplicerede beskrivelser er døgncyklus estimeret med samme amplitude sommer og vinter, selvom svingningerne kan observeres at være væsentligt større om sommeren end om vinteren.

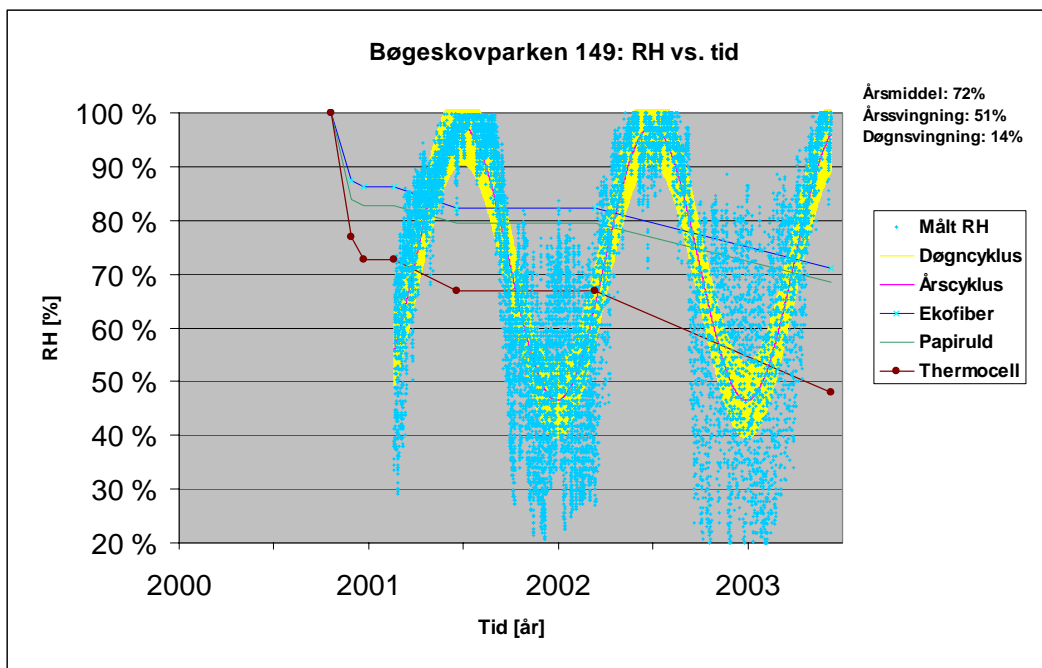
Også døgncyklus er estimeret ved kurvetilpasning efter mindste kvadraters princip. Ved estimering af parametrene for døgncyklus er anvendt kvadratsummen af afvigelser mellem målt relativ luftfugtighed og summen af års- og døgncyklus.

På figur 5.3.3 og 5.3.4 er de estimerede klimacykler for henholdsvis Højbjergparken 6 og Bøgeskovparken 149 fremstillet grafisk sammen med de registrerede fugtforløb. Endvidere er sætningsforløbene for de 3 organiske produkter indtegnet uden korrektion for nedsynkning af skiver. Sætningsforløbene er beskrevet ved den relative resthøjde, som er indtegnet med samme skala (procent af referencehøjde, H_0) som den relative luftfugtighed.

I figurerne angiver den røde kurve estimeret årscyklus, mens det gule "bånd" angiver de estimerede døgnavariationer. Den blå kurve viser de faktisk målte værdier for relativ luftfugtighed.



Figur 5.3.3. Registreret forløb af relativ luftfugtighed i Højbjergparken 6. Endvidere er indtegnet relativ resthøjde for de 3 organiske produkter. Skalaen for relativ resthøjde er den samme som for relativ luftfugtighed.



Figur 5.3.4. Registreret forløb af relativ luftfugtighed i Bøgeskovparken 149. Endvidere er indtegnet relativ resthøjde for de 3 organiske produkter. Skalaen for relativ resthøjde er den samme som for relativ luftfugtighed.

Beskrivelse i års- og døgncyklus viser store variationer mellem de forskellige lokationer. De to lokationer i Højbjergparken, hvor der er tegltag med undertag, har tilsyneladende et væsentligt mere stabilt klima end f.eks. de to lokationer i Bøgeskovparken, hvor tagdækningen er af sort eternit. Denne forskel optræder både med hensyn til variation over året og variation over døgnet

Imellem de to lokationer med eternittag optræder endvidere en stor indbyrdes forskel på variation over døgnet. I nr. 149 er døgnvariationen estimeret til 14%, mens døgnvariationen i nr. 131 er estimeret til 22%. Denne forskel kan muligvis skyldes forskel i bygningernes orientering i forhold til verdenshjørnerne. Nr. 149 har sin hovedakse ca. 20° med uret fra retningen nord-syd mens nr. 131 har sin hovedakse vinkelret på samme retning; altså tæt på øst-vest. Således har nr. 131 en tagflade, der er orienteret mod syd, og kan derfor antages at være påvirket mere af direkte solopvarmning.

De estimerede parametre for års- og døgncyklus er sammenfattet i tabel 5.3.1, hvor også tagdækning og bygningernes hovedretning er angivet.

	Karensvej 7	Højbjergparken 1	Højbjergparken 6	Rundhøjparken 14	Bøgeskovparken 131	Bøgeskovparken 149
Tagdækning	Profilerede stålplader	Tegltag med undertag af tung banevare	Tegltag med undertag af tung banevare	Tegltag uden undertag	Bølgeeternit uden undertag	Bølgeeternit uden undertag
Orientering	Nord/syd	Nord/syd	Nord/syd	Vinkelbygning	Øst/vest +20°	Nord/syd +20°
Årsmiddel	74%	69%	70%	74%	68%	72%
Årsvariation	38%	26%	26%	38%	50%	51%
Døgnvariation	12%	4%	3%	7%	22%	14%

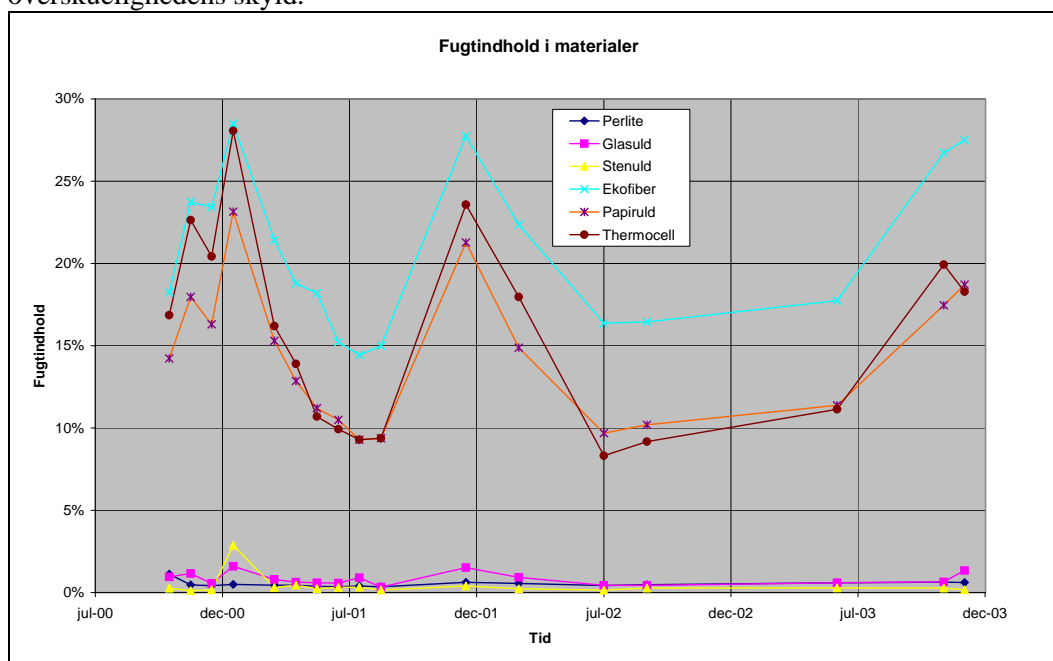
Tabel 5.3.1

5.4 FUGTINDHOLD I MATERIALER

Resultaterne af fugtbestemmelse i materialerne er sammenfattet i figur 5.4.1, hvor måleresultaterne for de enkelte produkter er plottet ind på en tidsakse.

Af hensyn til overskueligheden er resultaterne indsat som månedsvise middelværdier for de enkelte produkter. Det vil sige, at f.eks. i november 2000, hvorfra der foreligger 4 målinger af hvert produkt, er middelværdien af disse 4 målinger indført i diagrammet, mens der f.eks. fra november 2003 kun foreligger 1 måling af hvert produkt. For mange måneder foreligger ingen resultater, da fugtbestemmelse kun er sket i forbindelse med sætningsmålingerne.

Der er ikke i figur 5.4.1 skelnet mellem de forskellige målelokationer. De indtegnede kurver er dannet ved at indtegne rette linier mellem de beregnede månedsværdier og er kun medtaget for overskuelighedens skyld.



Figur 5.4.1 Fugtindhold i materialer

Ekofiber har et fugtindhold, der svinger mellem ca. 15% om sommeren og op til ca. 28% om vinteren. Papiruld og Thermocell svinger mellem ca. 10% og ca. 23%. Thermocell har dog omkring årsskiftet 2000 – 2001 et fugtniveau over 25%.

De tre uorganiske produkter har fugtniveauer under 3% gennem hele perioden, ved de fleste målinger under 1%.

Da fugtbestemmelserne er sket på de forudbestemte tidspunkter for sætningsmålingerne, haves intet kendskab til forløbet imellem måletidspunkterne, men kurverne antyder, at også fugtindholdet i de organiske produkter følger en årscyklus.

Med henblik på at omsætte de registrerede værdier for fugtindhold i de organiske produkter til ”håndterbare” størrelser, er fugtindholdet i de enkelte produkter søgt beskrevet ved en årscyklus på de enkelte lokationer.

Årscyklus for fugtindhold er søgt beskrevet ved sinusfunktioner af tiden. Disse sinusfunktioner er bestemt af parametrene middelværdi, amplitude og tidsforskydning i forhold til kalenderåret. Periodelængden er fastlagt til 365 døgn. Øvrige parametre er estimeret ved kurvetilpasning.

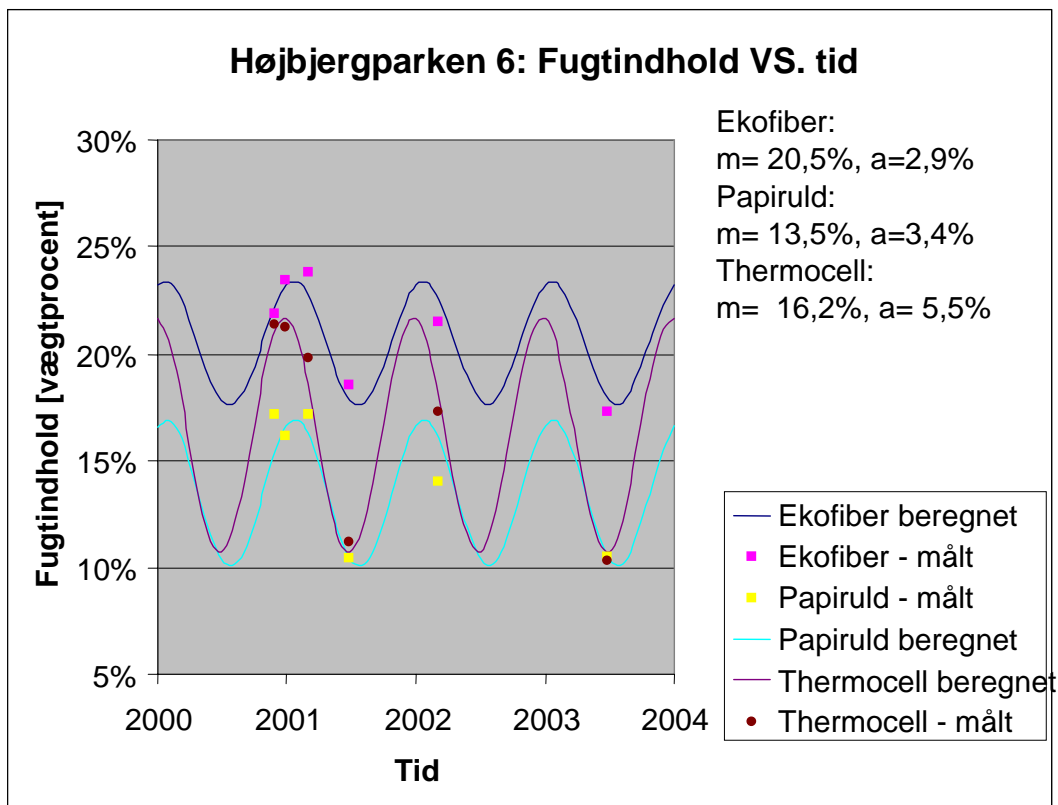
Da fugtoptagelsen i de 3 uorganiske produkter er meget beskedent, er årscyklus kun søgt estimeret for de 3 organiske produkter, Ekofiber, Papiruld og Thermocell.

På figur 5.4.2 og 5.4.3 er vist de estimerede sinusfunktioner til beskrivelse af fugtindholdet i de organiske produkter på henholdsvis Højbjergparken 6 og Bøgeskovparken 131.

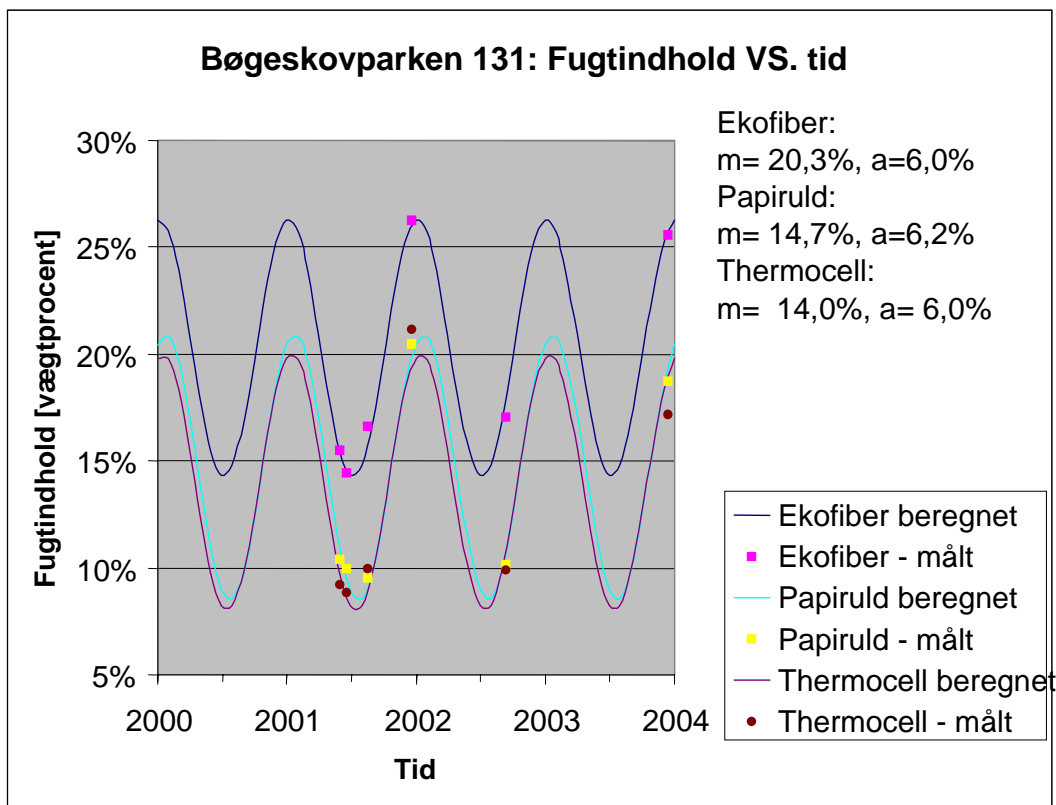
Tilsvarende kurver er ligeledes udarbejdet for de øvrige lokationer. Kurverne har typisk det fugtmæssige toppunkt i februar. I tabel 5.4.1 er resultaterne for alle 6 målelokationer sammenfattet.

Ved estimering af parametrene for årscyklus er der set bort fra resultater af fugtbestemmelse umiddelbart efter afslutning af installationerne (T_0), da det vurderes, at produkterne på dette tidspunkt endnu ikke kunne forudsættes at være i fugtmæssig ligevægt med omgivelserne.

Det skal bemærkes, at måleresultaterne ikke foreligger jævnt fordelt over måleperioden, da målinger af fugt i materialer er udført i forbindelse med sætningsmålinger. Endvidere bør ved sammenligning af de estimerede parametre for de forskellige lokationer tages i betragtning, at installationen på 3 af lokationerne er udført i efteråret, mens installation på de 3 øvrige lokationer er udført i foråret. Der er således tidsforskydninger imellem de måleresultater, som estimeringen af parametrene bygger på. Dette påvirker naturligvis nøjagtigheden, med hvilken parametrene er estimeret.



Figur 5.4.2: Estimerede sinusfunktioner til beskrivelse af årscyklus for fugtindhold i organiske materialer på lokationen Højbjergparken 6. Middelværdien "m" er estimeret for hvert materiale. Variationen mellem sommer og vinter er 2 gange amplituden "a".



Figur 5.4. Estimerede sinusfunktioner til beskrivelse af årscyklus for fugtindhold i organiske materialer på lokationen Bøgeskovparken 131. Middelværdien "m" er estimeret for hvert materiale. Variationen mellem sommer og vinter er 2 gange amplituden "a".

Ved sammenligning af kurverne for Højbjergparken 6 og Bøgeskovparken 131 ses, at for Ekofiber og Papiruld er svingningerne væsentligt større i Bøgeskovparken 131, samt at Ekofiber har et konsekvent højere fugtindhold end de 2 øvrige organiske produkter.

	Karensvej 7	Højbjergparken 1	Højbjergparken 6	Rundhøjparken 14	Bøgeskovparken 131	Bøgeskovparken 149
Ekofiber						
Årsmiddel	24%	21%	21%	23%	20%	21%
Årsvariation	7%	7%	6%	14%	12%	19%
Papiruld						
Årsmiddel	18%	14%	14%	15%	15%	16%
Årsvariation	9%	7%	7%	12%	12%	17%
Thermocell						
Årsmiddel	20%	16%	14%	17%	14%	15%
Årsvariation	14%	10%	11%	19%	12%	16%
Middel (organiske)						
Årsmiddel	21%	17%	16%	18%	16%	17%
Årsvariation	10%	8%	8%	15%	12%	17%
Klima i loftrum						
Årsmiddel, % RH	74%	69%	70%	74%	68%	72%
Årsvariation, % RH	38%	26%	26%	38%	50%	51%

Tabel 5.4.1. Estimerede værdier for årsmiddel og årsvariation i fugtindhold i organiske produkter på de 6 målelokationer. Til sammenligning er angivet estimeret årsmiddel og årsvariation i luftfugtighed for de enkelte lokationer.

6 VURDERING AF RESULTATER

6.1 SAMMENHÆNG MELLEM SÆTNING OG ØVRIGE UNDERSØGTE PARAMETRE

6.1.1 Vibrationernes indflydelse på sætning

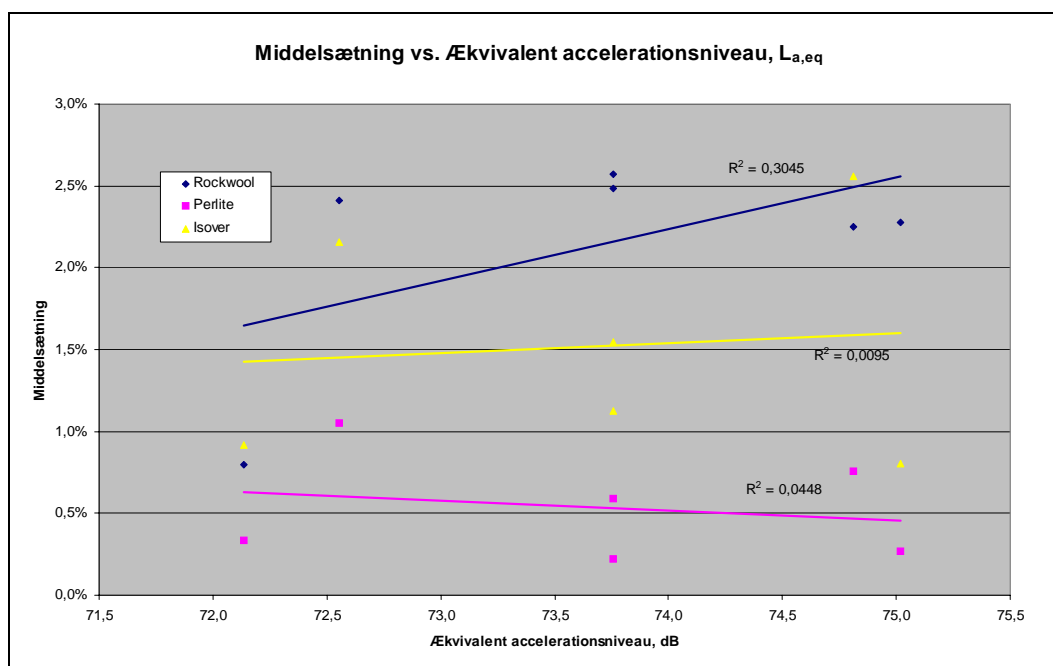
Det kan umiddelbart iagttages, at vibrationer under nogle omstændigheder kan medføre sætninger. I flere prøvningsmetoder anvendes vibrationer og rystelser til at generere sætninger, hvis størrelse bestemmes ved prøvningen.

I det følgende undersøges, om der i resultaterne fra nærværende undersøgelse kan findes støtte for at antage, at vibrationer i praksis har væsentlig indflydelse på sætningerne størrelse.

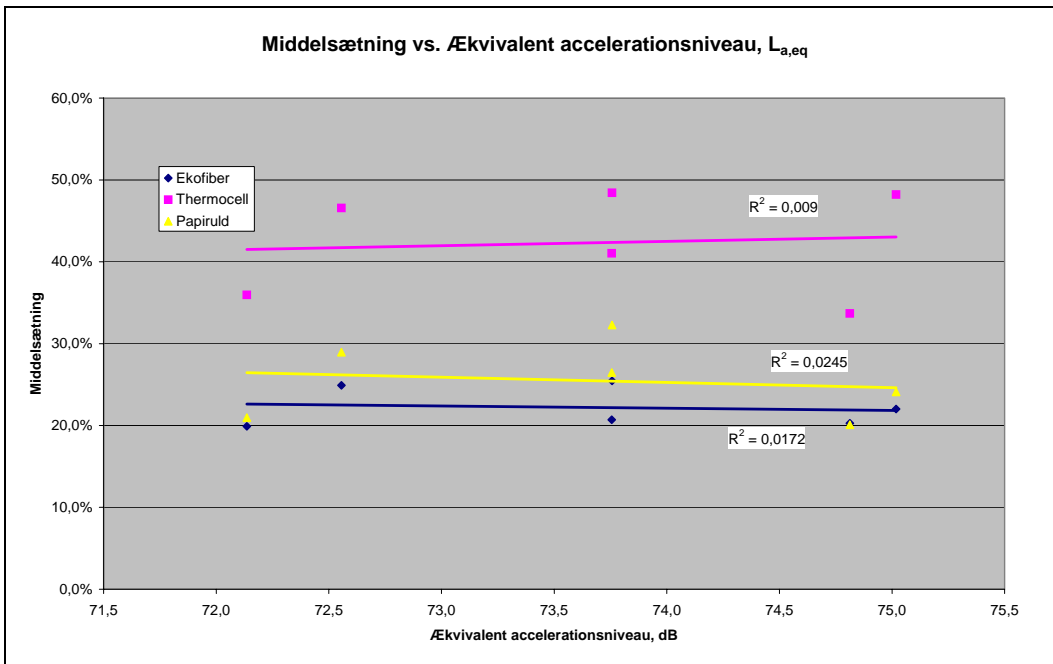
I figur 6.1.1. til 6.1.4 er vist korrelationsdiagrammer for sammenhæng mellem vibrationsparametre og registreret sætning. Kurver er indtegnet for de enkelte produkter.

Som mål for sætningens størrelse er anvendt korrigerede værdier for sætning efter 32 måneder, jf. tabel 5.1.2.

I figur 6.1.1 og 6.1.2 er vist korrelationsdiagram for henholdsvis de uorganiske og de organiske produkter: Som vibrationsparameter er anvendt ækvivalent accelerationsniveau gældende for både eftermiddag og aften (logaritmsk middel af værdier i tabel 5.2.1)



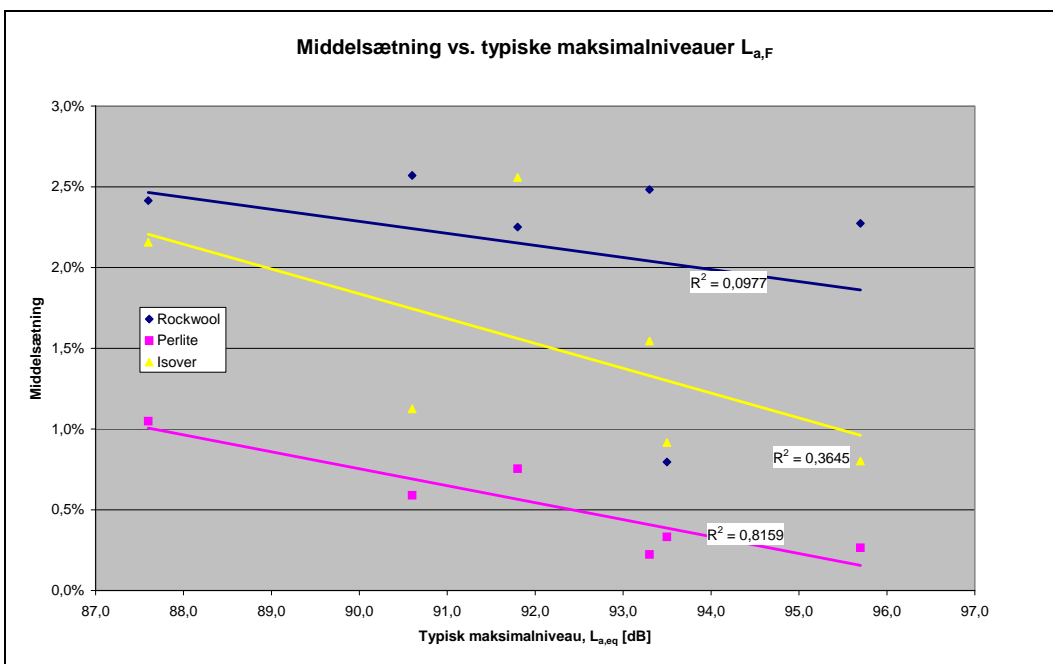
Figur 6.1.1 Korrelationsdiagram, Middelsætning versus Ækvivalent accelerationsniveau, L_{a,eq} for Rockwool, Isover og Perlite. Der fremgår ikke nogen klar korrelation, der kan støtte, at vibrationerne skulle have væsentlig indflydelse på sætningen.



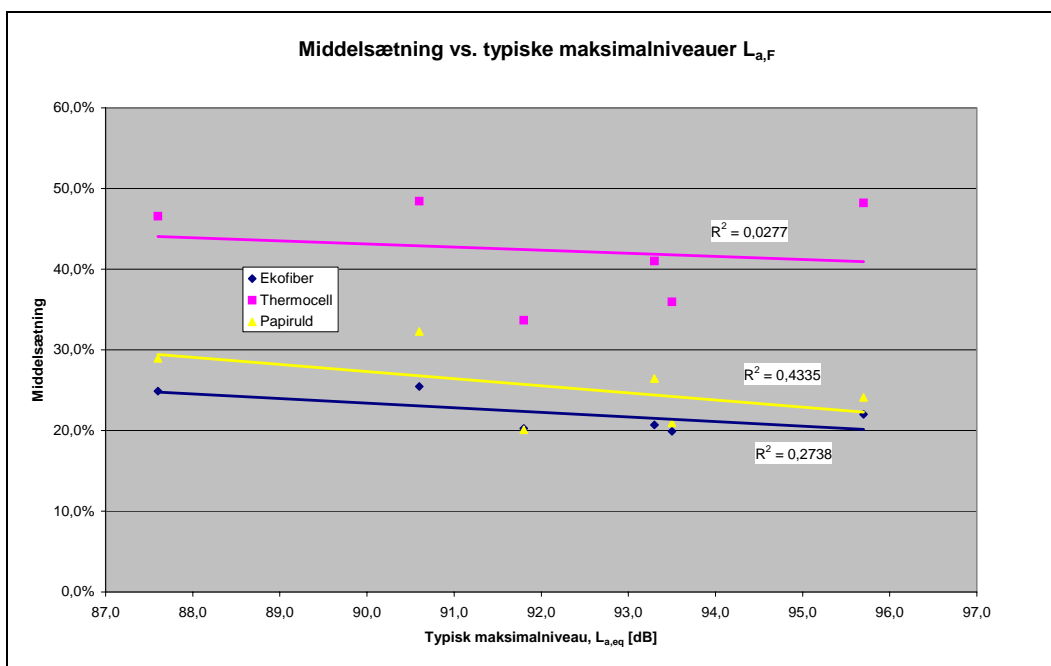
Figur 6.1.2. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus Ækvivalent accelerationsniveau, $L_{a,eq}$ for Ekofiber, Papiruld og Thermocell. Der fremgår ikke nogen klar korrelation.

Af figur 6.1.1 og 6.1.2 fremgår ikke nogen klare korrelationer, der kan støtte en antagelse om væsentlig indflydelse af vibrationerne.

I figur 6.1.3 og 6.1.4 er vist korrelationsdiagram for henholdsvis de uorganiske og de organiske produkter: Som vibrationsparameter er her anvendt typiske maksimalniveauer gældende for både eftermiddag og aften (maksimalværdier fra tabel 5.2.2).



Figur 6.1.3. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus typiske maksimalniveauer, $L_{a,F}$ for Rockwool, Isover og Perlite



Figur 6.1.4. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus typiske maksimalniveauer, $L_{a,F}$ for Ekofiber, Papiruld og Thermocell. Der fremgår ikke nogen klar korrelation.

Figur 6.1.3 antyder en negativ sammenhæng mellem maksimalniveau og sætning. Korrelationskoefficienterne, R^2 , er dog lave for Isover og Rockwool, mens der for Perlite er en korrelationskoefficient på ca. 0,82.

Denne tilsyneladende sammenhæng mellem højt vibrationsniveau og ringe sætning hos Perlite vurderes dog at bero på andre forhold end de i diagrammet sammenholdte parametre. Under alle omstændigheder er måleusikkerheden stor i forhold til de sætninger, der er registreret for Perlite.

Figur 6.1.4 viser ikke nogen klar korrelation mellem maksimalniveau og sætning for de organiske produkter.

I vurdering af vibrationernes indflydelse på sætningens størrelse skal også indgå sammenligning af resultaterne fra vibrationsisolerede kasser og ikke-vibrationsisolerede kasser, jf. tabel 5.1.3.

Tabel 5.1.3 viser ikke noget klart mønster med hensyn til, om sætningen er større eller mindre i de vibrationsisolerede kasser. For nogle produkter, f.eks. Isover, har der i gennemsnit været større sætning i de vibrationsisolerede kasser, mens det for Rockwool forholder sig omvendt.

Sammenligning mellem vibrationsisolerede kasser og ikke-vibrationsisolerede kasser giver således ikke støtte til, at vibrationerne i praksis påvirker sætningen væsentligt.

Sammenfattende vurderes det, at der ikke i undersøgelsens resultater kan findes støtte for at antage, at vibrationer har nogen væsentlig indflydelse på sætningens størrelse.

Dog skal det bemærkes, at selv om det ved udvælgelse af målelokationerne er tilstræbt, at vibrationspåvirkningen skulle variere væsentligt, er der ved måling fundet relativt begrænset spredning i de ækvivalente accelerationsniveauer. De registrerede niveauer vil dog være dækkende for langt den største del af de bygninger, der anvendes til bolig og let erhverv.

Det kan dog ikke på grundlag af denne undersøgelse udelukkes, at meget kraftige vibrationsniveauer – i stærkt belastede bygninger - vil kunne give øget sætning.

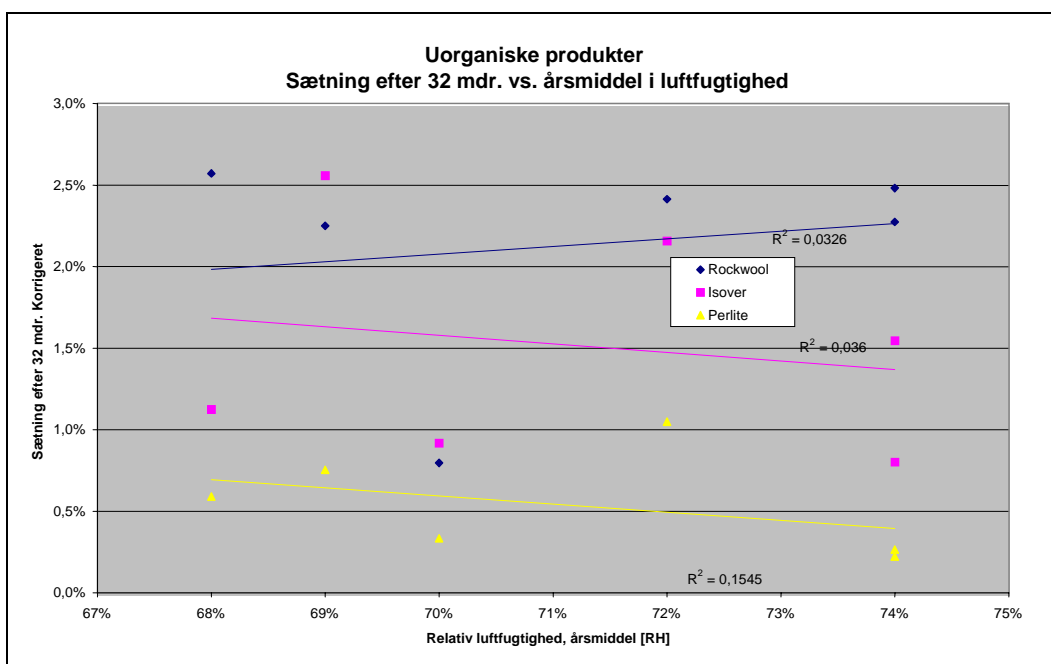
6.1.2 Klimaets indflydelse på sætningen

I det følgende undersøges, om der i undersøgelsens resultater kan findes støtte til at antage, at klimaet i loftrummet har indflydelse på sætningens størrelse.

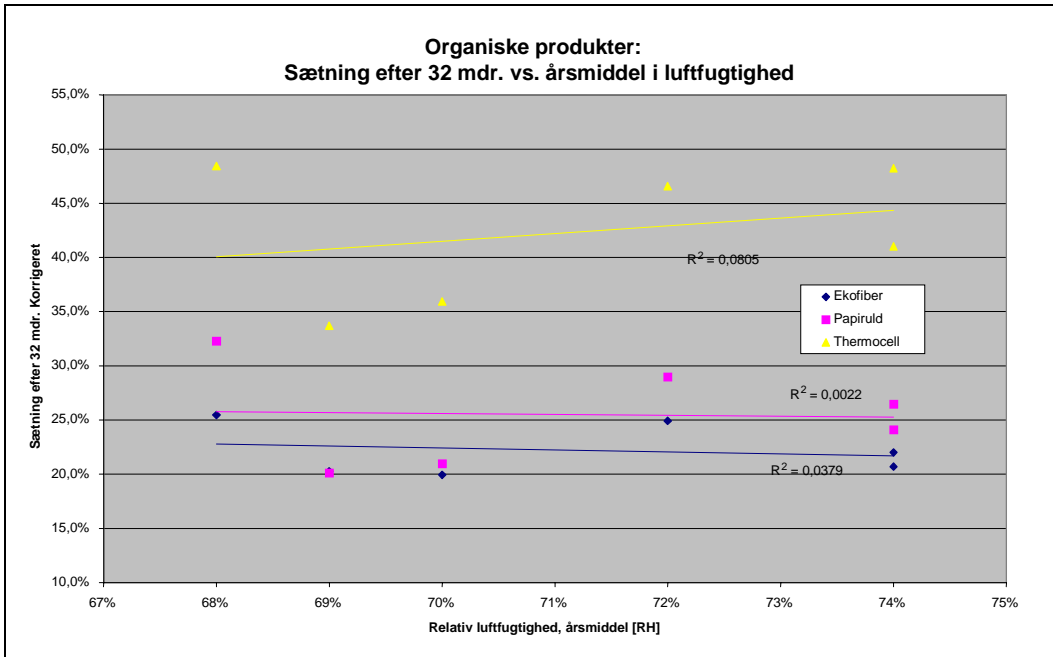
I figur 6.1.5. til 6.1.10 er vist korrelationsdiagrammer for sammenhæng mellem parametre til beskrivelse af klimaet på målelokationerne og registreret sætning. Kurver er indtegnet som rette linier for de enkelte produkter.

Som mål for sætningens størrelse er anvendt korrigerede værdier for sætning efter 32 måneder, jf. tabel 5.1.2.

I figur 6.1.5 og 6.1.6 er vist korrelationsdiagram for henholdsvis de uorganiske og de organiske produkter: Som klimaparameter er anvendt *årsmiddel* for relativ luftfugtighed, jf. tabel 5.3.1.



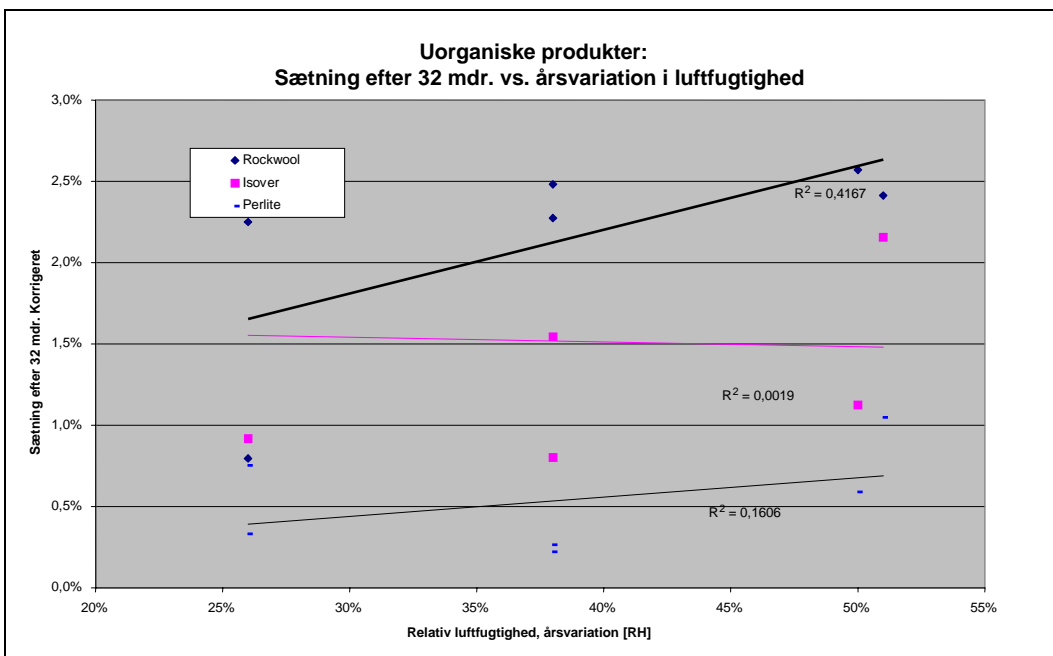
Figur 6.1.5. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus estimeret årsmiddel for relativ luftfugtighed, Rockwool, Isover og Perlite. Der fremgår ikke nogen klar korrelation.



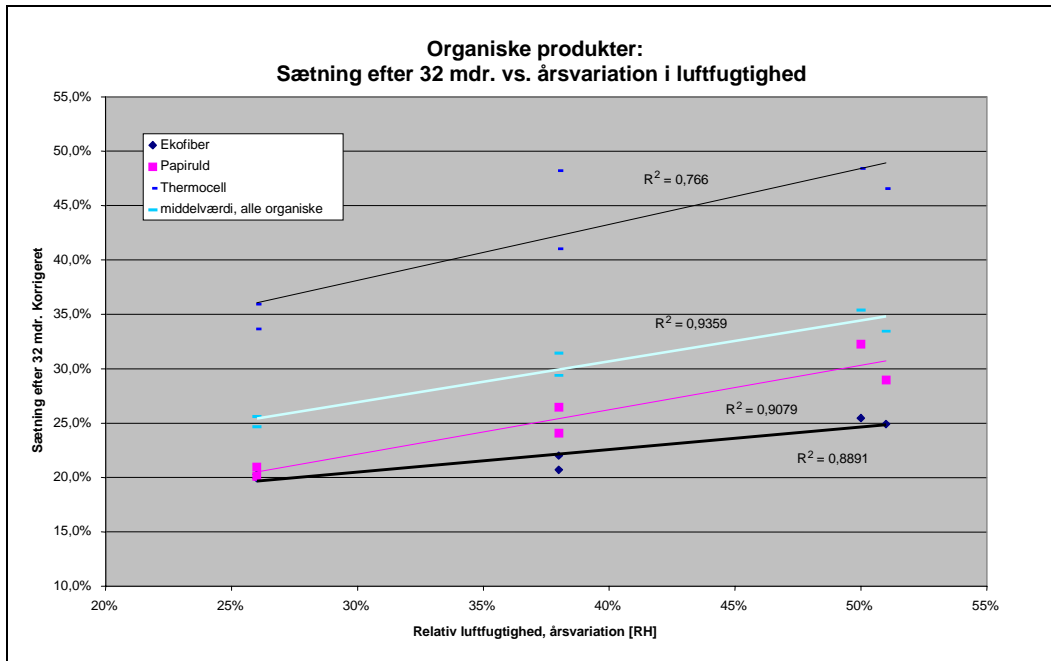
Figur 6.1.6. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus estimeret årsmiddel for relativ luftfugtighed, Ekofiber, Papiruld og Thermocell. Der fremgår ikke nogen klar korrelation.

Der fremgår ikke nogen klar sammenhæng mellem estimeret årsmiddel for relativ luftfugtighed – hverken for de uorganiske eller de organiske produkter.

I figur 6.1.7 og 6.1.8 er vist korrelationsdiagram for henholdsvis de uorganiske og de organiske produkter: Som klimaparameter er anvendt årsvariation i relativ luftfugtighed, jf. tabel 5.3.1.



Figur 6.1.7. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus estimeret årsvariation for relativ luftfugtighed, Rockwool, Isover og Perlite. Der fremgår ikke nogen klar korrelation.

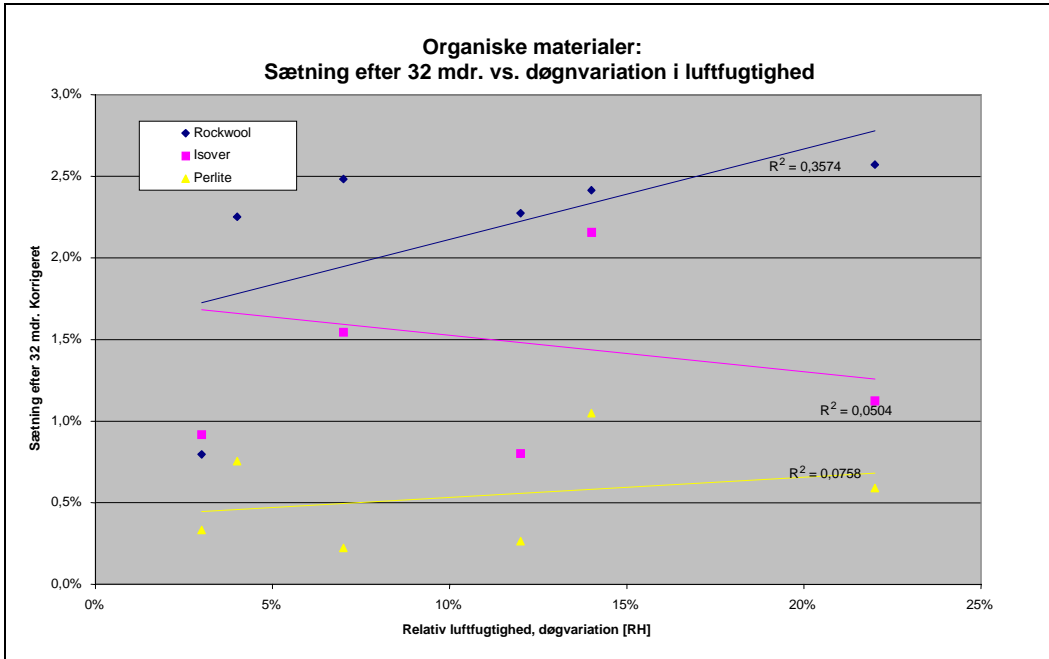


Figur 6.1.8. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus estimeret årsvariation for relativ luftfugtighed, Ekofiber, Papiruld og Thermocell. Der fremgår tydelig korrelation: Jo højere estimeret årsvariation jo større sætning.

For de tre uorganiske produkter ses ikke nogen klar korrelation mellem den estimerede årsvariation i relativ luftfugtighed og sætning, jf. figur 6.1.7. For Rockwool ses tegn på, at der kunne være en sammenhæng, men korrelationskoefficienten er kun ca. 0,4. For Isover og Perlite ses ingen sammenhæng.

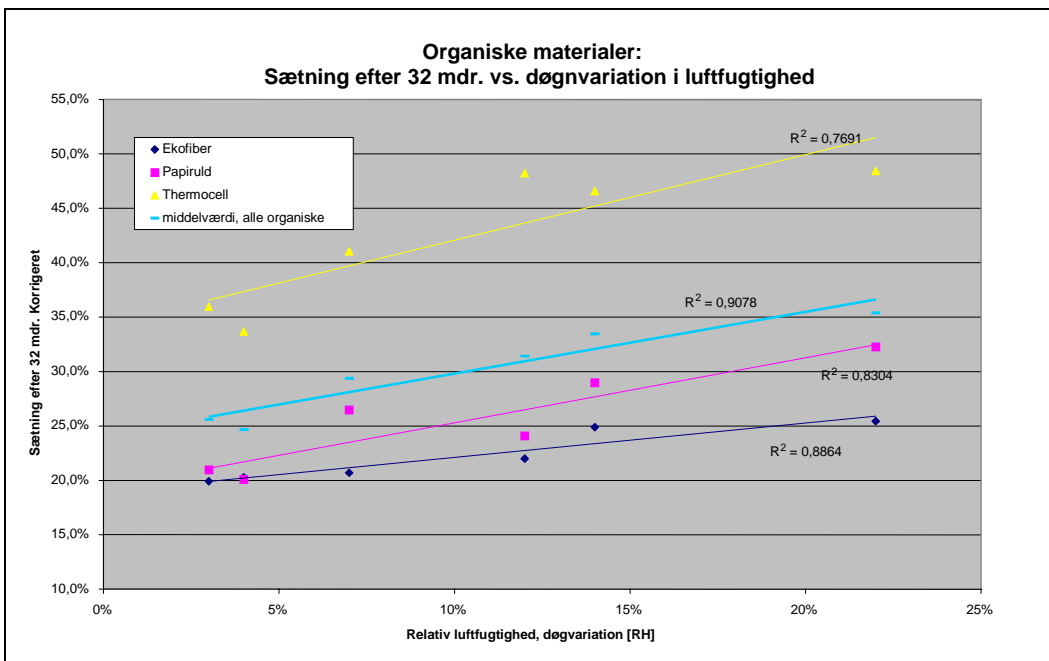
For de tre organiske produkter ses en noget klarere relation mellem den estimerede årsvariation i relativ luftfugtighed og sætning, jf. figur 6.1.8. Mindst tydelig er sammenhængen for Ekofiber, med en korrelationskoefficient på 0,77, mens de tilsvarende korrelationskoefficienter for Papiruld og Thermocell begge er ca. 0,9.

I figur 6.1.9 og 6.1.10 er vist korrelationsdiagram for henholdsvis de uorganiske og de organiske produkter: Som klimaparameter er her anvendt *døgnvariation* i relativ luftfugtighed, jf. tabel 5.3.1.



Figur 6.1.9. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus estimeret døgnavariation for relativ luftfugtighed, Rockwool, Isover og Perlite. Der fremgår ikke nogen klar korrelation.

Af figur 6.1.9 fremgår ikke nogen klar sammenhæng mellem klimaet udtrykt ved estimeret døgnavariation og sætningen i de uorganiske produkter. Mønsteret svarer stort set til figur 6.1.7.



Figur 6.1.10. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus estimeret døgnavariation for relativ luftfugtighed, Ekofiber, Papiruld og Thermocell. Der fremgår tydelig korrelation: Jo højere estimeret døgnavariation jo større sætning.

Figur 6.1.10 viser en klar korrelation mellem estimeret døgnavariation og sætning i de 3 organiske produkter. Mønsteret svarer stort set til det, der fremgår af figur 6.1.8, hvor den estimerede årsvariation optræder som klimaparameter.

Sammenfattende vurderes det, at svingninger i klimaet i loftrumene har en tydelig indflydelse på sætningens størrelse hos de organiske produkter. For de uorganiske produkter er der ikke fundet nogen sammenhæng mellem variation i klima og sætningens størrelse.

Figur 6.1.8 og 6.1.10 viser begge, at størrelsen af variationerne i relativ luftfugtighed har en tydelig forbindelse med sætningens størrelse.

Figur 6.1.5 og 6.1.6 tyder på, at det gennemsnitlige niveau for relativ luftfugtighed ikke har nogen særlig indflydelse på sætningen; hverken i de organiske eller de uorganiske produkter.

I denne undersøgelse er variationerne i klimaet på de undersøgte målelokationer søgt karakteriseret ved de i tabel 5.3.1 angivne parametre for relativ luftfugtighed, årsmiddel, årsvariation og døgnvariation. Det er ikke til at pege på, hvilken af de 2 valgte parametre for variation i klimaet, årsvariation eller døgnvariation, der giver den bedste korrelation til sætningen i de organiske produkter. I nogen grad vil de 2 parametre nok også begge kunne betragtes som udtryk for klimatisk stabilitet, som også vil kunne udtrykkes med andre parametre. F.eks. fremgår det tydeligt ved sammenligning af figur 5.3.1 og figur 5.3.2, at de målelokationer, hvor der er store udsving i relativ luftfugtighed, også udviser store udsving i temperatur.

Det er derfor antageligt, at der også vil kunne findes sammenhæng mellem sætning og udsving i temperatur.

Som det fremgår af afsnit 5.3 er de største variationer i relativ luftfugtighed observeret i de 2 lokationer i Bøgeskovparken, hvor tagdækningen er sort eternit uden undertag, mens de mindste variationer er observeret i Højbjergparken, hvor tagdækningen er tegl med undertag.

Dette peger i retning af, at der i loftrum under lette tagdækninger er ringere klimatisk stabilitet end i loftrum under tunge tagdækninger med undertag, og at der derfor må forventes større sætninger i organiske produkter under lette tagdækninger end under tunge tagdækninger.

Alle målelokationer vurderes at repræsentere normal, god dansk byggeskik, og der er ikke på nogen af stederne registreret tegn på skadelige udviklinger i konstruktionerne. Dog er det på Karensvej 7 registreret i forbindelse med installationen, at en faldstammeudluftning var defekt, og at der af denne vej blev tilført loftrummet en vis mængde fugtig (og ildelugtende) luft. Faldstammeudluftningen er siden set at være repareret.

Som anført i afsnit 3.4 er målekasserne opstillet på den kolde side af varmeisoleringen i lofterne. Det må derfor antages, at de klimatiske svingninger i målekasserne har været større, end de ville have været, såfremt målekasserne havde været indbygget i niveau med varmeisoleringen i lofterne, således at der havde været en varm og en kold side på målekasserne. De sætningsgivende påvirkninger af de organiske produkter må derfor vurderes at have været større i denne undersøgelse, end de normalt vil være i praksis, hvor den varme side af isoleringen normalt vil være tæt på stuetemperatur året rundt.

Dog vil mange bygninger erfaringsmæssigt kunne henstå uopvarmet i perioder i forbindelse med byggearbejder, fraflytning, forsyningssvigt m.v., hvor de klimatiske svingninger vil kunne være større end normalt. I sommer- og feriehus, der normalt henstår uopvarmet, og som ind imellem opvarmes i kortere perioder, vil de klimatiske svingninger formentlig kunne være større end ved denne undersøgelse.

6.1.3 Indflydelse af fugtindhold i materialerne

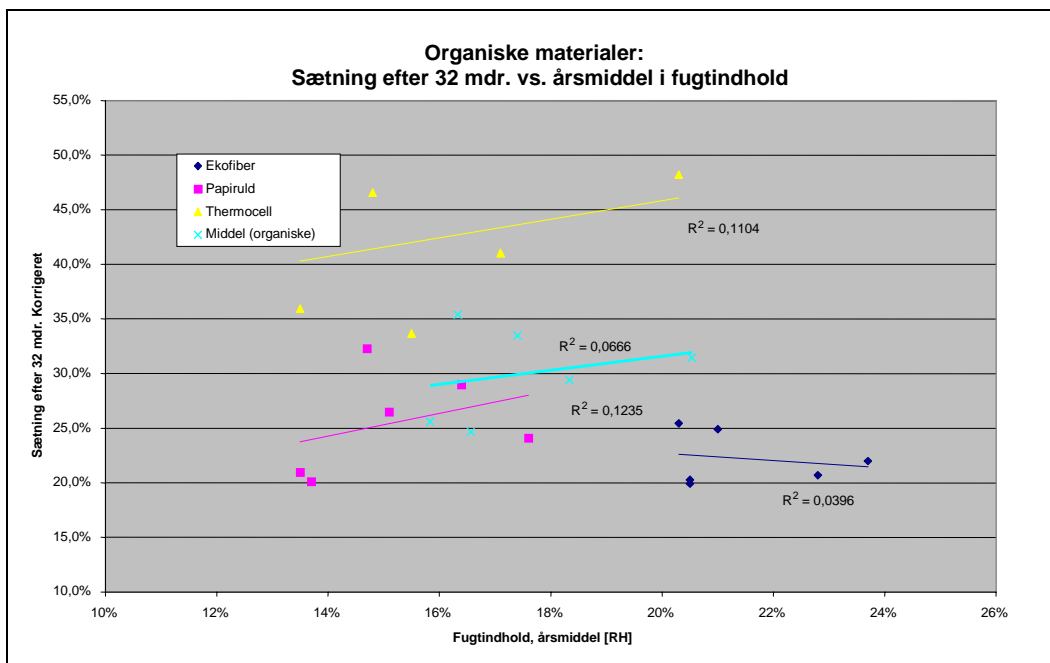
Det er ovenfor vurderet, at variationer i klimaet har en tydelig indflydelse på sætningens størrelse hos de organiske produkter. Samtidigt er det vurderet, at der ikke er nogen klar korrelation mellem det generelle fugtniveau (estimeret årsmiddel for relativ luftfugtighed) og sætningens størrelse.

Det må antages, at måden på hvilken svingninger i klimaet påvirker sætningens størrelse er, at svingninger i klimaet medfører svingninger i fugtindholdet i de organiske produkter.

I det følgende behandles, hvorvidt resultaterne af fugtbestemmelse i de undersøgte produkter kan støtte denne antagelse.

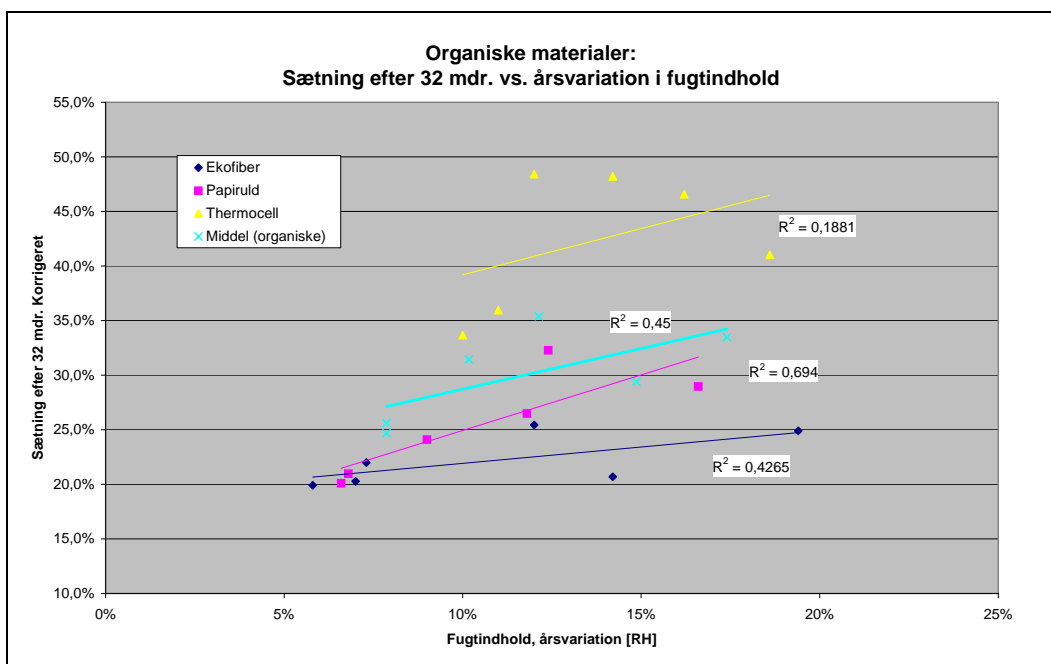
På figur 6.1.11 er vist et korrelationsdiagram til belysning af sammenhæng mellem de estimerede værdier for *årsmiddel* i fugtindhold i de organiske produkter, jf. tabel 5.4.1, og den registrerede sætning. Som sætningsparameter er anvendt den korrigerede sætning efter 32 måneder, jf. tabel 5.1.2.

Figur 6.1.11 viser ingen klar korrelation mellem det gennemsnitlige fugtniveau og størrelsen af den registrerede sætning. Dette stemmer godt overens med vurderingen af relationen mellem *årsmiddel* i relativ luftfugtighed og sætning, jf. figur 6.1.6.



Figur 6.1.11. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus estimeret årsmiddel for fugtindhold i produkterne Ekofiber, Papiruld og Thermocell. Der fremgår ingen klar korrelation.

På figur 6.1.12 er vist et korrelationsdiagram til belysning af sammenhæng mellem de estimerede *årsvariationer* i fugtindhold i de organiske produkter, jf. tabel 5.4.1, og den registrerede sætning. Som sætningsparameter er anvendt den korrigerede sætning efter 32 måneder, jf. tabel 5.1.2.



Figur 6.1.12. Korrelationsdiagram, Middelsætning versus estimeret årsvariation i fugtindhold i produkterne Ekofiber, Papiruld og Thermocell. Der antydes korrelation: Jo højere estimeret årsvariation jo større sætning.

Figur 6.1.12 peger i retning af, at der er forbindelse mellem de estimerede årsvariationer i fugtindhold og sætningerne størrelse hos de organiske produkter. Dog er korrelationerne noget mere usikre end de tilsvarende korrelationer mellem estimerede årsvariationer i relativ luftfugtighed og sætning, jf. figur 6.1.8.

At korrelationerne, jf. figur 6.1.12, er mere usikre antages at skyldes den usikkerhed der knytter sig til estimeringen af årsvariation i fugtindhold, da de estimerede årsvariationer baseres på et beskedent antal målinger, der ikke har været jævnt fordelt over måleperioden, jf. afsnit 5.4.

Det vurderes derfor, at måleresultaterne for fugtindhold i materialerne ikke har samme egnethed som måleresultaterne for klima i loftrum med hensyn at belyse, hvilke forhold der har indflydelse på sætningen.

6.2 SÆTNINGENS TIDSLIGE FORLØB

Betragtes figur 5.1.2 til 5.1.7, hvor sætningsforløbene for hvert enkelt produkt er optegnet, ses som anført i afsnit 5.1 forskellige sætningsforløb.

De uorganiske produkter, jf. figur 5.1.2 til 5.1.4, viser et forløb med små sætninger, hvor måleusikkerhederne må antages at spille en vis rolle. Fra ca. 8 måneder efter installation ses dog en relativt stabil tilstand for alle 3 uorganiske produkters vedkommende.

Betragtes de 3 organiske produkter, jf. figur 5.1.5 til 5.1.7, ses væsentligt større sætninger, der sker i temmelig abrupte forløb. Betragtes figur 5.3.3 og 5.3.4, hvor sætningsforløbene for de 3 organiske produkter er indtegnet på samme diagram som de registrerede forløb af relative luftfugtighed på 2 af målelokationerne, ses det, at sætning i de organiske produkter især sker i forbindelse med udtørring. Dette stemmer godt overens med de sammenhænge, der er fundet, jf. afsnit 6.1.2 og 6.1.3.

Som nævnt under afsnit 4.1 er 3 installationer udført i efteråret 2000, mens de 3 øvrige er udført i foråret 2001. Der er således opnået en tidsmæssig forskydning, der resulterer i, at når man betragter middelværdier af alle 6 lokationer fås mere jævne forløb, jf. figur 5.1.1.

Disse mere jævne forløb er gjort til genstand for en fremskrivning af sætningsudviklingen i afsnit 6.2.1.

6.2.1 Fremskrivning

På figur 5.1.1 ses, at den gennemsnitlige sætning for alle produkter har et nogenlunde jævnt forløb fra og med 1 måned fra installation. Den første måned efter installation er sætningen i de 3 organiske produkter forløbet med væsentligt større hastighed end senere. Det peger i retning af, at den endelige sætning dels består en *korttidssætning*, der antages at indtræde indenfor den første måned efter installation, og dels af en *langtidssætning*, der strækker sig over længere tid.

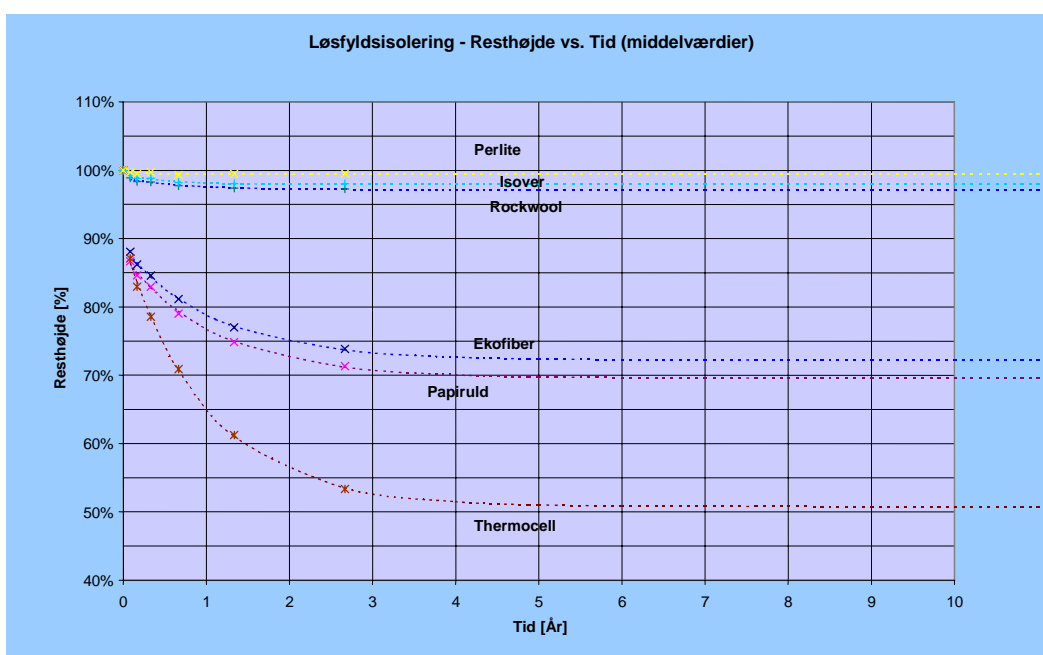
Korttidssætningens forløb søges ikke her beskrevet yderligere, end at den antages ophørt indenfor 1 måned efter installation.

Langtidssætningen antages at aftage med tiden, således at isoleringstykkelsen efterhånden vil nærme sig et stabilt niveau.

Hvis sætningen består af disse 2 komponenter, vil isoleringstykkelsen, $H(t)$, til et givet tidspunkt senere end 1 måned efter installation kunne beskrives ved en funktion af tiden med følgende formeludtryk:

$$H(t) = H_0 - S_{\text{kort}} - S_{\text{lang}} \cdot e^{-k_t \cdot t}, \text{ hvor}$$

H_0 er den oprindelige tykkelse efter installation, S_{kort} er korttidssætningen, S_{lang} er langtidssætningen, k_t er en tidskonstant, og t er tiden fra installation. Højde og sætning kan enten udtrykkes i mm eller som relative størrelser, hvor H_0 sættes til 100%.



Figur 6.2.1. Fremskrivning af sætningsforløb for de enkelte produkter. Til grund for fremskrivningen er lagt ukorrigerede værdier for resthøjde fra 1 til 32 måneder fra installation.

På figur 6.2.1 er indtegnet kurver tilpasset de målte resthøjder for de enkelte produkter. Tilpasningen er gjort til ukorrigerede værdier for sætning fra 1 til 32 måneder efter installation, da der ikke kendes noget tidligt forløb med korrigerede værdier.

De på grundlag af ukorrigerede værdier bestemte andele af forventet endelig sætning, der er overstået efter 32 måneder, antages at kunne overføres uændret til beregning på grundlag af korrigerede værdier. Kurverne viser god overensstemmelse med de målte værdier. I tabel 6.2.1 er angivet de estimerede parametre for sætningsfunktionen for de enkelte produkter.

	Perlite	Isover	Rockwool	Ekofiber	Papiruld	Thermo-cell
Korttidssætning, S_{kort}	0,2 %	0,7 %	1,2 %	11,3 %	12,5 %	10,5 %
Langtidssætning, S_{lang}	0,3 %	1,4 %	1,7 %	16,5 %	17,9 %	38,8 %
Endelig sætning	0,5 %	2,1 %	2,9 %	27,8 %	30,4 %	49,3 %
Tidskonstant, k_t [år^{-1}]	5,26	1,76	1,25	0,90	0,90	0,99
Andel af endelig sætning overstået efter 32 måneder	100 %	99 %	98 %	95 %	95 %	94 %

Tabel 6.2.1. Parametre for estimerede sætningsfunktioner for de enkelte produkter

Såfremt sætningen antages at følge den ovenfor beskrevne tidsmæssige udvikling med de i tabel 6.2.1 anførte parametre, vil sætningen efter 32 måneder udgøre 94-95% af den endelige sætning for de 3 organiske produkter og 98-100% for de 3 uorganiske produkter.

Således kan sætningen for de 3 uorganiske produkter i praksis anses for ophørt efter omtrent 1 år, mens de 3 organiske først ville kunne betragtes som stabile efter ca. 5 år.

Det bør dog understreges, at ovenstående kun er baseret på middelværdier, og at forløbene på de enkelte lokationer afviger fra disse middelværdier.

6.3 RELATION TIL PRAKSIS

6.3.1 Overtykkelse til kompensation for estimerede endelige sætninger

I afsnit 6.2 er skønnet om det tidlige forløb af sætningen for de forskellige produkter, og det er ud fra en fremskrivning for hvert enkelt produkt beregnet, hvor stor en del af den forventede endelige sætning, der er overstået efter 32 måneder.

Da fremskrivningen er foretaget på grundlag af ukorrigerede værdier for sætning, kan kurverne på figur 6.2.1 ikke umiddelbart anvendes til fastlæggelse af overtykkelser. Det vil være nødvendigt at basere overtykkelserne på korrigerede sætningsværdier.

Såfremt man lægger det tidlige forløb estimeret i afsnit 6.2 til grund, er det muligt at beregne forventede endelige sætninger for de enkelte produkter ved at dividere de korrigerede værdier for sætning anført i tabel 5.3.1 med den andel af den forventede endelige sætning, der, jf. tabel 6.2.1, er overstået efter 32 måneder.

$$S_{\infty} = \frac{S_{\text{korr}}}{\text{andel af endelig sætning overstået efter 32 måneder}}$$

Den overtykkelse, der vil være nødvendig for at kompensere for den forventede endelige sætning, kan beregnes således:

$$\text{Overtykkelse} = \frac{1}{1 - S_{\infty}} - 1$$

Det er ved beregning af overtykkelse forudsat, at udlægning i overtykkelse ikke i sig selv vil medføre øget sætning.

I tabel 6.3.1 er anført forventede endelige sætninger og tilsvarende nødvendige overtykkelser baseret på korrigerede middelværdier for sætning efter 32 måneder, jf. tabel 5.1.2.

De her beregnede nødvendige overtykkelser relaterer sig udelukkende til de estimerede endelige sætninger under undersøgelsens installationsforhold, og skal således ikke opfattes som generelt anvendelige designværdier.

	Perlite	Isover	Rockwool	Ekofiber	Papiruld	Thermocell
Registreret sætning (korrigeret middelværdi)	0,5%	1,5%	2,1%	22,2%	25,5%	42,3%
Andel af forventet endelig sætning overstået efter 32 måneder	100%	99%	98%	95%	95%	94%
Estimeret endelig sætning (middelværdi)	0,5%	1,5%	2,2%	23,4%	26,8%	45,0%
Nødvendig overtykkelse (afrundet)	1%	2%	2%	31%	37%	82%

Tabel 6.3.1. Overtykkelser baseret på fremskrivning af korrigerede middelværdier for sætning efter 32 måneder

Sætningerne varierer, jf. tabel 5.3.1, en del mellem de forskellige målelokationer, og i flere tilfælde er der efter 32 måneder registreret sætninger, der overstiger de estimerede endelige sætninger.

6.3.2 Perspektivering i forhold til praksis

I det følgende diskuteres og perspektiveres hvilke konklusioner, der kan drages på baggrund af undersøgelsen, samt hvilke spørgsmål undersøgelsens resultater i øvrigt rejser.

6.3.2.1 Undersøgelsens afvigelser fra praksis

Ved relatering af nærværende undersøgelses resultater til praksis, må afvigelser fra normale praktiske forhold tages i betragtning.

De i afsnit 6.2 beregnede endelige sætninger og tilsvarende nødvendige overtykkelser er baseret på de omstændigheder, de forskellige produkter har været indbygget under i undersøgelsen. Disse omstændigheder afviger på flere punkter fra almindelige, praktiske forhold; især hvad angår følgende 3 forhold:

- 1) Fremgangsmåden ved installation, der af praktiske hensyn afviger fra normal praksis, jf. afsnit 3.5.
- 2) Målekassernes indbygning på den "kolde side" af varmeisoleringen i lofterne, jf. afsnit 3.4.
- 3) Afvigelser fra normeret / oplyst densitet.

Ad. 1) Fremgangsmåden ved installation

Fremgangsmåden ved installation, er som beskrevet under afsnit 3.5, udviklet fordi den normale installationsmetode af praktiske årsager ikke var anvendelig i nærværende undersøgelse.

Ved den anvendte installationsmetode er opnået densiteter svarende til de densiteter, der normalt anvendes i praksis. Endvidere er strukturen af det installerede materiale visuelt bedømt at svare til,

hvad der opnås ved normal praksis. Det er derfor antaget, at de installerede produkter svarer til, hvad der opnås i praksis. Det kan naturligvis ikke udelukkes med bestemthed, at installationsmetoden kan have påvirket resultatet, men der er ikke fundet anledning til at antage, at den anvendte installationsmetode skulle have påvirket sætningernes størrelse i hverken den ene eller den anden retning.

Ad 2) Målekassernes indbygning på den "kolde side" af varmeisoleringen

Som beskrevet under punkt 6.1.2 medfører placering af målekasserne på den kolde side øgede klimatiske svingninger i de installerede materialer, der jf. afsnit 6.1.2, må antages at medføre øgede sætninger i de organiske produkter.

Hvor stor indflydelse dette forhold har haft på de observerede sætninger, giver undersøgelsens resultater i sig selv ikke mulighed for at kvantificere. Dette forhold, kunne evt. belyses ved sammenlignende måling af sætning i materialer installeret med og uden temperaturgradient. Sådanne sammenlignende målinger ville dog falde udenfor rammerne af nærværende undersøgelse.

Det vurderes, jf. ovenstående, at overtykkelserne i tabel 6.3.1 normalt vil være på den sikre side for de organiske produkters vedkommende, da de klimatiske svingninger i denne undersøgelse vurderes at have været større, end de normalt forekommer i praksis, jf. afsnit 6.1.2.

Forholdene i denne undersøgelse vil dog ikke i alle tilfælde afvige stærkt fra praktiske forhold. I periodisk opvarmede bygninger som f.eks. sommer- og fritidshuse vil der normalt ikke være nogen temperaturgradient over loftsisoleringen, da bygningerne normalt henstår uopvarmede. Her må loftisolering forventes udsat for klimatiske svingninger, der er sammenlignelige med forholdene ved denne undersøgelse. De periodiske opvarmninger, som er årsagen til, at sådanne bygninger varmeisoleres, vil formentlig medføre en yderligere forøgelse af de klimatiske svingninger, loftisoleringen udsættes for.

Under alle omstændigheder peger undersøgelsens resultater på, at der bør tages hensyn til klimatiske svingninger ved anvendelse af cellulosebaserede isoleringsmaterialer.

F.eks. må det vurderes i forbindelse med projektering og anvendelse i konkrete byggerier, om de klimatiske forhold kan forventes at ville være meget svingende, således at øgede overtykkelser vil skulle anvendes for cellulosebaserede produkter. Dette vil f.eks. kunne være tilfældet i sommerhuse og lignende, jf. afsnit 6.1.2.

For de 3 uorganiske produkter - Rockwool, Isover og Perlite - antages installation i loftrumsklimaet ikke at have haft indflydelse på sætningens størrelse, da der, jf. afsnit 6.2.1, ikke ses nogen tegn på indflydelse af varierende luftfugtighed.

Ad 3) Afvigelse fra normeret / oplyst densitet

Jf. afsnit 4.1, er Perlite installeret med densitet i intervallet fra 101 - 120 kg/m³, hvor leverandøren har oplyst et interval på 85 +/- 20 kg/m³.

Det undersøgte materiale kan derfor ikke umiddelbart betragtes som repræsentativt for materiale installeret med densitet i det af leverandøren oplyste interval. Det må umiddelbart antages, at materiale installeret med lavere densitet vil kunne opvise større sætning.

For de øvrige undersøgte produkters vedkommende ses ingen uoverensstemmelser mellem installeret densitet og det af leverandøren oplyste.

6.3.2.2 Fastlæggelse af krav til kompensation for sætning

Sætning i løsfyldsisolering kan i beregningsmæssig henseende håndteres på flere måder. Tidligere indeholdt de praktiske lambdaværdier, som Varmeisoleringskontrollen tildelte løsfyldsprodukter, et tillæg for sætning. Den forventede reduktion i isoleringstykkelse var således indregnet i den regningsmæssige varmeledningsevne.

I gældende udgave af DS 418 (6. udgave, 2002) behandles sætning i loftisolering ved, at der (DS 418, tabel 6.3) er fastlagt generiske værdier for overtykkelse, som løsfyldsisolering skal installeres med ved løs udlægning afhængigt af materialeart.

DS 418 angiver følgende krav til overtykkelser:

Perlite	0%
Mineraluld:	5%
Cellulosefibre	25%

Samme principielle tilgang findes i de foreliggende udkast til harmoniserede europæiske produktstandarder for løsfyldsisolering. Ifølge disse skal producenten deklarere sætningens størrelse som en andel af den udlagte tykkelse før sætning. Endvidere skal producenten medlevere et såkaldt "Performance chart", hvor det angives, i hvilken tykkelse isoleringsproduktet skal udlægges for at opnå en given termisk modstand (isolans). Denne tykkelse skal angives inklusive overtykkelse til kompensation for sætning, mens termisk modstand skal angives på grundlag af den endelige tykkelse efter sætning. Endvidere skal det oplyses, hvor stor mængde af produktet, der skal anvendes til at dække et givet areal for at opnå den givne isolans.

En anden principiel tilgang til kompensation for sætning kunne f.eks. være fastlæggelse af generiske, "sætningsfrie" minimumsdensiteter for de forskellige materialearter, da det er almindeligt kendt, at der er sammenhæng mellem installeret densitet af celluloseisolering og de efterfølgende sætninger.

I denne undersøgelse er valgt at følge samme principielle tilgang som i DS418 og de foreliggende udkast til europæiske produktstandarder; kompensation ved udlægning i overtykkelse.

For *Perlite* er, jf. afsnit 6.3.1, estimeret en nødvendig overtykkelse på 1%, hvor DS 418 ikke kræver udlægning med overtykkelse. Under alle omstændigheder er den nødvendige overtykkelse til kompensation for de i denne undersøgelse observerede sætninger dog meget beskedne, og det er nok tvivlsomt, om det vil have nogen praktisk betydning at indføre krav om overtykkelse til kompensation for en så beskedne sætning. Den installerede densitet for perlite skal i denne forbindelse tages i betragtning, jf. afsnit 6.3.2.1, og resultaterne kan således ikke ukritisk overføres til perlite installeret med lavere densitet.

For *Rockwool* og *Isover* er estimeret nødvendige overtykkelser på 2%, hvilket er mindre end de 5%, som DS 418 angiver.

Jf. afsnit 6.3.2.1, er der ikke fundet anledning til at antage, at denne undersøgelses afvigelser fra almindelig praksis har haft væsentlig indflydelse på sætningens størrelse for *Rockwool* og *Isover*.

Denne undersøgelse peger derfor ikke på nogen særlige forhold at tage højde for ved fastlæggelse af krav til kompensation for sætning i disse materialer.

For *Ekofiber*, *Papiruld* og *Thermocell* er kravet i DS 418 en overtykkelse på 25%. Denne undersøgelses resultater kunne således pege på, at en overtykkelse på 25% ikke under alle omstændigheder vil være tilstrækkeligt for disse produkter. Her skal indflydelsen af, at materialerne i denne undersøgelse er installeret på den kolde side, dog tages i betragtning jf. afsnit 6.3.2.1.

Den nødvendige overtykkelse til kompensation for de - under denne undersøgelses vilkår - estimerede endelige sætninger, jf. tabel 6.3.1, er for *Ekofiber* 31%, *Papiruld* 37% og for *Thermocell* 82%.

Den meget store spredning indenfor gruppen af organiske produkter gør det indlysende, at det vil være vanskeligt at fastsætte et fælles krav til overtykkelse gældende for den samlede gruppe.

Det bør derfor overvejes, hvorledes der kan differentieres indenfor produktgruppen; herunder om krav til overtykkelser skal fastsættes på grundlag af dokumentation for de enkelte produkter individuelt, og om de generiske overtykkelser kan differentieres eller eventuelt helt udgå.

Under alle omstændigheder vil værdier for sætning skulle deklareres for hvert enkelt produkt, når de harmoniserede europæiske produktstandarder træder i kraft.

6.3.2.3 Årsager til sætning

Denne undersøgelse har ikke haft som formål at undersøge sætningens mekaniske natur. Formålet med undersøgelsen har, som det fremgår, primært været at undersøge sammenfald mellem iagttagelige ydre omstændigheder og størrelse af sætningen i de undersøgte produkter.

Som det fremgår af afsnit 6.1.2, er der fundet tydelige sammenfald mellem klimatiske svingninger og sætning for de undersøgte organiske produkter, uden at dette dog i sig selv kan pege på nogen bestemte fysiske virkemåder.

Som det fremgår af afsnit 6.1.3, er der ikke fundet ligeså klare sammenfald mellem fugtvariationer i de undersøgte produkter og størrelse af sætningerne. Som det fremgår samme sted, antages klimavariationernes indflydelse på sætningen, at skyldes de deraf følgende svingninger i de cellulosebaserede materials fugtindhold, men undersøgelsens resultater giver ikke fuldstændig afklaring af, om dette er tilfældet.

For de uorganiske produkters vedkommende kan undersøgelsens resultater ikke angive nogen årsager til den observerede sætning, endsige pege på nogen sammenfald mellem ydre omstændigheder og observeret sætning.

6.3.2.4 Prøvningsmetoder

For såvel de undersøgte produkter - organiske som uorganiske - peger denne undersøgelse ikke på nogen relation mellem vibrationspåvirkning og sætning i praksis. En række metoder til laboratorieprøvning af sætning i løsfyldsisolering er baseret på accelereret vibrationspåvirkning.

Normalt antages metoder til laboratorieprøvning at skulle simulere de påvirkninger, som findes ved praktisk brug.

Denne undersøgelse bør derfor give anledning til, at det overvejes om det findes relevant at opretholde sådanne metoder.

6.3.2.5 Dimensionerende klimaforhold

Som det fremgår af afsnit 5.3 er der observeret betydelige forskelle mellem klimaforholdene i de undersøgte loftrum.

I denne undersøgelse er klimaet søgt karakteriseret ved de 3 parametre årsmiddel, årsvariation og døgnvariation for relativ luftfugtighed.

Undersøgelsens resultater viser endvidere, jf. afsnit 6.1.2, at der er klar sammenhæng mellem klimatiske udsving og sætningens størrelse for de organiske produkter.

Det bør derfor overvejes, hvilke klimatiske betingelser, der skal tages højde for ved fastlæggelse af krav til kompensation for sætning.

F.eks. kunne det være relevant at overveje, om der skal stilles samme krav til kompensation (overtykkelse) for sætning i organiske produkter ved installation i et loftrum under tung tagdækning med undertag (som Højbjergparken) som ved installation under en let, sort tagdækning uden undertag (som Bøgeskovparken), eller om kravene skal differentieres.

I den forbindelse vil det være hensigtsmæssigt at fastlægge metoder til beskrivelse af de klimatiske variationer. De i denne undersøgelse beskrevne parametre, *årsmiddel*, *årsvariation* og *døgnvariation* i relativ luftfugtighed er ikke nødvendigvis de mest velegnede til dette formål.

Endvidere kunne det undersøges mere dybtgående, hvilke klimatiske variationer, der kan forventes i forskellige typer af loftrum; herunder om andre forhold end tagdækningens udformning vil kunne have afgørende indflydelse på klimaforholdene i loftrummet.

Dette ville dog falde udenfor rammerne af nærværende undersøgelse.

7 KONKLUSION

Sætning i de undersøgte organiske produkter afhænger i væsentlig grad af klimaforholdene på anvendelsesstedet.

Store klimatiske udsving ses at medføre øget sætning i de organiske produkter, mens et generelt højt fugtniveau ikke ses at have særlig betydning. Undersøgelsen viser, at der er stor forskel på, hvor store klimatiske udsving der optræder i loftrumene i de undersøgte bygninger, der alle må betragtes som eksempler på god, dansk byggeskik. Størst udsving i klimaet er observeret i loftrum under lette tagdækninger uden undertag. Undersøgelsen belyser ikke, om andre bygningsmæssige forhold end tagdækningens art kan have betydning for udsving i klimaet i loftrum.

Vibrationer i bygningerne ses ikke at have nogen indflydelse på sætningens størrelse.

Der har ikke for de undersøgte uorganiske produkter kunnet påvises nogen korrelationer mellem sætningens størrelse og de observerede vibrations- og klimaforhold. For disse produkter kan undersøgelsen således ikke pege på bestemte årsager til sætningerne, der i alle tilfælde er væsentligt mindre end for de undersøgte organiske produkter.

Den observerede sætning i de undersøgte produkter - både organiske og uorganiske - kan med god tilnærmelse beskrives ved en eksponentialfunktion af tiden, hvor sætningshastigheden aftager med tiden. Undersøgelsens resultater peger på, at de uorganiske produkter vil kunne betragtes som stabile med hensyn til sætning indenfor ca. 1 år efter installation. Tilsvarende vil de undersøgte organiske produkter kunne betragtes som stabile med hensyn til sætning efter ca. 5 år, under de påvirkninger, der er forekommet under denne undersøgelse.

For det undersøgte produkt af ekspanderet perlite er observeret en meget beskeden endelig sætning - 0,5 %. Det undersøgte produkt havde dog generelt en højere densitet end oplyst af producenten, hvilket antages at have medført reducerede sætninger. Undersøgelsen peger i øvrigt ikke på særlige forhold, der skal tages i betragtning ved fastlæggelse af krav vedrørende sætning i ekspanderet perlite.

For de undersøgte mineraluldsprodukter er estimeret endelige sætninger, der er mindre end forudsat i DS418. Resultaterne vedrørende mineraluld er opnået under vilkår, der for disse produkter vurderes i rimelig grad at afspejle praktiske forhold med hensyn til sætning. Undersøgelsen peger således ikke på særlige forhold, der skal tages i betragtning ved fastlæggelse af krav vedrørende sætning i mineraluld.

For de undersøgte organiske produkter, der alle er baseret på cellulosefibre, er der observeret meget store og meget varierende sætninger, der i alle tilfælde overstiger den kompensation, der er indlagt i DS418. Indbygningsmetoden i denne undersøgelse må vurderes, at have været ugunstig for de organiske produkter, da de klimatiske udsving ved denne undersøgelse vurderes at have været større, end hvad loftisolering normalt udsættes for i praksis, hvorfor de observerede sætninger ikke ukritisk kan overføres til praktiske forhold.

For de cellulosebaserede produkter peger undersøgelsens resultater på følgende:

- At de klimatiske udsvings betydning for sætningen skal inddrages ved projektering og anvendelse af disse produkter.
- At der ved fastlæggelse af krav til overtykkelse for cellulosebaserede produkter bør tages højde for de store variationer i sætning, der optræder indenfor gruppen af cellulosebaserede produkter; herunder variationer med hensyn til densitet. Det kan f.eks. overvejes, om det er hensigtsmæssigt, at samme krav er gældende for hele gruppen, eller om der med fordel vil kunne differentieres; eventuelt ved at basere krav til overtykkelser på dokumentation for det enkelte produkt.
- At der skal tages højde for de store forskelle i klimatiske svingninger, der er observeret. F.eks. bør det overvejes, om der skal stilles samme krav til kompensation for sætning i cellulosebaserede produkter ved installation i et loftrum under tung tagdækning med undertag som ved installation under en let, sort tagdækning uden undertag, eller om kravene skal differentieres. Det bør i den

forbindelse overvejes at undersøge yderligere, hvilke byggetekniske forhold, der har betydning for de klimatiske svingninger, samt hvorledes disse bedst kan beskrives.

- At der skal tages højde for de særlige klimatiske svingninger, der kan antages at optræde i periodisk opvarmede bygninger, samt i forbindelse med periodiske afbrydelser i opvarmningen af helårsopvarmede bygninger.

Endvidere peger undersøgelsen på, at det bør overvejes, om det er relevant at opretholde metoder til laboratorieprøvning baseret på accelereret vibrationspåvirkning.