

CHALMERS



VIP- paneler och högeffektiva isoleringsmaterial

Analys och mätningar av Vakuumisoleringspaneler

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

JIMMY FORSBERG/REMI SØRENSEN

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2012
Examensarbete 2012:122

EXAMENSARBETE 2012:122

VIP- paneler och högeffektiva isoleringsmaterial
Analys och mätningar av Vakuumisoleringspaneler
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

JIMMY FORSBERG/REMI SØRENSEN

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2012

VIP-paneler och högeffektiva isoleringsmaterial
Analys och mätningar av Vakuumisoleringspaneler
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

© JIMMY FORSBERG/REMI SØRENSEN 2012

Examensarbete/Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2012:122

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Vakuumisoleringspaneler, Vacupor. Tagen från Skanska, SBUF, 2010 - Inventering
och utvärderingen av högpresterande isolering, sidan 8.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2012

VIP-paneler och högeffektiva isoleringsmaterial

Analys och mätningar av Vakuumisoleringspaneler
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

JIMMY FORSBERG/REMI SØRENSEN

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I dagens växande miljösamhälle görs inga undantag, miljönormerna är tydliga och principfasta. Byggindustrin blir en frontfigur som snabbt måste anpassa sig. En del av utmaningen är en halvering av energianvändandet för uppvärmning av byggnader fram till 2050. Energieffektiviseringen involverar hela det svenska byggbeståndet, gamla och nya byggnader.

Konventionella lösningar bromsar utvecklingen vilket medför problem, ett tjockare klimatskal, större material förbrukning samt förändringar av befintlig arkitektur som ej är tillåten.

Vakuumisoleringspaneler (VIP) är ett högpresterande isoleringsmaterial som via kyl- och frysindustrin även nu bryter mark inom byggindustrin. Dess termiska egenskaper, som är fem gånger bättre än konventionell mineralull löser några av problemen. Dock är det känsligt för skador och hur hanteringen av dessa paneler skall gå till ute på byggarbetsplatsen är oklara. Intresset för detta material ökar och praktiska tillämpningar finns.

Huvudsyftet med denna studie är att i nära samarbete med ett doktorandprojekt på Chalmers Tekniska Högskola, vid institutionen för Bygg och miljöteknik i Göteborg undersöka och utvärdera i vilken utsträckning man kan testa vakuumisoleringspaneler med dagens testmetoder. Undersökningen är baserad på en rad olika tester som utförts med hjälp av TPS-metoden (Transient Plane Source metoden), en plattvärmare (Holometrix Rapid- K) samt akustisk tester. Slutligen har förslag tagits fram för hur man kan bygga utan att skada panelerna.

Nyckelord: Energieffektivisering, vakkumisoleringspanel, Transient plane source

VIP-panels and high-efficient insulation materials
Analysis and measurements
Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering
JIMMY FORSBERG/REMI SØRENSEN
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of BOMX03
Building Technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

With today's growing environmental awareness there are no exceptions, environmental standards are clear and principled. The construction industries, builders of society are at the front and must quickly adapt. Part of the challenge is to cut the energy use for heating by 50 % by 2050. Energy efficiency involves the whole of the Swedish building stock both old and new buildings, the size of the challenge is large-scale.

To add more isolation to prevent a higher energy use is not a new procedure, but with today's conventional solutions the process is slowed down by the problems it creates, an even thicker building envelope, larger material consumption, changes in the existing architecture that is not permitted and so on.

Vacuum insulation panels (VIP) is a high performance insulation adapted from the refrigeration industry and it is now making its way in to the construction industry. Its thermal properties are five times better than the conventional mineral wool. However, it is sensitive to damages and how these panels are to be handled with on a construction site are unclear.

The main objective for this study is to in close cooperation with a PhD project at Chalmers University of Technology, at the Department of Civil and Environmental Engineering in Gothenburg investigate the extent to which one can test vacuum insulation panels with test methods available today. The study is based on a variety of tests conducted using the TPS method (Transient Plane Source method), a plate heater (Holometrix Rapid- K) and acoustic tests. Also examples of solutions have been developed in order not to damage the panels during the construction of a building using VIP.

Key words: energy efficiency, Vacuum insulation panels, Transient Plane Source method, buildings

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ANALYSIS AND MEASUREMENTS	II
DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME	II
ABSTRACT	II
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	III
FÖRORD	V
ORDFÖRKLARINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	1
1.2 Metod	1
1.3 Avgränsningar	2
2 HÖGPRESTERANDE ISOLERINGSMATERIAL	3
3 VAKUUMISOLERINGSPANELER	5
3.1 Kärnan	6
3.2 Hölje	7
3.3 Tillverkningsprocessen	7
3.4 Praktisk tillämpning av VIP	8
3.5 Praktiska lösningar med VIP som tilläggsisolering av landshövdinghusen i kv. Malörten Göteborg	10
3.5.1 Grundförutsättningar	10
3.5.2 Montering av VIP med lim	11
3.5.3 Montering av VIP med stående panellås	12
3.5.4 Montering av VIP med liggande panellås	13
4 MÄTNING AV TERMISKA EGENSKAPER	15
4.1 TPS metoden	15
4.2 Holometrix, Rapid-k	16
4.3 Akustik	18
5 RESULTAT	19
5.1 TPS- metoden	19
5.1.1 Resultat för olika paneler, med och utan gel	19
5.1.2 Resultat för varierat tryck, tillförd effekt, med och utan gel	21
5.2 Plattvärmare	23
CHALMERS, Bygg- och miljöteknik, Examensarbete 2012:122	III

5.3	Akustik	24
6	ANALYS AV MÄTNINGAR	25
6.1	Mätningar med hjälp av TPS-metoden	25
6.1.1	Varierande tryck [Pa]	25
6.1.2	Varierande tryck med gel	27
6.1.3	Varierande effekt [W]	29
6.1.4	Varierande effekt med gel	31
6.2	Mätningar med hjälp av plattvärmare	33
6.3	Mätningar med hjälp av akustik	34
7	SLUTSATSER	35
7.1	TPS- metoden	35
7.2	Värmeplatta	35
7.3	Akustik	36
8	REFERENSER	37

Förord

Till grund för denna rapport ligger ett stort intresse och nyfikenhet över nya tekniska lösningar och produkter inom byggteknik till grund. Rapportens innehåll ska vara till hjälp för Pär Johansson, doktorand på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg och hans fortsatta arbete med sin doktorsavhandling "Retrofitting of old Exterior Wall with Vacuum Insolation Panels". Arbetet har fortlöpt i nära kontakt med Pär, hans hjälp och kunskap inom området har varit till stor hjälp för detta examensarbete.

Först och främst vill vi tacka Pär Johansson för all hans hjälp. Carl-Eric Hagentoft, vår examinerator som hjälpt oss ta fram vår idé. Slutligen vill vi även tacka Lars Hansson samt Marek Machowski som hjälpt oss med testerna som ligger till grund för arbetet.

Göteborg maj 2012

Jimmy Forsberg och Remi Sörensen

Ordförklaringar

Implementera - genomföra, göra

Skrymdensitet - även kallad volymvikten är ett materials massa per enhet av dess totala volym. (greppa.nu, 2012)

Kompaktdensitet - densiteten av det fasta materialet i en jord.

Permeabilitet - ett poröst mediums genomsläpplighet för gas eller vätska. (Nationalencyklopedin, 2012)

Konvektion - rörelser i gaser och vätskor som förorsakas av att densiteten, dvs. tyngden, varierar mellan gasens eller vätskans olika delar.

Variationskoefficient - förhållandet mellan standardavvikelsen och medelvärdet för ett statistiskt datamaterial (Nationalencyklopedin, 2012)

Superkritisk torkning - utförs för att ersätta en vätska i ett material med en gas. Att isolera den fasta komponenten från materialet utan att förstöra materialets fina nanostrukturerade por nätverk. (Aerogel.org, 2012)

Konduktion - konduktion är en viktig mekanism för värmeöverföring, vilket beror på flödet av vätska, i allmänhet i byggnadsfysik där det är luft eller ibland vatten. (Hagentoft, C-E, 2001)

Hydrolys - kemisk reaktion där bindningar spjälkas genom reaktion med vatten. (Nationalencyklopedin, 2012)

1 Inledning

Med en starkt växande miljömedvetenhet formuleras en allt hårdare lagstiftning vad gäller energiförbrukning. Detta i sin tur medför allt högre krav och allt större utmaningar för byggindustrin att utveckla nya material och metoder för att nå dagens miljönormer sett ur energisynpunkt (Johansson P, 2012). Utöver hänsyn till miljön syns även en tydlig uppgång gällande priset på energi. Man ser nu ett stort behov av energieffektiva lösningar för att dels gynna miljön men även den personliga ekonomin.

Att få kontroll över dessa problem är av högsta prioritet då stora mängder av den totala energiförbrukningen kommer från byggnader. Hela 39 % av den totala energiförbrukningen i EU kommer från byggnader och ca 85 % av dessa går till vid uppvärmning. (Energimyndigheten, 2010a) EU har gett ut direktiv, alla byggnader uppförda efter år 2020 ska vara ”nära nollenergibygnader” (NNE), detta innebär att byggnaden ska ha en mycket hög energiprestanda (SABO, 2010).

Metoderna som används i dagläget för att komma ikapp det växande energislöseriet anses vara konventionella. I dagläget tilläggsisolerar redan uppförda byggnader samt att man ökar mängden isoleringsmaterial i nybyggen. Fönster och dörrar byts ut samt att man lufttätar i så stor utsträckning som möjligt. (Skanska, SBUF, 2010) Som följd fås ett tjockare klimatskal som i sin tur leder till en mindre bostadsyta alternativt att bygghandelen tar mer yta i anspråk. (Skanska, SBUF, 2010)

Arbetet ligger nu i att hitta alternativa smarta och allt tunnare lösningar till isoleringsmaterial, med samma eller bättre värmeisoleringsförmåga. I dagläget finns det ett antal olika så kallade högpresterande isoleringsmaterial. Vakuumisoleringspaneler (VIP) är ett sådant högpresterande isoleringsmaterial med mycket hög värmeisoleringsförmåga. Detta innebär att isoleringstjockleken reduceras vilket leder till större säljbar boyta, samtidigt som dagens allt hårdare energikrav kan uppfyllas. (Johansson, P, 2012)

1.1 Syfte

Det huvudsakliga syftet med denna rapport är att undersöka och ge ett större underlag för ett doktorsarbete inom området samt att ge en större kunskap om vakuumisoleringspaneler (VIP) och dess termiska egenskaper med avseende på konduktivitet. Målet med den sammanställda informationen är att den i framtiden ska kunna användas som ett hjälpmedel. För att bättre förstå hur VIP fungerar som isoleringsmaterial, hur man kan tänkas kunna applicera VIP i byggnaden samt att utvärdera TPS-metodens potential för mätningar på byggarbetsplatsen.

1.2 Metod

Genom inläsning av tekniska rapporter, föreskrifter och andra litteraturstudier har relevant information valts att presenteras. Informationen har gallrats genom ett byggtekniskt perspektiv inriktat på det högpresterande isoleringsmaterialet VIP. Detta lägger en god grund i ämnet och bygger en förståelse för hur man kan testa

vakuumisoleringspanelers termiska egenskaper med hjälp av testmetoder tillgänglig på marknaden i dag.

Med hjälp av vår handledare har mätningar av panelernas värmekonduktivitet utförts med hjälp av TPS-metoden, en plattvärmare samt genom ett mindre akustiskt test. Vissa byggtekniska beräkningar har gjorts för de experiment som utförts. Slutligen har förslag på praktiska lösningar arbetats fram, varefter alla delar sammanställts i rapporten.

1.3 Avgränsningar

Detta examensarbete inriktar sig i huvudsak mot vakuumisoleringspaneler (VIP). Andra typer av högpresterande isoleringsmaterial kommer endast kortfattat att nämnas. Fokus ligger på panelernas termiska egenskaper med avseende på konduktivitet. Funderingar kring praktiska lösningar med VIP i byggnader kommer även att tas upp.

2 Högpresterande isoleringsmaterial

Teoretiskt sett vet vi hur vi ska isolera våra byggnader och behålla värmen inne och kylan ute eller tvärtom dock är det inte så lätt i praktiken. I verkligheten går en stor mängd värme förlorad till ingen nytta, vid exempelvis läckage. Att tilläggsisolera kan vara lösningen men vi når våra begränsningar för hur mycket isolering vi verkligen kan lägga i våra golv, väggar och tak innan det blir olönsamt.

Som en följd av den växande efterfrågan på tunnare och effektivare isoleringslösningar skapas nya problem. Med dyr forskning, avancerade tekniska lösningar, svåra tillverkningsprocesser och hanteringsprocesser medföljer ett högt kvadratmeterpris. Utgångspunkten för vad som är högpresterande isoleringsmaterial är att det ska ha avsevärt lägre värmekonduktivitet än de konventionella isoleringsmaterial som används frekvent i dagsläget. Till dessa hör mineralull, expanderad polystyren (EPS) och XPS. (Skanska, SBUF, 2010) I dagsläget finns ett antal isoleringsmaterial som klassas som högpresterande.

Här nedan beskrivs fyra olika typer av högpresterande isoleringsmaterial. Aerogel, polyisocyanurat (PIR), grafit cellplast samt reflekterande isolering. I tabell 1.1 ges en överblick av materialens för- och nackdelar.

Aerogel är ett samlingsnamn och produkten har ett flertal tillverkare på marknaden. Ambitionen är att utveckla den bästa och mest kostnadseffektiva produkten. Aerogel kan bestå av silikatmaterial alternativt plastpolymerer, kol eller metalloxider. Materialets grundtillstånd är en gel som genomgår superkritisk torkning. Detta innebär att vätskan i gelen avdunstar under högt tryck och ersätts med luft, vilket leder till att dess nanostruktur inte kollapsar. Kvar finns ett mycket lätt och poröst restmaterial (upp till 95 % porositet). De material som idag är tillgängliga på marknaden för byggapplikationer har en värmeledningsförmåga på 0,014 W/m,K (Skanska, SBUF, 2010).

Polyisocyanurat (PIR) är lätta och formstabila skivor bestående av ett hårt packat skum som under sin tillverkning bildar ett slutet porsystem med en låg ånggenomsläpplighet. Många användningsområden finns men skivorna används främst för isolering av låglutande isolerade tak. Materialet har bra motståndskraft mot höga temperaturer samt högre tryckhållfasthet än sin föregångare PUR. Värmeledningsförmågan varierar mellan 0,023-0,027 W/m,K (Skanska, SBUF, 2010).

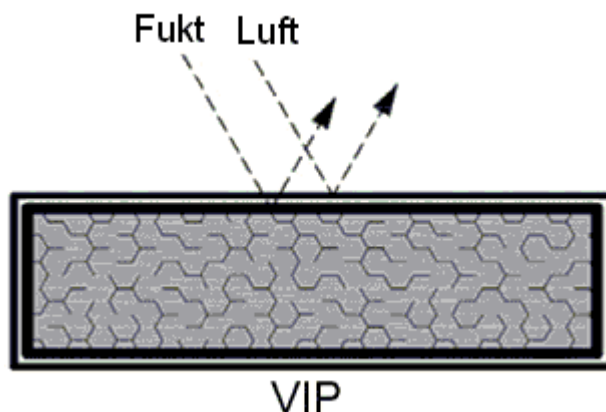
Grafitcellplast består av expanderad polystyren (EPS) som behandlats med grafit. Grafiten ger materialet egenskaper som blockerar infraröd strålning. Med sin slutna cellstruktur påvisas egenskaper som liten inre konvektion, låg permeabilitet för luft samt låg vattenabsorption. Materialet innehåller ca 98 % luft, har bra formstabilitet och tryckhållfasthet. Grafitcellplast kan användas i grund, golv, tak och på fasader. Dess värmeledningsförmåga varierar mellan 0,031-0,032 W/m,K, en förbättring med 20 % jämfört med vanlig cellplast (ESP). (Skanska, SBUF, 2010).

Reflekterande isolering består av ett tunt isoleringsskikt som omsluts av ett eller flera lager av folie, oftast aluminiumfolie. Folien ska fungera som en reflektor av värmestrålning. Produkten kan tillämpas i tak, för att hindra nattutstrålning respektive solinstrålning i länder med stora temperaturvariationer, eller som reflekterande skikt. Produkten framhävs ofta som ett effektivt och billigt sätt att isolera med men dess förmåga att värmeisolera ifrågasätts. (Skanska, SUBF, 2010).

Tabell 1.1 För- och nackdelar med fyra olika högpresterande isoleringsmaterial

Material	Fördelar	Nackdelar
Aerogel	- Lätt att hantera - Lätt att fästa på plats - Ljudabsorberande	- Begränsat utbud av tjocklekar - Saknar bärförmåga - Dammar - Kräver speciella skärverktyg - Svårt att hantera
Polyisocyanurat (PIR)	- Formstabil - God tryckhållfasthet - Tål höga temperaturer	- Ej bra ljudisolering
Grafit Cellplast	- Formstabil - God tryckhållfasthet	- Krymper efter produktion - Ej bra ljudisolering
Reflekterande isolering	- Lätta att hantera - Lätt att fästa på plats	- Kräver luftspalter på vardera sida

3 Vakuumisoleringspaneler



Figur 3.1 Barriärfilmens funktioner (Agstrand & Odby, 2011 sid 13)

Vakuumisoleringspaneler (VIP) är ett högpresterande isoleringsmaterial som idag anses som ett av de bästa. Med sin låga värmeledningsförmåga mellan 0,003-0,005 W/m,K gör den betydligt bättre än ett traditionellt isoleringsmaterial. Traditionella material såsom mineralull och cellplast har en värmeledningsförmåga mellan 0,033 och 0,040 W/m,K.

Panelerna är lätta med en tjocklek på mellan 6 och 40 mm. Panelerna är känslig mot mekanisk påverkan och kan relativt lätt skadas vid lastning, lossning och montering. En panel som blivit skadad får en betydligt försämrad värmeledningsförmåga på cirka 0,020 W/m,K (Simmler, H., 2005). Livslängden på panelerna är 30 till 50 år, vilket har testats i laboratorieförsök genom så kallad accelererad åldring. Tilläggas bör att stora paneler har längre livslängd än mindre paneler, detta på grund av mindre kantlängd per ytenhet. Förbrukade paneler kan till 50 % återanvändas eller materialåtervinnas.

Materialets isoleringsförmåga försämras med tiden av fukt och ökat tryck. (Simmler, H & Brunner, S, 2006). Kärnan är klassad icke-brännbart och tål över 1000 °C. Höljet som omsluter kärnan är brännbart. Panelerna är klassad som B2, vilket innebär att materialet anses icke brännbart. Detta innebär att ingen form av spridning eller brandutveckling uppstår vid eventuell brand. (Skanska, 2012) Förutom dess goda termiska egenskaper kan VIP bidra till en förminskning av koldioxidutsläppen med hela 8 %. Något som fastlades av EU under Kyoto Protokoll. (Gohardin N, 2010)

Sammanställning av egenskaperna hos VIP

Tabell 3.1 Egenskaper hos VIP

	VIP-vakuumisoleringspanel
Material	Finporös kiseldioxid eller liknande som omsluts av ett lufttät hölje som bibehåller vakuum i panelerna. Olika typer av material används för detta ändamål.
λ (W/mK)	0,004 W/m,K (0,020W/m,K för punkterade paneler)
Livslängd (år)	>30
Tjocklek (mm)	6-40
Storlek (mm)	250*600-1200*1200
Densitet (kg/m³)	150-220
Brandmotstånd	Icke-brännbar, Euro klass A1 alternativt B2
Användningstemperatur (°C)	-50 upp till +90
Fuktegenskaper	Mycket diffusionströgt hölje
Pris (kr/m²)	600, 10mm 900, 20mm 1300, 40mm

3.1 Kärnan

En del olika material har använts som kärna i vakuumisoleringspaneler. Till exempel, glasfiber, öppenporigt skum samt olika typer av pressat pulver. I takt med byggindustrins krav på en ökad livslängd har det visat sig att pressat pulver i form förångad kiseldioxid är bäst lämpat som kärnmaterial. Kiseldioxid har en värmeledningsförmåga på 0,004 W/m,K vid ett tryck på 1 mbar och kan motstå kollaps av porerna under evakuering av luft. (Skanska, SBUF, 2012)

Tre viktiga förutsättningar för ett bra kärnmaterial

1. Låg värmekonduktivitet
2. Ska motstå atmosfäriskt tryck för att undvika kollaps i materialet
3. Öppen porstruktur vilket är en förutsättning för att vakuum ska kunna skapas

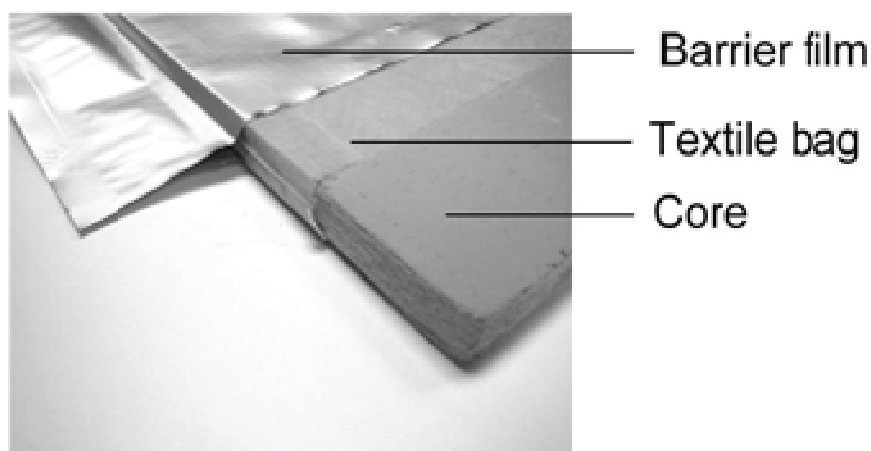
En kärna med poröst silikabaserat material har många goda egenskaper. Bland annat ligger skrymdensiteten för materialet mellan 160–210 kg/m³ samt att det har en porositet på mer än 90 %. Detta leder till att kompaktdensiteten ligga mellan 2450–2580 kg/m³. (Simmer, H. 2005)

3.2 Hölje

Den finporösa kärnan omsluts av ett hölje, detta för att behålla vakuumtillståndet inuti panelen. Som lämpligt hölje används flera typer av material beroende på egenskaper och förutsättningar. Bland dessa finns metallfolier samt polymerfilmer med höga krav på värmemotstånd och livslängd. Höljet bör ha låg permeabilitet för att undvika diffusion av gas och vattenånga in i kärnan samt låg värmeledningsförmåga för att minska köldbryggor längs sidorna på elementen.

Ett hölje av metallfolie minskar vatten- och gasdiffusion men leder dock värme bra. Polymerfilmer i form av plastfolier minskar köldbryggor men permeabiliteten hos plastfolier är för hög med dagens polymerteknik. (Thorsell, T, 2006)

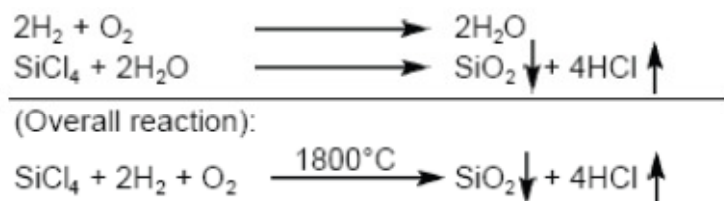
I dag finns nya typer av plastfolier laminerade med ett tunt metallskikt, detta är fördelaktigt då köldbryggor längs kanterna kan minskas samt att permeabiliteten minskar. Generellt ökar värmekonduktiviteten i elementen i takt med ett ökat luft- och vattenångstryck. (Grynning, S. Baetens R. Jelle, B. Gustavsen, A. Uvsløkk, S. & Meløysund, V., 2009)



Figur 3.2 VIP-panelens ingående delar (Thorsell, 2012 sidan 25)

3.3 Tillverkningsprocessen

Kärnan ska ha en tillräcklig hållfasthet för att stå emot ett atmosfärstryck (1 atm). Innan det skyddande och omslutande lagret av en lufttät film appliceras töms det finporösa materialet på luft vilket skapar ett lufttryck i panelen som är ner mot 1 % av det normala atmosfärstrycket. Pressat kiseldioxid produceras under hydrolyse av silikontetraklorid i en väte/syre flamma. Reaktionsekvation ser ut på följande vis:



Figur 3.3 Kemisk reaktion för tillverkning av kärnmaterialet i VIP.

Det vita finporösa pulvret får en densitet på mellan 40-50 kg/m³ som slutligen pressas samman till solida paneler med en densitet mellan 150-220 kg/m³.

Materialets fulla isoleringsförmåga uppnås direkt då panelen tömts på luft. Nya utvecklingsmöjligheter ska förbättra höljet med avsikt att försöka minimera undertrycket i isoleringsmaterialet, detta för att det inte ska jämnas ut med tiden. Något som är nödvändigt för att panelernas livslängd ska kunna fastställas. (Grynning, S. Baetens R. Jelle, B. Gustavsen, A. Uvsløkk, S. & Meløysund, V. 2009)

3.4 Praktisk tillämpning av VIP

Under flera år har tester utförts på vakuumisoleringspaneler med avsikt att dokumentera dess tekniska egenskaper. Trots att utvecklingen gått framåt i förståelsen om materialets egenskaper används VIP sparsamt i byggbranschen. Motiveringen till varför implementeringen av VIP har varit så begränsad är delvis på grund av de direktiv från EU som reglerar användandet av VIP i konstruktioner. Krav som, sambandet mellan värme och struktur, samt värme och livslängd är ytterst viktigt enligt (*Europeiska Konstruktion Produkt Direktivet (EU, 1998)*) (Gohardin, N. 2010). Fortsatt forskning tillämpas på produkter av detta slag med avsikt att öka förståelsen för hur den kan användas på bästa sätt. I dag kontrollerar Japan användandet av VIP i sin tillverkning av frys- och kylskåp. Ett fåtal projekt återfinns i Tyskland, Schweiz, Nederländerna och Sverige där VIP har tillämpats i konstruktioner med syfte att testa vilka möjligheter som finns samt att sprida kunskap. (Gohardin, N. 2010).

Under de senaste åren har det skett en utveckling vad gäller möjliga användningsområden för vakuumisolering. I konstruktioner möjliggör VIP tunna välisolerade tak, väggar och golv. Några av orsakerna bakom utvecklingen är materialets möjligheter vid renoveringsarbeten. Andra lämpliga användningsområden är där boarean är begränsad samt vid tilläggsisolering där krav finns på att bevara det estetiska uttrycket för en K-märkt byggnad.

Några lämpliga områden för tillämpning av VIP:

- Prefabricerade sandwichelement
- Kontinuerlig isoleringsförmåga i icke bärande väggar
- Isolering av golv och tak
- Tilläggsisolering i byggnader med begränsat utrymme
- Nybyggnationer med höga areakostnader till exempelvis i storstäder
- Dörrar och fönster

För- och nackdelar vid användanden i byggnader?

Tabell 3.2

För- och nackdelar med VIP vid byggnationer

Fördelar	Nackdelar
Hög isoleringsförmåga	Sköra kanter samt det tunna höljet gör att mekanisk påverkan blir avgörande för livslängden
Tunna ytterväggar ökar boarean samt säljs/hyrinkomster	Isoleringsförmågan minimeras med tiden på grund av tryckökning
Bra som tilläggsisolering där höga krav ställs på estetisk, vid exempelvis K-märkta byggnader	Begränsad livslängden medför att panelerna måste bytas ut.
Lätta och tunna paneler	Höljets material i kanterna medför köldbryggor
Dammar ej	Påverkas av omkringliggande material i större grad än annan traditionell isolering på grund av randzonen av metall som skapar köldbryggor
Minskad materialåtgång i tillverkning samt byggskedet	Mindre bra till skiljeväggar då man måste undvika påkänningar av spik och skruv
Minskad materialtransport	Styva paneler, kan inte tillpassas och anpassas på plats som konventionell isolering
Ökad hanterbarhet pga. minskad stomme i konstruktionen	Högt kvadratmeterpris i dagsläget
Energibesparande	

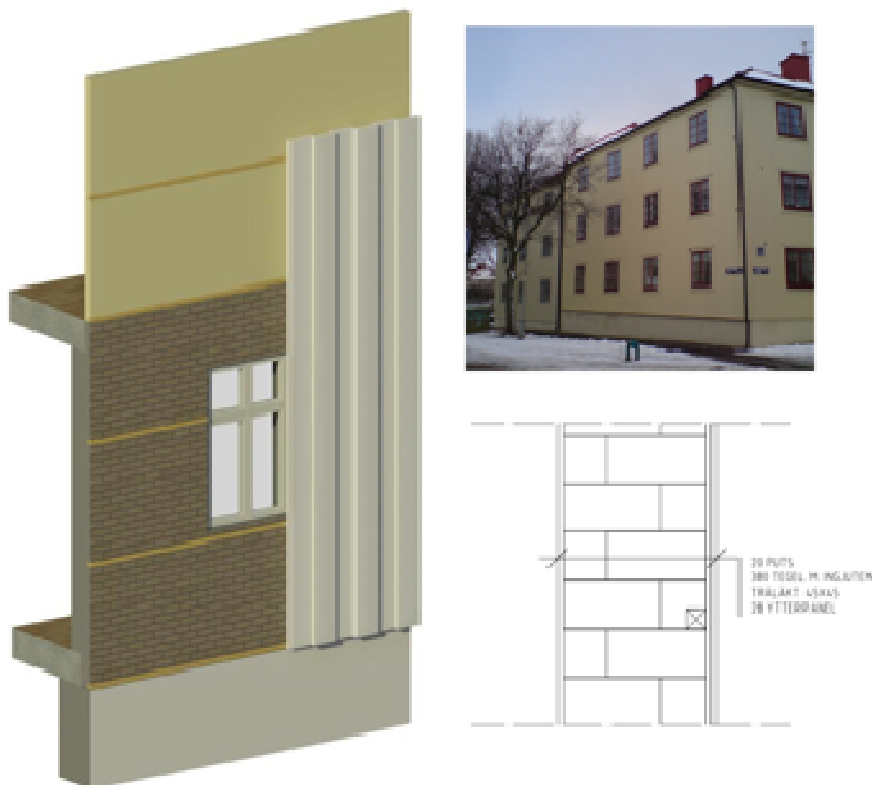
3.5 Praktiska lösningar med VIP som tilläggsisolering av landshövdinghusen i kv. Malörten Göteborg

En del av problematiken med användandet av Vakuumisoleringspaneler som isolering är att de är sköra och måste hanteras varsamt för att minimera risken för punktering. Möjliga lösningar för hur man ska fästa panelerna på plats på bästa sätt är något som behöver undersökas närmare.

För att kunna ta fram potentiella lösningar på problematiken bakom appliceringen av VIP i byggnader används ett av husen i Familjebostädernas kvarteret Malörten i Göteborg som referensobjekt.

3.5.1 Grundförutsättningar

Referensobjektet är ett klassiskt landshövdingshus byggt år 1930 beläget i utkanten av centrala Göteborg, se fig. 3.4 över höger hörn (Johansson P, 2011). Husets består av ett entréplan med en stomme bestående av 380 mm tegel samt två efterföljande våningsplan, plan ett och två som är uppbyggda av 80 mm trä samt en vind. Insidan är klädd med puts och utsidan klädd med vertikal träpanel, se fig. 3.4 vänster sida. (Johansson P, 2011) Väggarna saknar helt isolering vilket ger huset en mycket dålig värmegenomsläpplighet, $1,07 \text{ W/m}^2\text{K}$. Stora luftläckage är ett annat problem i huset.



Figur 3.4 Grundförutsättningar. Konstruktionsdetalj, 3D-illustration samt foto på byggnaden

Det låga totala värmemotståndet samt de stora luftläckagen genom väggar, fönster och dörrar leder till onödiga energikostnader samt kallt inomhusklimat på vintern kontra varmt inomhusklimat på somrarna. För att få kontroll över problemen har Familjebostäder med hjälp av Chalmers och SP (Sveriges tekniska forskningsinstitut)

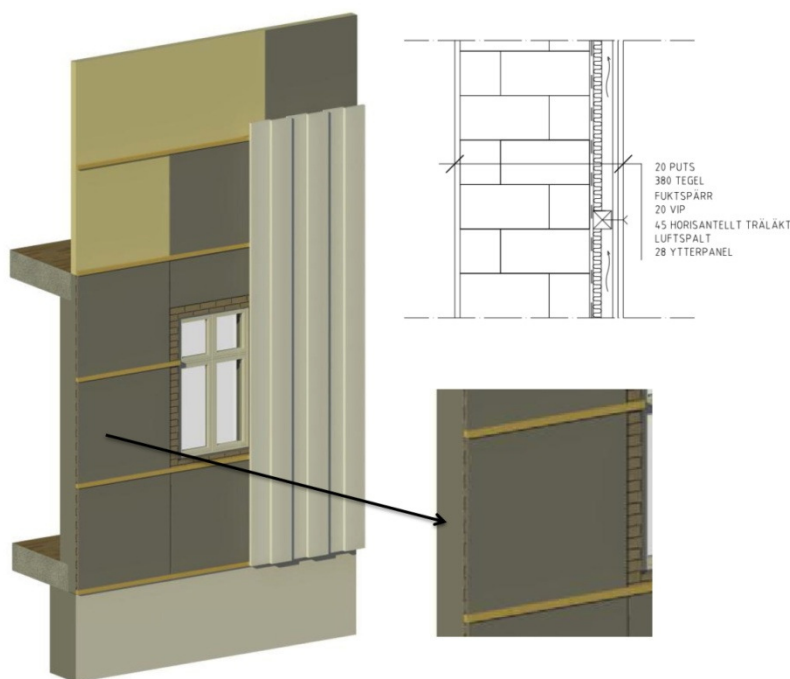
valt att tilläggsisolera ett av husen i området med Vakuumisoleringspaneler (VIP). (Familjebostäder, 2010) Dessa åtgärder skulle förbättra byggnadens värmemotstånd samt bevara husets vackra estetik något som anses mycket viktigt. (Johansson P, 2012) Hus av denna typ representerar Göteborgs historia.

3.5.2 Montering av VIP med lim

Med hänsyn tagen till Vakuumisoleringspanelernas (VIP) skörhet har man valt att fästa panelerna med hjälp av lim på väggen bakom ytterpanelen mot tegelstommen. Ytterpanelen plockades ner och VIP limmades fast mellan horisontella trälåkt, vilka används för att fästa ytterpanelen på huset, se fig. 3.5 höger nedre. Innan monteringen av VIP sattes även en fuktspärr upp mot teglet. Fördelen med att limma upp panelerna är att dem kan sättas tätt ihop vilket minimerar köldbryggor.

Nackdelen är dock att panelerna måste brytas loss vid eventuellt byte och risken finns att omkringliggande paneler tar skada. En annan nackdel är dessutom att man vid ombyggnationer riskerar att förstöra en panel som man hade kunnat återanvända.

Med VIP och liggande panellås kan väggens U-värde minskas till 0,24 W/m,K vilket är 3,45 gånger lägre än tidigare. Panelernas U-värde kommer dock försämrats med tiden. Efter 25 år är väggens U-värde 0,34 W/m,K och skulle panelerna punkteras försämrats U-värdet till 0,50 W/m,K.

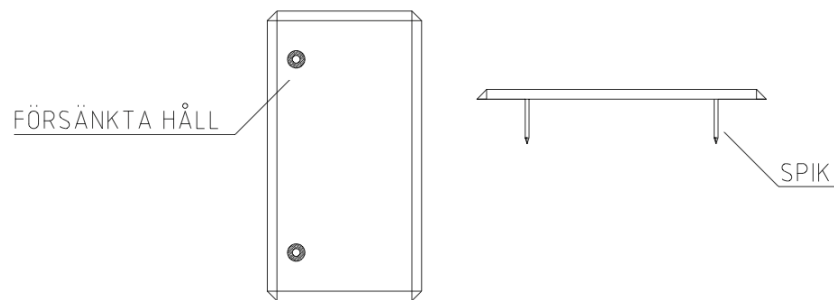


Figur 3.5 Förslag med lim. Konstruktionsdetalj, 3D-illustration samt förstoring

3.5.3 Montering av VIP med stående panellås

För att undvika ovanstående problem behövs andra metoder för att kunna fästa panelerna på konstruktionen.

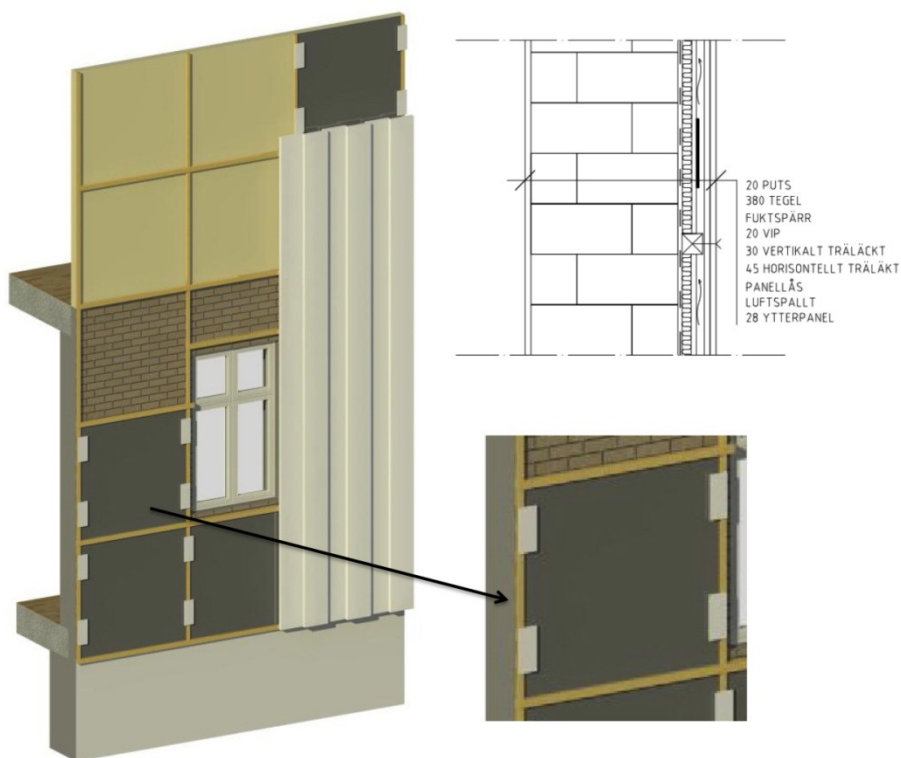
En möjlig lösning är att utveckla ett lås. I detta fall har en platta på 150x80 mm med två förborrade hål tagits fram som ett förslag i detta examensarbete. Plattan kan vara i hårdplast alternativt i aluminium. Plattan kan fästas med spikpistol, se fig. 3.6. För denna metod behövs kompletterande vertikala träläckt appliceras i konstruktionen. Ett rutnät bildas som panelerna kan fällas in i och som ger utrymme att fästa panellåset i, se fig. 3.7 nedre hörn.



Figur 3.6 Stående panellås med två spik

Paneler med måtten 1200x1200x20 mm appliceras på samma sätt som i fallet med lim mot fuktspärren. Till skillnad från det verkliga fallet där man använt sig av lim ger detta sättet upphov till ytterligare en köldbrygga, då via de vertikala träläckerna. Här bör annat material användas som har en lägre konduktivitet. Fördelen är att lätt kunna byta ut en trasig panel mot en ny utan att riskera de intilliggande samt att vid ombyggnation kunna återanvända panelerna.

Med VIP och stående panellås kan väggens U-värde minskas till 0,27 W/m,K vilket är 2,96 gånger bättre än tidigare. Panelernas U-värde kommer dock försämrats med tiden. Efter 25 år är väggens U-värde 0,36 W/m,K och skulle VIP-panelen punkteras skulle väggens U-värdet försämrats till 0,51 W/m,K.



Figur 3.7 Förslag med stående panellås. Konstruktionsdetalj, 3D- illustration samt förstoring

3.5.4 Montering av VIP med liggande panellås

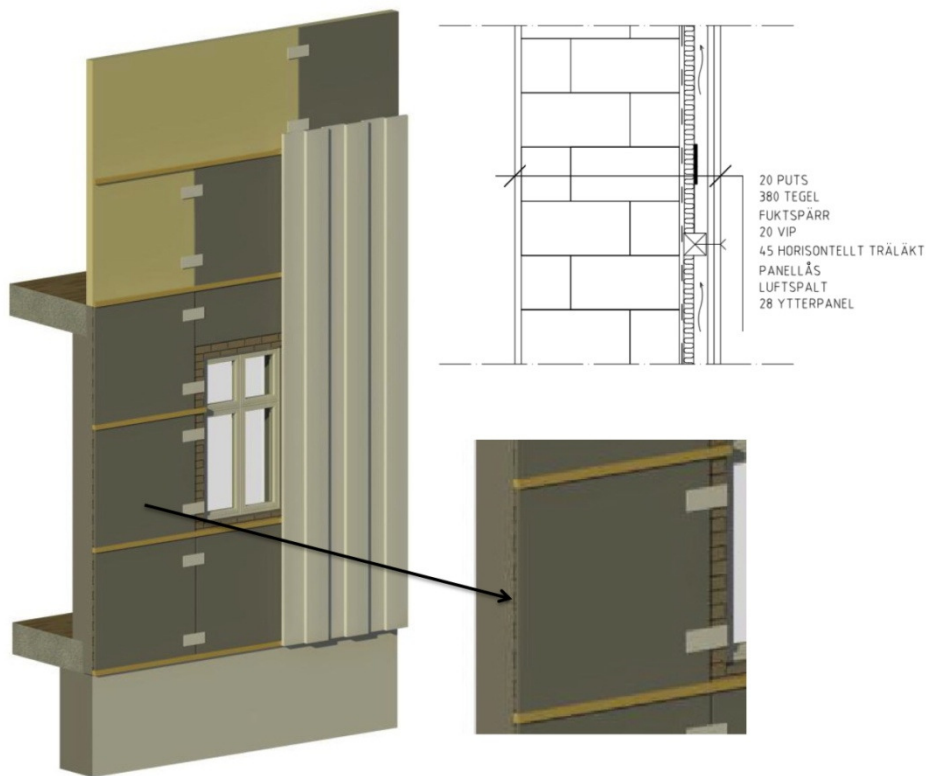
Ett annat alternativ är att ta fram en platta liknande den i exemplet tidigare 150x80 mm i hårdplast alternativt aluminium. Istället för att sätta den stående i ett vertikalt träläckt samt att använda spik kan man sätta panellåset liggande och med en skruv, se fig. 3.8. Låset fästs mellan två paneler mot fuktspärren, i teglet bakom vakuumisoleringspanelen, se fig. 3.9.



Figur 3.8 Liggande panellås med en skruv

På så vis blir glappen mellan panelerna mindre, de kan bevaras och bytas i framtiden utan risk för skada på andra paneler. Köldbryggan som uppstår på grund av skruvens diameter är mindre än med vertikala träläckt och kan minskas av drevning med mineralullsremсор mellan panelerna när dem monterats.

Med VIP och liggande panellås kan väggens U-värde minskas till 0,24 W/m,K vilket är 3,45 gånger bättre än tidigare. Panelernas U-värde kommer dock försämrats med tiden, efter 25 år är väggens U-värde 0,34 W/m,K och skulle VIP-panelen punkteras skulle väggens U-värdet försämrats till 0,50 W/m,K.



Figur 3.9 Förslag med liggande panellås. Konstruktionsdetalj, 3D- illustration samt förstoring

4 Mätning av termiska egenskaper

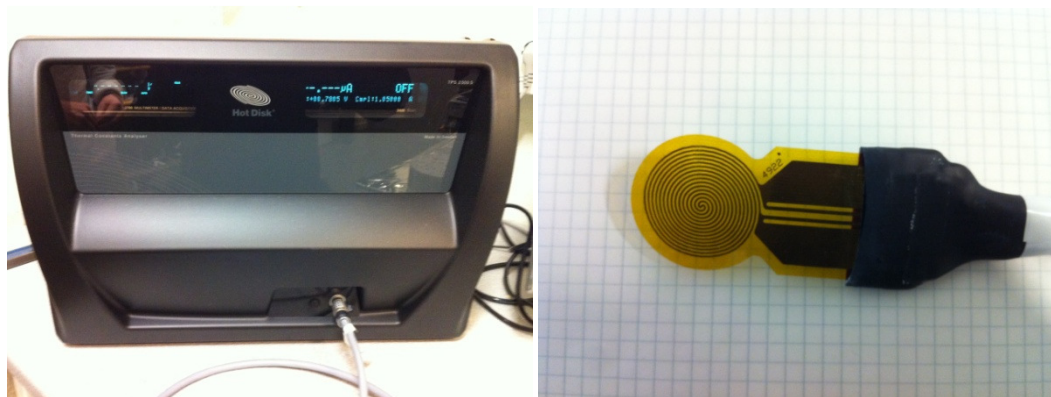
För att kunna utföra tester på vakuumisoleringspanelers termiska egenskaper har två typer av metoder använts. TPS metoden som är relativt ny metod samt en äldre och mer beprövad metod, Rapid-K thermal conductivity test.

4.1 TPS metoden

Transient Plane Source metoden (TPS-metoden) är framtagen för mätningar av olika materials termiska egenskaper. Metoden är utvecklad av Silas Gustafsson vid Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg.

En sensor, såkallad Hot Disk används för att utföra mätningarna. Denna verkar både som en värmekälla för att öka temperaturen hos provet samt som en motståndstermometer för att registrera den temperaturökning som sker över önskad tid. (Hot Disk Instruction manual, 2007)

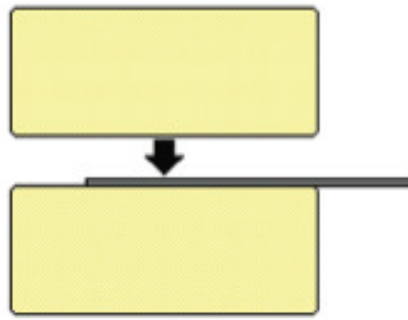
Sensorn består av en kontinuerlig nickel tråd som formats till en dubbel spiral. För att skydda nickelplattan, ge den bättre hållfasthet samt hålla den elektriskt isolerad har den kapslat in. Två typer av material används för detta och beror av hur höga temperaturer som provet ska utsättas för. Kapton, klarar temperaturer mellan 10 K och 500 K alternativt Mica som klarar temperaturer upp till 1000 K (Se bild). Sensorn kan mäta värmeledningsförmåga hos material mellan 0,005 W/m,K och 500 W/m,K. (Hot Disk Instruction manual, 2007)



Figur 4.1 Hot Disk, dator samt sensor 4922, $d=12,28$ mm

Enligt Silas Gustafsson har mätningar gjorts på olika standardiserade material. Dessa visar på en noggrannhet hos maskinen på ± 5 % över hela skalan av värmeledningsförmåga. (Hot Disk Instruction manual, 2007)

Sensorn placeras under tryck mellan två prover av samma slag, se fig. 4.2. Extra tryck kan appliceras för att få så stor kontaktyta mellan proverna och sensorn som möjligt. Något som kan påverka resultatet. (Hot Disk Instruction manual, 2007)



Figur 4.2 Sensor placeras mellan två material för mätning av termiska egenskaper

Innan testet kan påbörjas behöver ett antal parametrar ställas in för att ge ett så bra resultat som möjligt. Till exempel önskad strömtillförsel, testets tidsintervall, provet tjocklek, temperaturökning per tidsenhet samt antalet punkter i provet som ska registreras. Tiden det tar för att genomföra ett test regleras utifrån önskemål men här har 160 sekunder valts. (Hot Disk Instruction manual, 2007)

4.2 Holometrix, Rapid-k

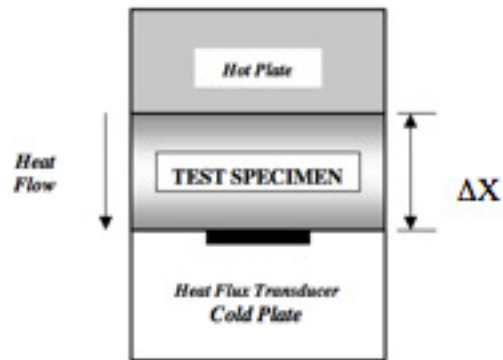
Rapid-k thermal conductivity test eller plattvärmare se fig. 4.3 använder sig av en relativt enkel teknik för att ta fram materialets värmeflödesegenskaper. Tekniken är äldre än TPS-metoden och därmed mer beprövad. Den är dock inte lika flexibel i sin användning som Hot Disk. Ett test i värmeflödesmätaren tar ca 24 timmar att utföra. Provkroppen får inte vara större än 305x305x100 mm för att kunna få plats i maskinen. Detta medför att special beställda VIP-paneler med dessa mått måste beställas för att testet skulle kunna utföras.



Figur 4.3 Plattvärmare stängd (vänster) samt öppen (höger)

Värmeflödesmätaren skapar ett stabilt endimensionellt tillstånd av värmeflöde genom provkroppen som placeras mellan de två parallella plattorna. Den övre plattan värms upp och den undre plattan kyls ner tills ett konstant temperaturtillstånd uppnås, se fig. 4.4.

Värmen rör sig från den varma plattan genom provkroppen till den kalla plattan och på så sätt kan värmeflödet genom provkroppen registrerats (Lawson R, Walton W, Bryner N, Amon F, 2005)



Figur 4.4 Illustration över hur plattvärmare fungerar (Lawson R, Walton W, Bryner N, Amon F, 2005 sida 6)

För att få fram det specifika materialets värmeledningsförmåga används Fouriers lag:

$$J = \lambda \frac{A * \Delta T}{\Delta X}$$

Enligt Fouriers lag är värmeflödet J (Ws) genom provkroppen proportionerligt mot tvärsnittsarea A (m²) av provkroppen samt mot temperaturskillnaden mellan den kalla och den varma sidan ΔT (°C) i värmeflödesmätaren. Även så omvänt proportionellt mot provkroppens tjocklek ΔX (m). För att få fram materialets värmeledningsförmåga λ i detta fall kan denna brytas ut ur formeln. Värmeledningsförmågan λ kan tas fram om alla andra faktorer är kända. (Lawson R, Walton W, Bryner N, Amon F, 2005)

4.3 Akustik

Testerna utfördes i fyra olika setuper och var konstruerade så att en stöthammare slogs mot en intakt panel 2x20 gånger, se fig. 5.1. Där efter så räknar en dator ut med hjälp av VXI datainsamlingssystem ett medelvärde mellan dem 2x20 slag som utförts på panelerna och den resonans som registrerades från panelen. Slutligen konstruerades ett diagram av resultaten med hjälp av Matlab, se fig. 5.2. Processen upprepades efter att panelen punkterats 2x20 gånger, se fig. 5.3.



Figur 4.5 Överblick akustiktest, mikrofon, hammare, VIP monterad på betongvägg

5 Resultat

Nedan redovisas resultaten från de olika analyser som gjorts.

5.1 TPS- metoden

Resultatet är baserat på mätningar gjorda på olika vakuumisoleringspaneler. Parallellt med mätningarna har resultaten analyserats, dessa redovisas nedan.

Vid mätningarna har fyra olika VIP-paneler använts, R och J (RJ) som är två paneler i storleken 1000x500x20 mm. C och D (CD) som är två paneler i storleken 300x300x20 mm.

Tester på panelerna R och J har även utförts efter dem har punkterats. Detta för att undersöka hur stora förändringar det blir i dess termiska egenskaper om panelerna är intakt respektive defekta. Detta utläses i resultaten som (RJ-P).

Mätningarna med TPS har utförts med fyra olika sensorer. Sensor 5501A och 5501B med en radie på 6,14 mm. 5501C med en radie på 6,14 mm men som har en smal hals samt 4922 med en radie på 12,28 mm. TPS mätningar har gjorts på panelerna, R, J, C samt D.

Mätningar är gjorda med varierande tryck, varierande effekt (VE) samt med och utan gel. Gelen används för att få en större kontaktyta mellan panelerna och sensorn, detta med hänsyn till vakuumisoleringspanelernas ojämna yta.

Efter att ha tittat på dem mest avvikande resultaten från TPS mätningarna i de olika fallen, har resultaten över dessa sammanställts. Procentuella skillnader i alla tidsintervall samt temperaturskillnader med avseende på medeltemperatur och dess varianskoefficienter.

5.1.1 Resultat för olika paneler, med och utan gel

Följande är en temperaturjämförelse mellan:

- Olika paneler, RJ samt CD med varierande tryck
- Opunkterade paneler RJ samt punkterade paneler RJ-P
- Paneler CD med och utan gel samt varierande effekt, CD-VE och CD-VE-GEL, sensor 5501C

- Procentuell skillnad mellan panelerna R, J och C, D, tryck 1.18 kPa med sensor 5501 A och B.

	Temperatur efter 40 sek	Temperatur efter 80 sek	Temperatur efter 160 sek
VIP (RJ) 1,18 kPa (5501A)	4,5	6,1	7,8
VIP (CD) 1,18 kPa (5501B)	5,5	7,0	8,6
Temperaturskillnad i %	23,5	14,9	9,5

- Procentuell försämring mellan panel R och J, opunkterad samt punkterad, tryck 1.18 kPa, sensor 5501A.

	Temperatur efter 40 sek	Temperatur efter 80 sek	Temperatur efter 160 sek
VIP (RJ) 1,18 kPa (5501A)	4,5	6,1	7,8
VIP (RJ-P)1,18kPa (5501B)	3,1	4,2	5,3
Temperaturskillnad i %	29,8	30,6	31,5

- Procentuell skillnad mellan panelerna C och D, med och utan gel samt effekt 20mW, sensor 5501C.

	Temperatur efter 40 sek	Temperatur efter 80 sek	Temperatur efter 160 sek
VIP (CD-VE) 4,95 kPa 20mW (5501C)	5,3	7,0	8,8
VIP (CD-VE-GEL) 4,95 kPa 20mW (5501C)	0,7	1,2	1,9
Temperaturskillnad i %	582,7	459,8	361,5

- Procentuell skillnad mellan panelerna C och D, med och utan gel samt effekt 40mW, sensor 4922

	Temperatur efter 40 sek	Temperatur efter 80 sek	Temperatur efter 160 sek
VIP (CD-VE) 4,95 kPa 40mW (4922)	2,7	4,1	5,9
VIP (CD-VE-GEL) 4,95 kPa 40mW (4922)	0,3	0,5	0,9
Temperaturskillnad i %	831,2	683,1	541,1

5.1.2 Resultat för varierat tryck, tillförd effekt, med och utan gel

Följande är en jämförelse mellan:

- Varierande tryck
 - Varierande effekt
 - Varierande effekt med gel
-
- Varierande Tryck (RJ) (5501A)

	Temperaturskillnader i % efter 160 sek
VIP (RJ) 1,18 kPa	0,6
VIP (RJ) 2,98 kPa	0,5
VIP (RJ) 3,77 kPa	0,9
VIP (RJ) 4,95 kPa	1,6
VIP (RJ) 6,40 kPa	0,6

- Varierande Tryck (CD) (5501B)

	Temperaturskillnader i % efter 160 sek
VIP (CD) 1,18 kPa	1,3
VIP (CD) 2,98 kPa	0,6
VIP (CD) 3,77 kPa	0,1
VIP (CD) 4,95 kPa	0,4
VIP (CD) 6,40 kPa	0,5

- Varierande Effekt (VE) (CD) (4922)

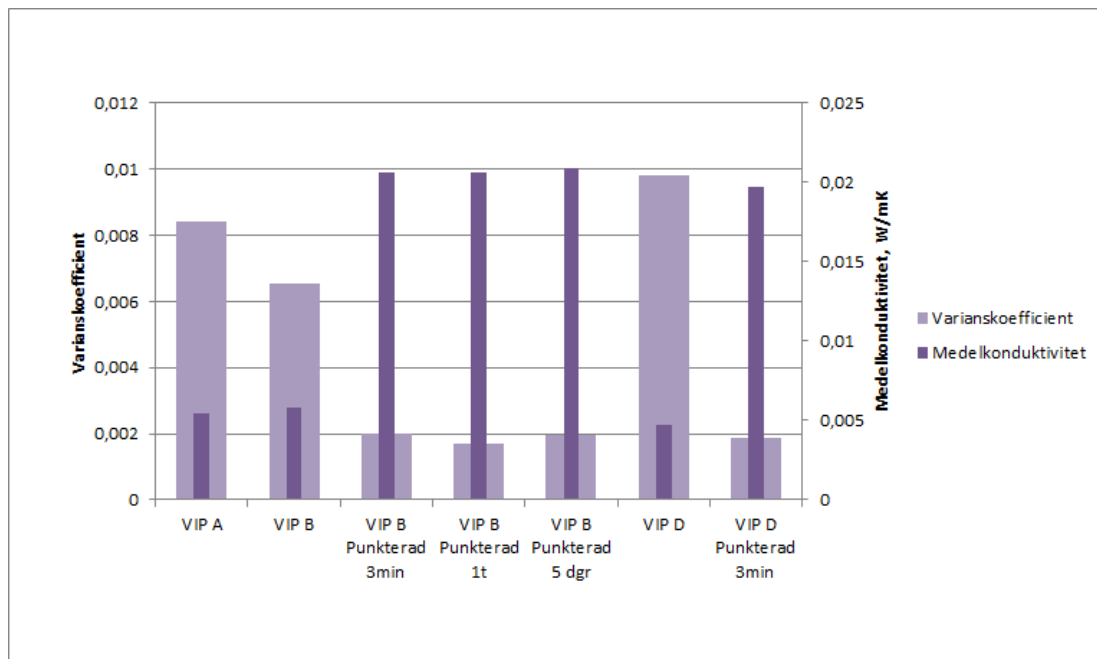
	Temperaturskillnader i % efter 160 sek
VIP (CD) 40mW 4,95 kPa	2,0
VIP (CD) 60mW 4,95 kPa	0,3
VIP (CD) 80mW 4,95 kPa	0,5
VIP (CD) 120mW 4,95 kPa	0,2

- Varierande Effekt (VE) med gel (CD)

	Temperaturskillnader, % efter 160 sek
VIP (CD-VE-GEL) 20mW 4,95 kPa	4,0
VIP (CD-VE-GEL) 40mW 4,95 kPa	0,7
VIP (CD-VE-GEL) 60mW 4,95 kPa	0,7
VIP (CD-VE-GEL) 80mW 4,95 kPa	0,5

5.2 Plattvärmare

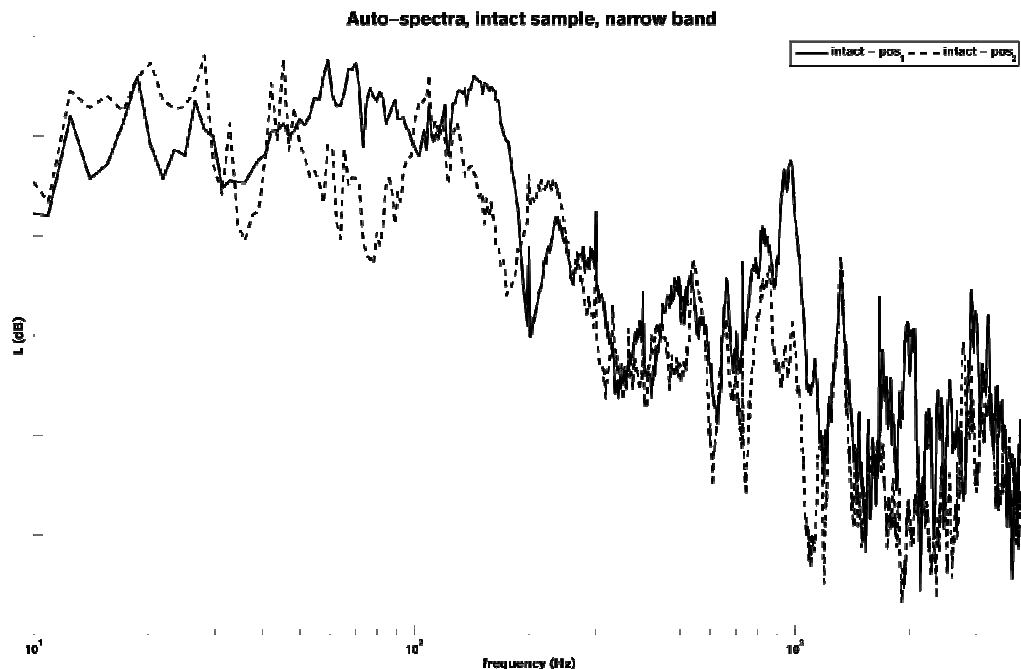
Från 2012-01-20 har panelerna VIP A samt VIP B legat i ugn i 120°C. Detta för att kunna se hur panelernas termiska egenskaper påverkas då dem utsätts för påfrestningar över vad leverantören rekommenderar. Rekommendationer för maximal temperatur är 110°C. De sju testerna som utförts med plattvärmare gjordes med en temperaturdifferens på 20°C (30-10°C). Resultaten av dessa tester ses i fig. 5.1. Slutligen utfördes samma test på panel VIP D som är oanvänd och helt ny från fabrik.



Figur 5.1 Resultat av sju tester med plattvärmare (Holometrix Rapid- K) på VIP

5.3 Akustik

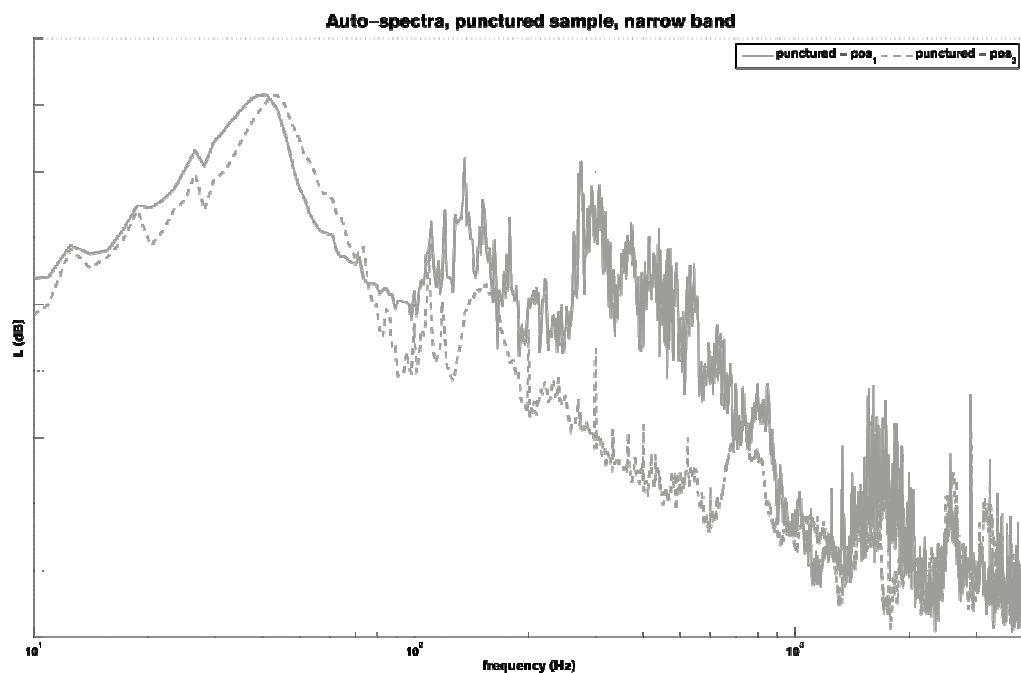
Syftet med dessa test var att se om man med hjälp av resonans kunde avgöra om en vakuumisoleringspanel var intakt eller defekt, se fig. 5.2 (intakt) samt fig. 5.3 (defekt).



Figur 5.2 Resultat, intakt panel från akustiktest

y- decibel (dB)

x- frekvens (Hz)



Figur 5.3 Resultat, defekt panel från akustiktest

y- decibel (dB)

x- frekvens (Hz)

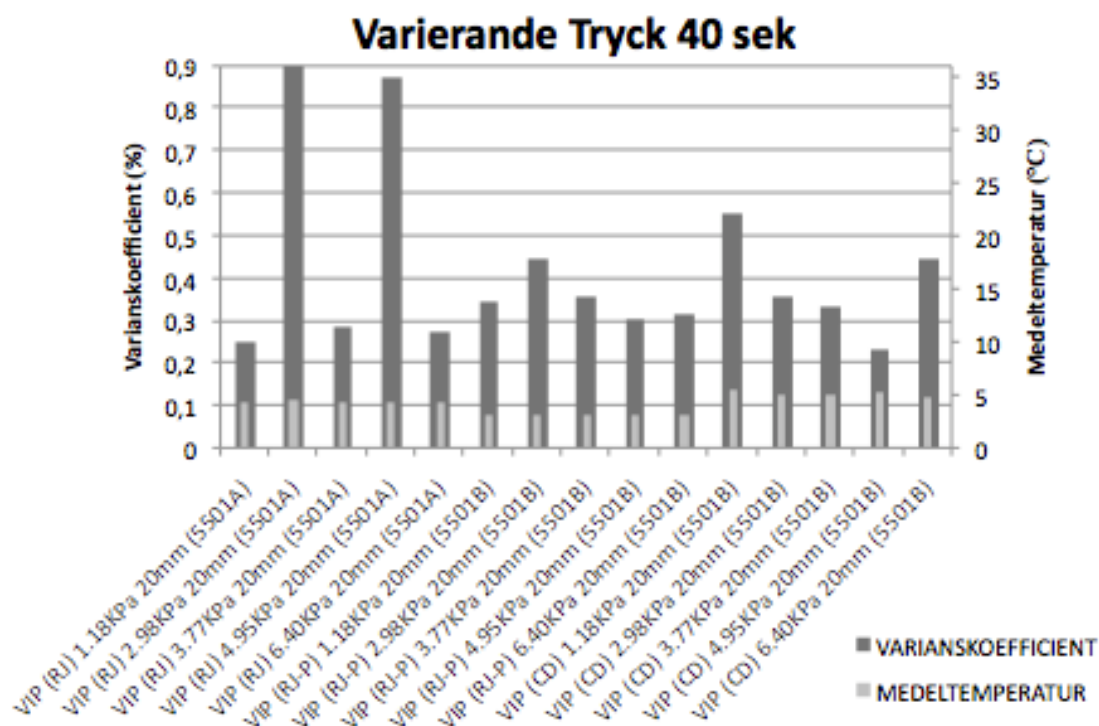
6 Analys av mätningar

Nedan följer analyser av de tester som utförts på vakuumisoleringspanelerna. TPS-metoden, plattvärmare samt akustiktest.

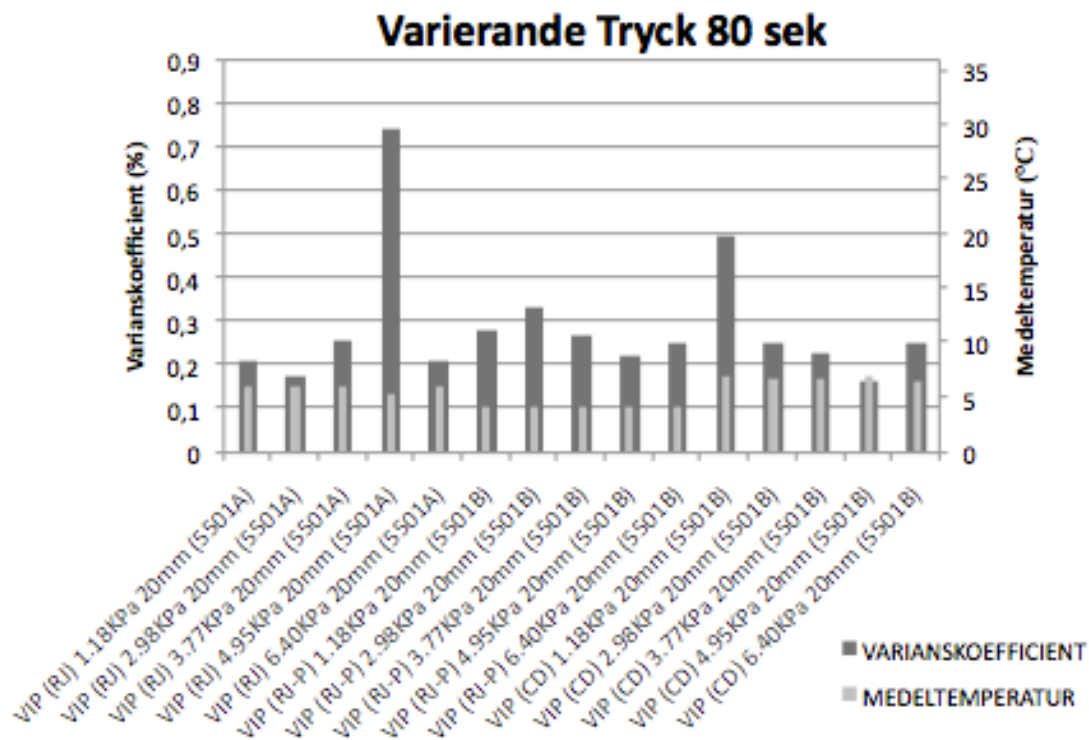
Observera att när testerna med varierande effekt startades upp förstördes sensor 5501A, pga. för stor använd effekt. Detta ledde till att panelerna R samt J punkterades. Mätningar förlöpte med sensor 5501B som är av samma storlek och typ som 5501A, detta för att mätningarna skulle kunna förlöpa som planerat. Ett test utfördes på den nya sensorn 5501B för att säkerställa att avvikande resultat ej skulle bero på bytet, 5501A och 5501B är alltså likvärdiga. Sensor 5501C är av samma storlek som hela 5501-serien dock har den en smal hals men med samma radie. Slutligen användes sensor 4922 som har dubbla radien.

6.1 Mätningar med hjälp av TPS-metoden

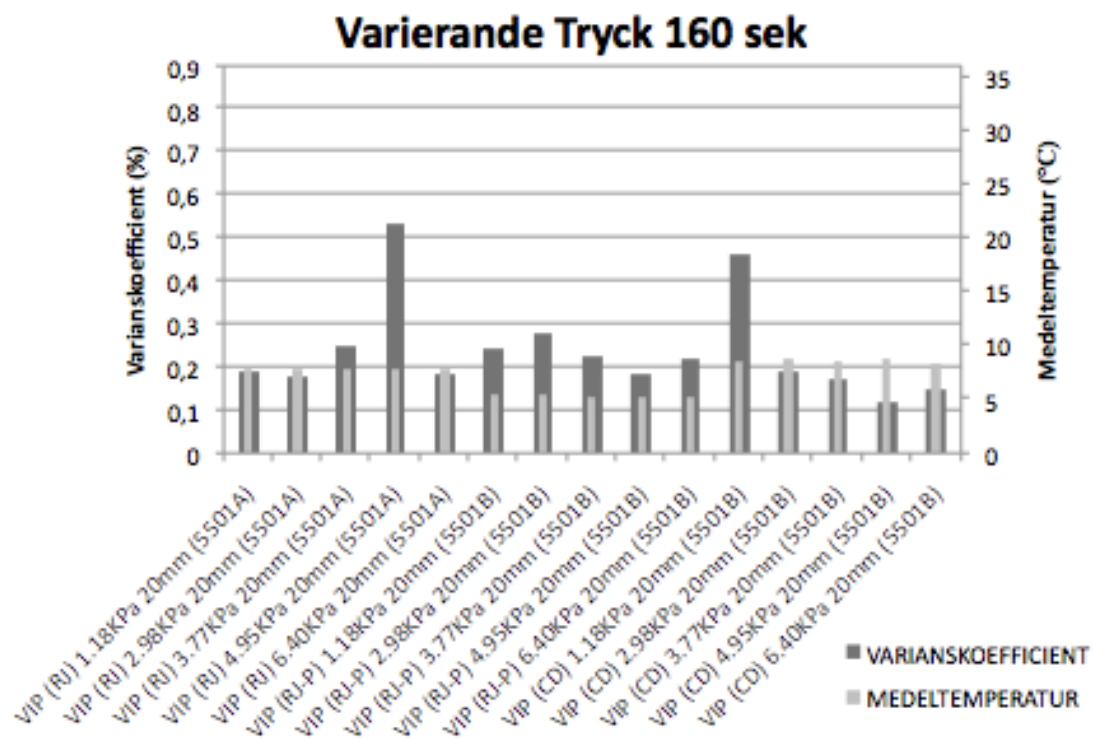
6.1.1 Varierande tryck [Pa]



Figur 6.1 Temperaturökning och varianskoefficient vid varierande tryck efter 40 sekunder



Figur 6.2 Temperaturökning och variationskoefficient vid varierande tryck efter 80 sekunder



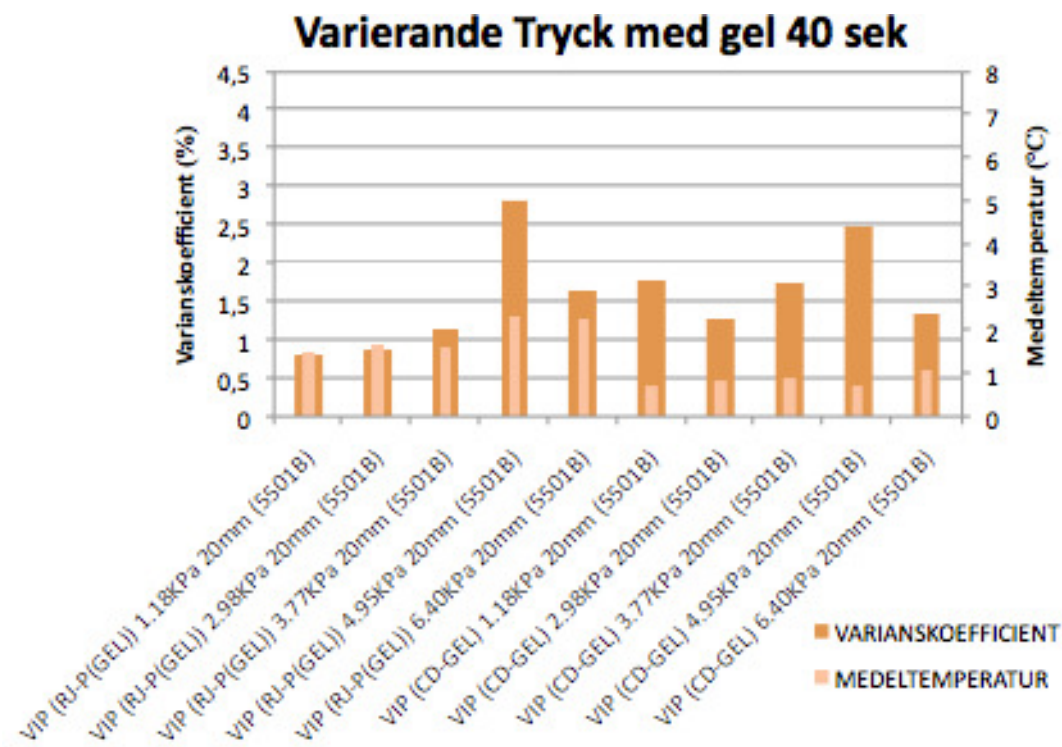
Figur 6.3 Temperaturökning och variationskoefficient vid varierande tryck efter 160 sekunder

I graferna för varierande tryck visas medeltemperatur och varianskoefficient från de olika TPS testerna i tre tidsintervall 40, 80 och 160 sekunder.

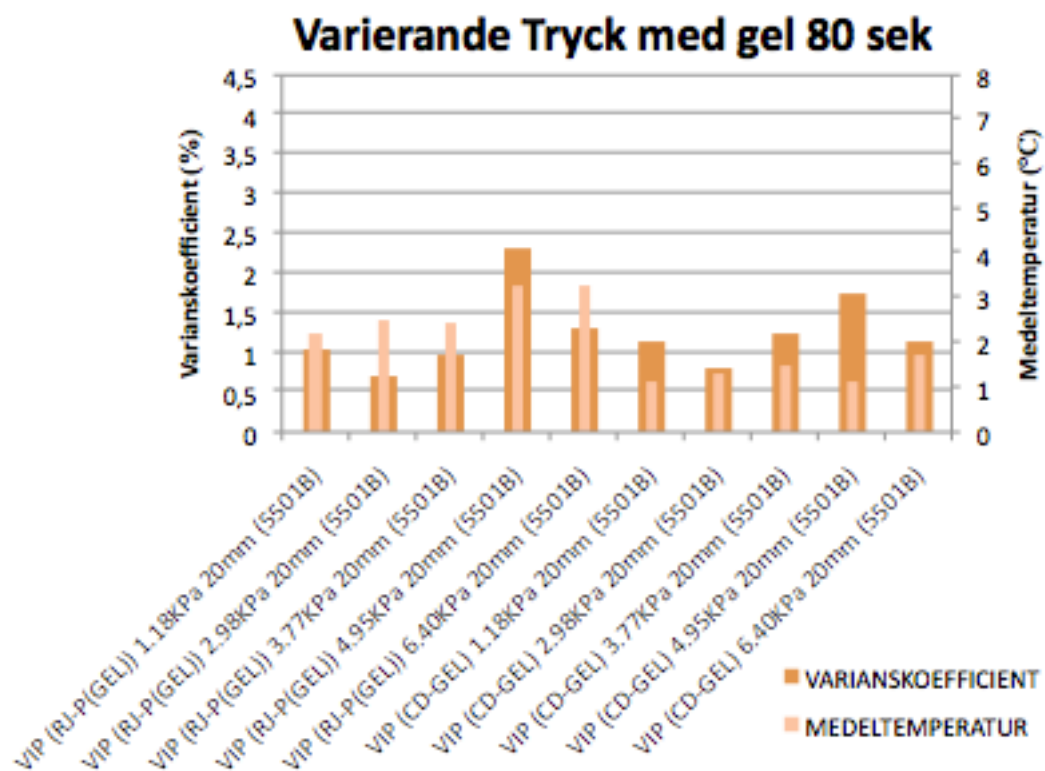
När det gäller medeltemperaturerna oavsett sensor, panelens tillstånd eller typ kan ett jämnt samband ses inom respektive tidsintervall. Man kan följa en jämnt stigande kurva i de olika tidsintervallen.

Varianskoefficienten följer inget bestämt samband. I de första setuperna oavsett tidsintervall händer det någonting med panelerna R och J vid tryck 4.95 kPa. Tittar man på punkterade paneler (RJ-P) kan man se en hyfsat jämn kurva, men med stegvis minskande staplar i tidsförloppet. VIP CD avviker från de jämna sambanden vid tryck 1.18KPa, se fig. 5.1 då den har en onormal hög stapel.

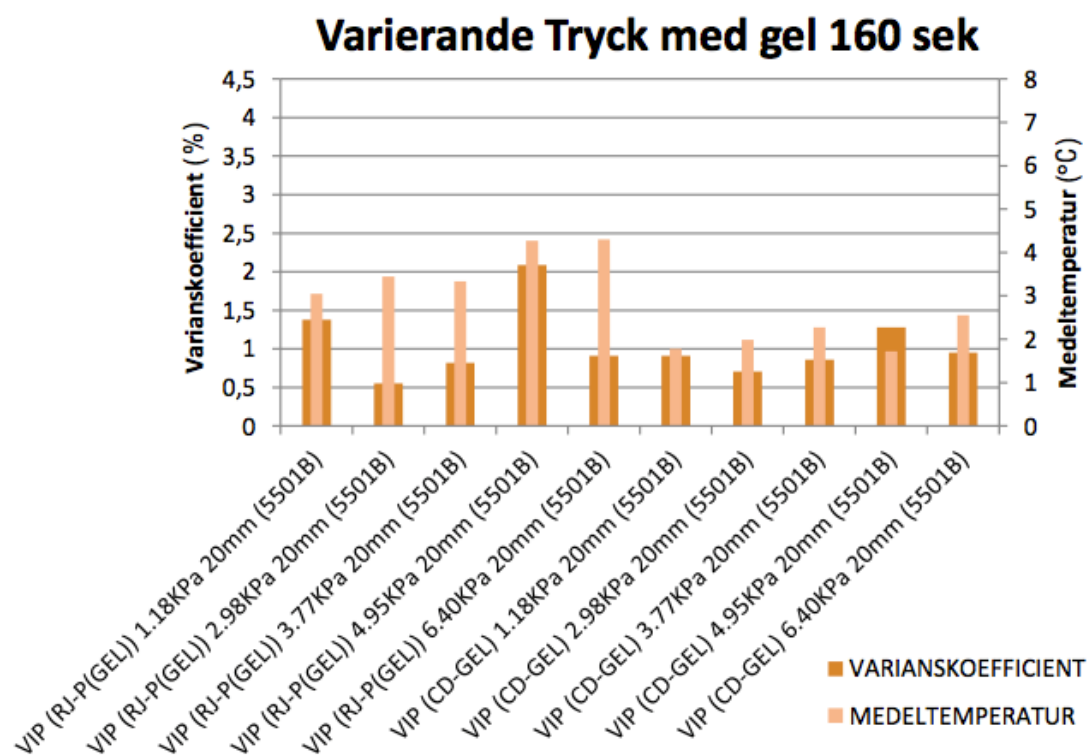
6.1.2 Varierande tryck med gel



Figur 6.4 Temperaturökning och varianskoefficient vid varierande tryck med gel efter 40 sekunder



Figur 6.5 Temperaturökning och varianskoefficient vid varierande tryck med gel efter 80 sekunder

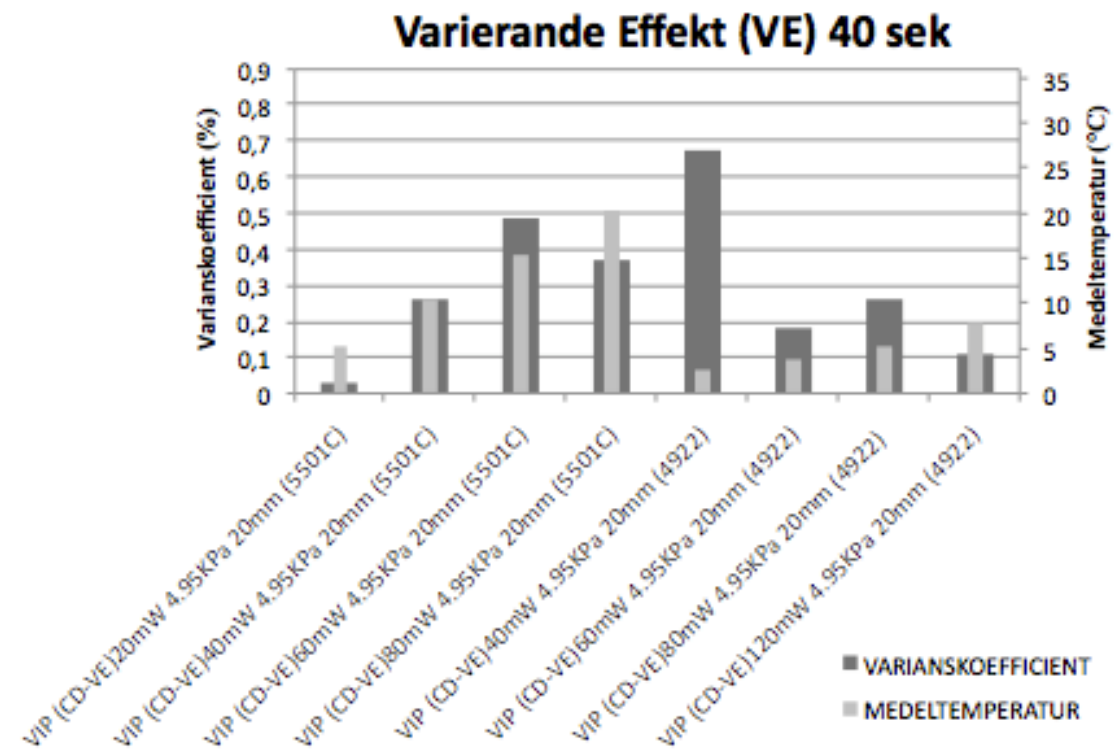


Figur 6.6 Temperaturökning och varianskoefficient vid varierande tryck med gel efter 160 sekunder

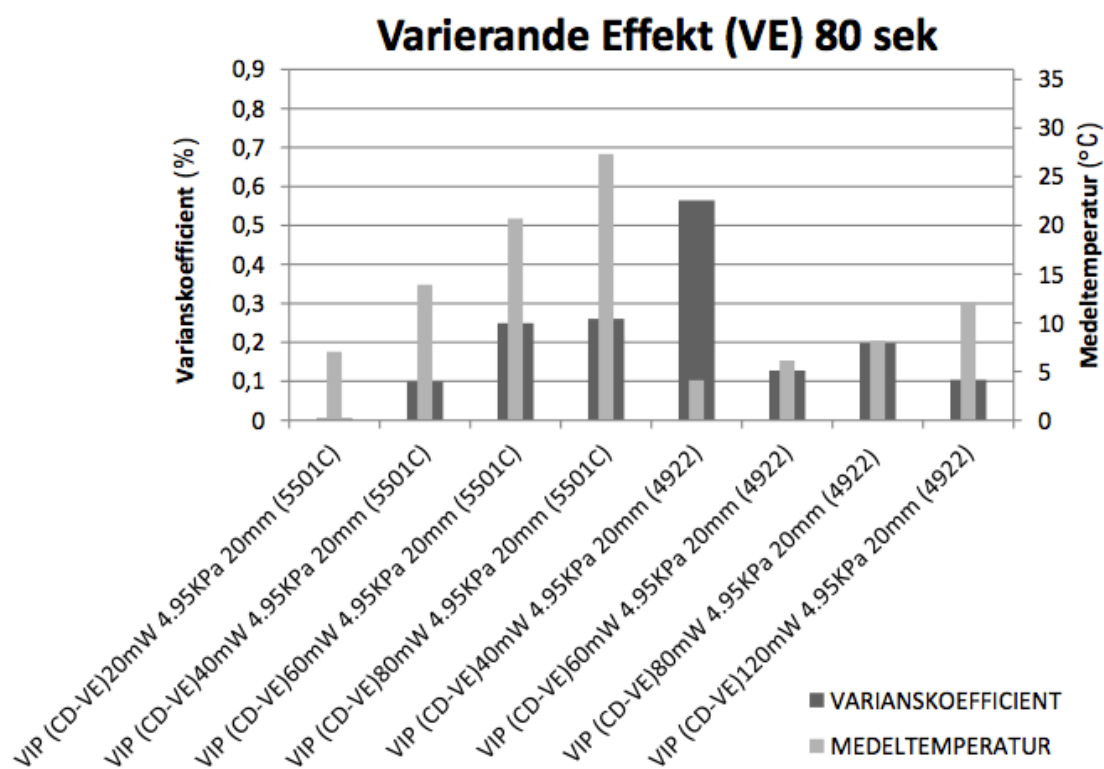
I graferna för gel applicerad på sensor, kan man se på de punkterade panelerna RJ-P en stegvis ökande kurva vad gäller temperatur. Vad gäller medeltemperatur för panelerna C och D ses en ökning i diagrammet, dock med tryck 4.95 kPa händer det något i testet som leder till en vändpunkt i mönstret.

Varianskoefficienten följer inget mönster förutom för de punkterade panelerna i den första tidsintervallen 40 sekunder, då den stiger. De resterande försöken är för ojämna för att se något samband.

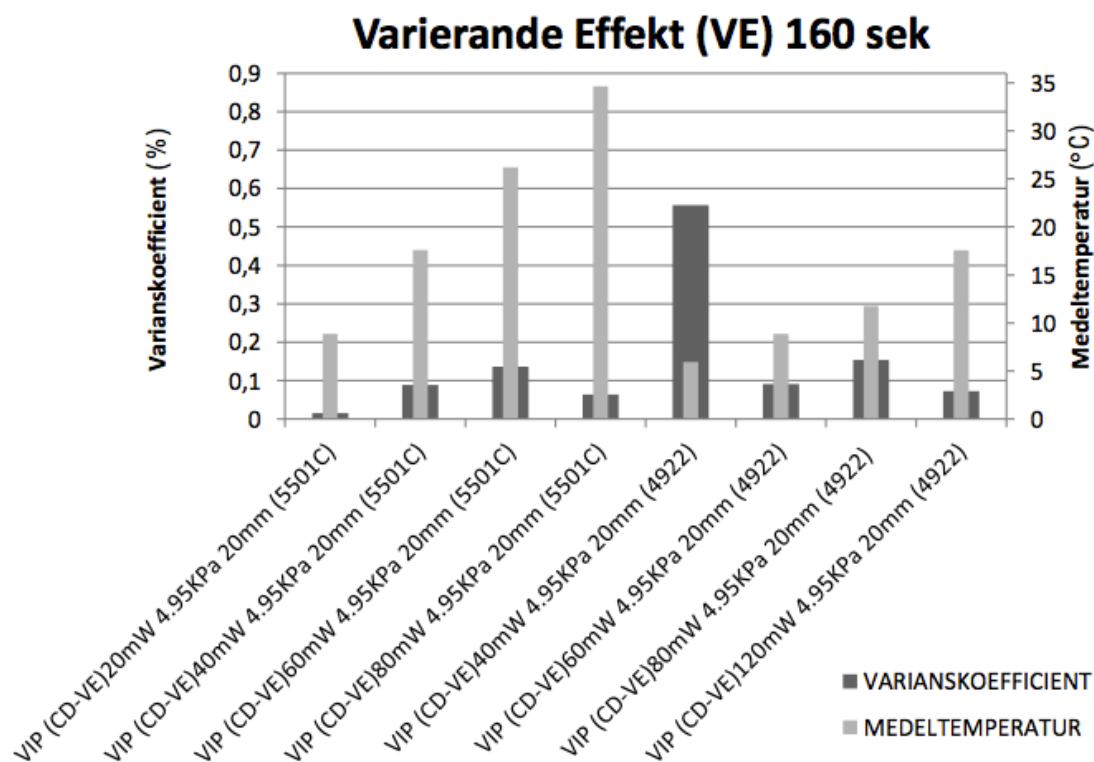
6.1.3 Varierande effekt [W]



Figur 6.7 Temperaturökning och varianskoefficient vid varierande effekt efter 40 sekunder



Figur 6.8 Temperaturökning och variationskoefficient vid varierande effekt efter 80 sekunder

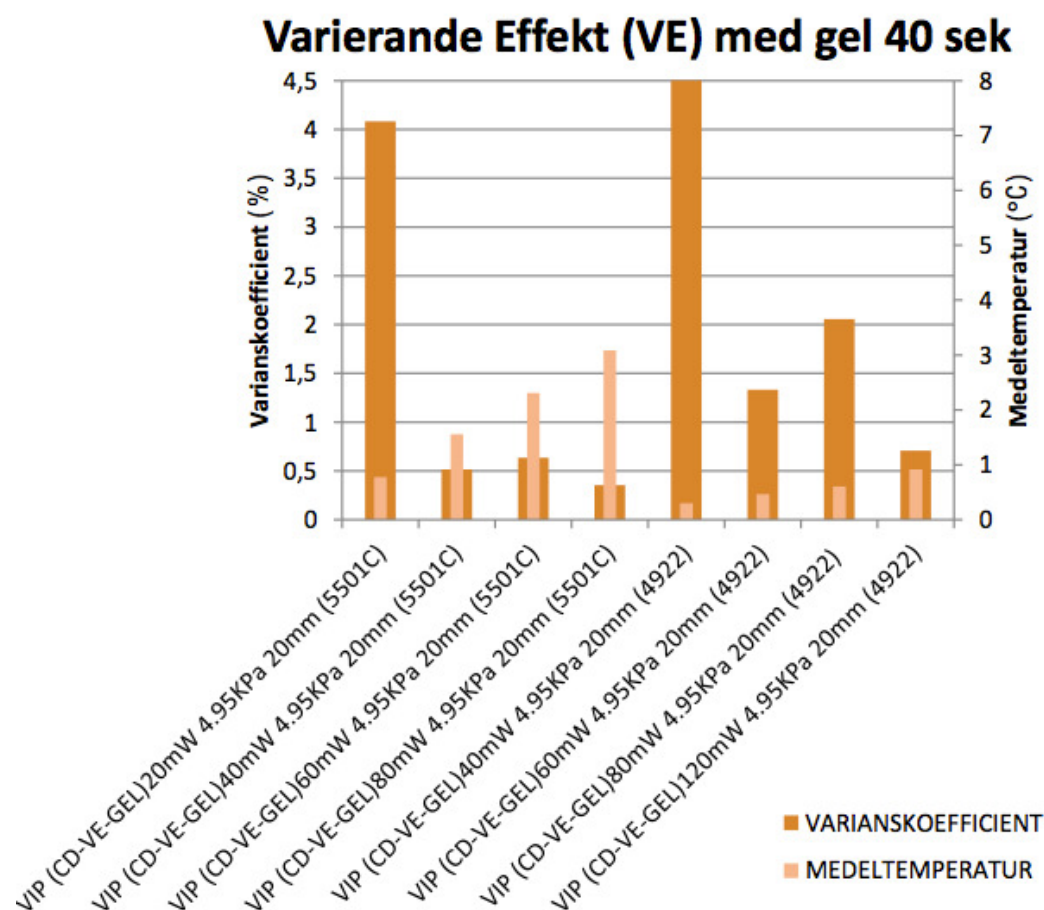


Figur 6.9 Temperaturökning och variationskoefficient vid varierande effekt efter 160 sekunder

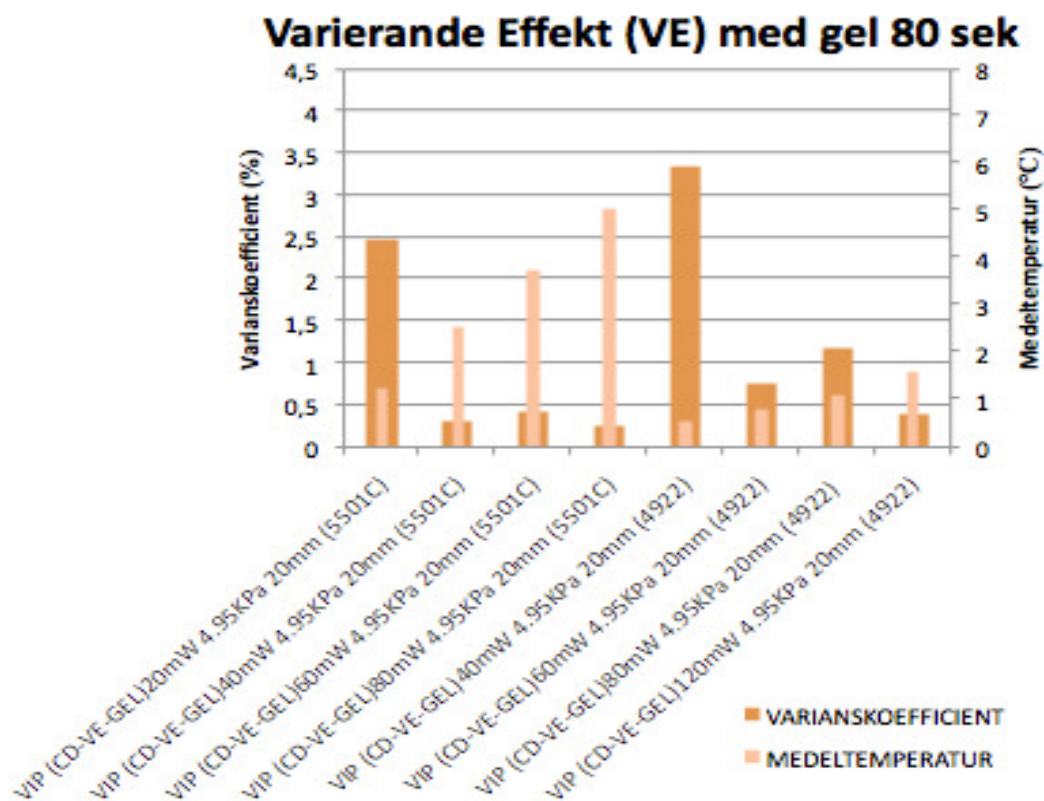
Medeltemperaturerna för de tester gjorda med sensor 5501C samt 4922 visar graferna båda en stegande kurva inom de olika setuperna men även inom de olika tidsintervallen.

Varianskoefficienten är ojämn men en liten ökning kan ses för sensor 5501C. En vändpunkt fås vid effekten 60 mW där varianskoefficienten sjunker något i stället för att stiga ytterligare. Samtidigt kan man se att varianskoefficienten blir mindre och mindre med tidsintervallen. För sensor 4922 har testerna en mycket hög varianskoefficient för det första testet med effekten 20mW. I övrigt är resterande staplar ojämn och låga. Inom dem olika tidsintervallen ses också en sjunkande varianskoefficient.

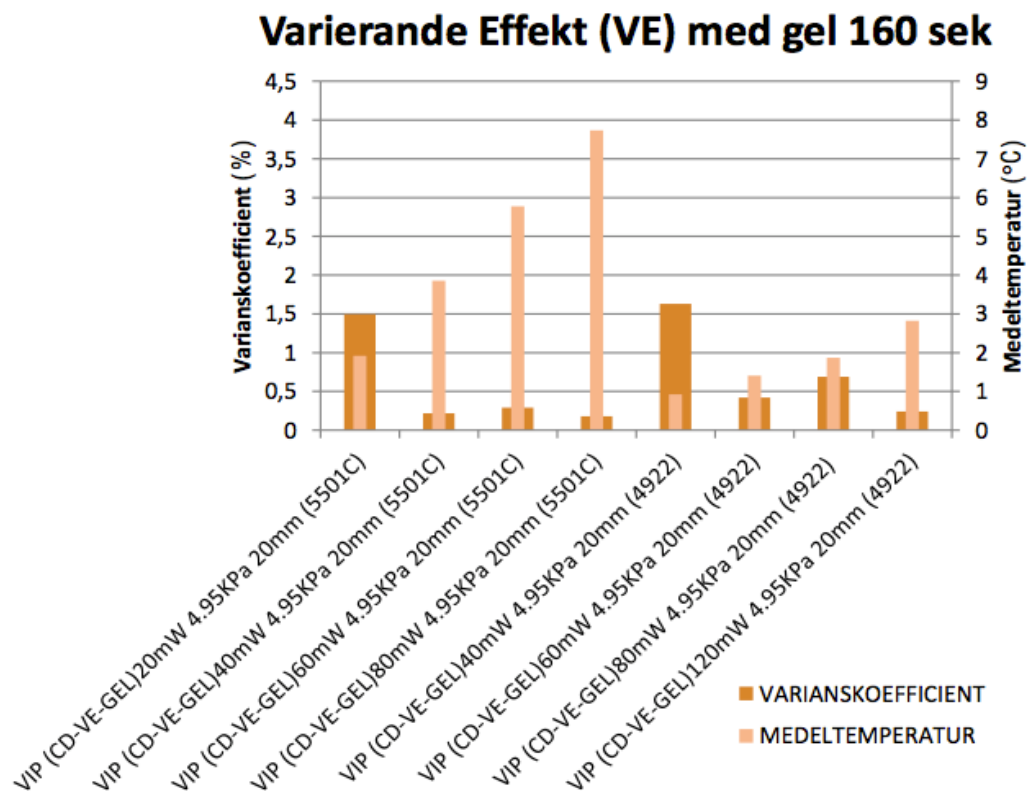
6.1.4 Varierande effekt med gel



Figur 6.10 Temperaturökning och varianskoefficient vid varierande effekt med gel efter 40 sekunder



Figur 6.11 Temperaturökning och varianskoefficient vid varierande effekt med gel efter 80 sekunder

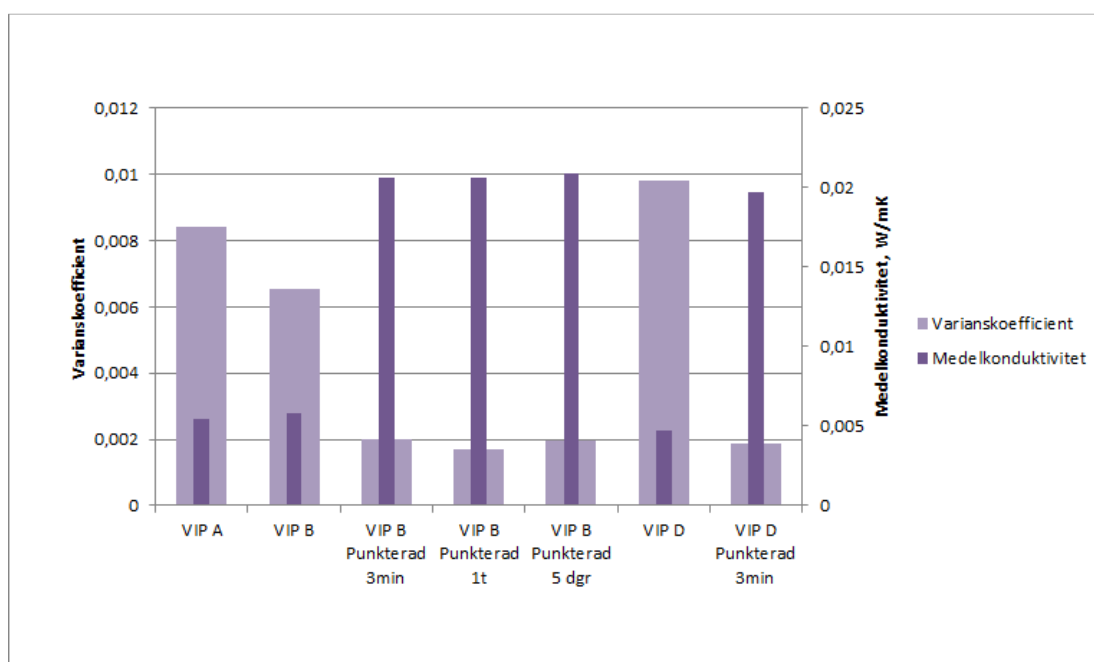


Figur 6.12 Temperaturökning och varianskoefficient vid varierande effekt med gel efter 160 sekunder

Grafer visar medeltemperaturernas beteende i en stigande kurva både för sensor 5501C och 4922. Samtidigt ses även en stegvis ökning i värme inom tidsintervallen.

Variationskoefficienten är relativt jämn genom de olika setuperna. Vid 40 mW respektive 20 mW händer något för testerna med de olika sensorerna. Staplarna är mycket höga men sjunker sedan drastiskt ner mot låga staplar. Tidsintervallen är även här orsaken till att variationskoefficienten sjunker stegvis.

6.2 Mätningar med hjälp av plattvärmare



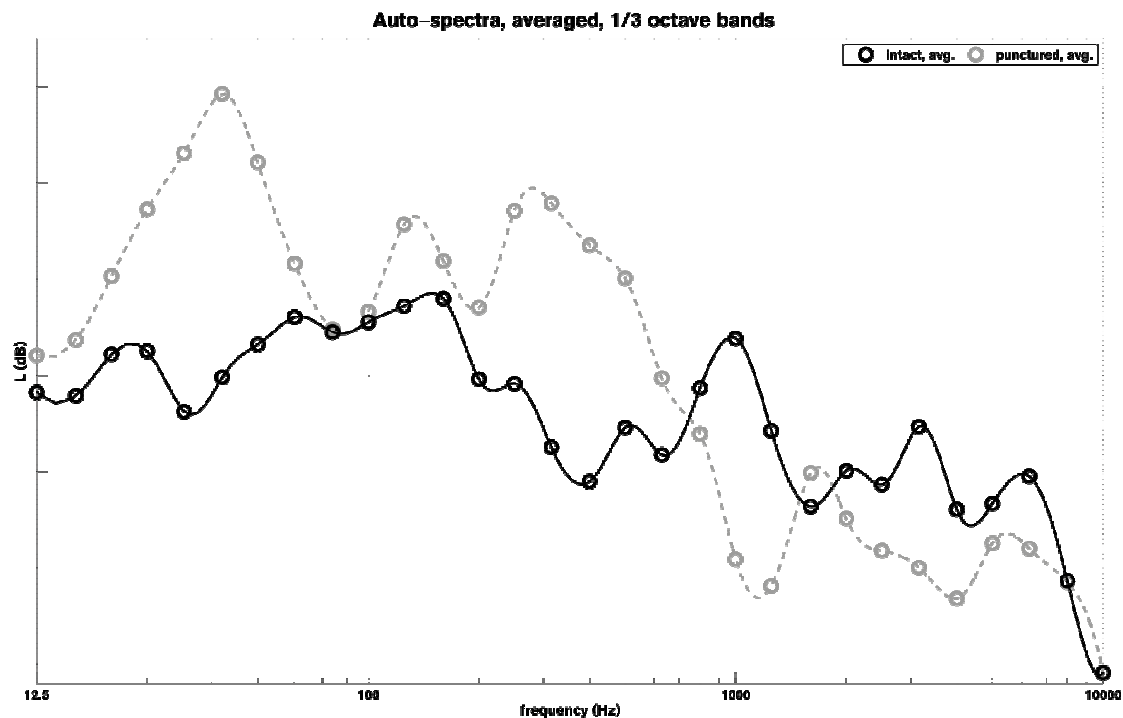
Figur 6.13 Graf över samtliga test med plattvärmare

Medelkonduktiviteten togs fram genom att ta ut 15 av de sista 38 mätningarna som gjordes. Därefter beräknades ett medelvärde av dessa. Grafen visar sambanden mellan medelkonduktiviteten och variationskoefficienten för de olika testerna. Grafen visar att variationskoefficienten för defekta paneler har en större spridning av värme procentuellt än för intakta paneler.

Variationskoefficienten är högre för VIP D som är en oanvänd intakt panel än för VIP A och VIP B som båda är intakta men som har utsatts för höga temperaturer. För punkterade paneler syns en betydligt lägre variationskoefficient än för panelerna som var intakta, dock ingen stor skillnad defekta sinsemellan, se fig. 6.1.

När det gäller medelkonduktiviteten ser man att hela paneler har mycket lägre och bättre värde än för punkterade paneler. Paneler som har punkterats har fyra gånger sämre konduktivitet än för ej punkterade paneler. Paneler som är punkterade efter olika tidsintervaller visar en så gott som oförändrad försämring i konduktivitet.

6.3 Mätningar med hjälp av akustik



Figur 6.14 Sammanställd graf över akustiktest

Observera att figur 6.14 är en förfinad sammanställning av båda figurerna som visas i resultatkapitlet. Detta för att enklare kunna analysera testerna.

I fig. 6.14 syns ett tydligt samband mellan panelens tillstånd och dess utslag i testerna. Grå linje är ett beräknat medelvärde för de båda testerna som gjorts med punkterad panel.

I samma graf, representerar svart linje ett beräknat medelvärde för de båda testerna som gjordes med intakt panel.

Tittar man på dem båda linjerna i figuren, gråa och svarta syns en tydlig skillnad mellan punkterad (defekt) och ej punkterad (intakt) panel.

7 Slutsatser

7.1 TPS- metoden

Mätningar gjorda med tryckökning skulle visa på tryckets inverkan på bättre testresultat alltså om sensorerna kunde få bättre kontaktyta med vakuumisoleringspanelernas ojämna yta. Resultatet visar att tryckskillnaden mellan 1,18 kPa och 6,4 kPa gav indikationer på att kontaktytan har liten eller ingen betydelse för temperaturspridningen i panelen. Temperaturskillnaden var den samma oavsett tryck. Dock ska det tilläggas att skillnaderna i de olika trycken inte var speciellt stora.

Med varierande tryck och gel var det svårare att se något samband då temperaturerna var mycket ojämna. En mycket lägre temperatur erhöles vilket kan bero på att gelen spred värmen snabbare i panelen samt ger en bättre kontaktyta.

Med varierande effekt sågs en stigande kurva i graferna och med det kan sägas att, högre effekt har betydelse för högre temperatur. Högre varianskoefficient medför att det är svårare att upprepa testerna med stabila resultat. Detta kan bero på att gelen torkat ut efter ett antal provningar.

Jämförda resultat mellan en panel som var intakt med en som var defekt visade att temperaturen minskade med nästan 50 %, vilket ger en tydlig signal att panelerna i detta fall var trasiga. Detta kunde utläsas ur resultaten genom att se att temperaturen halverats när testerna utförts.

Samma observation kan göras om temperaturskillnaden vid tester gjorda på paneler med och utan gel (oavsett tryck och effekt), värmen sprider sig snabbare med gel vilket kan bero på att kontaktytan förbättras.

Olika temperaturer erhålls i paneler från olika leverantörer, detta kan bero på att olika leverantörer har olika materialuppsättningar som gör att temperaturen påverkas.

7.2 Värmeplatta

Med hjälp av plattvärmaren som mätutrustning bekräftades det faktum att en nyproducerad panel hade en konduktivitet på runt 0,005 W/m,K. Detta är inom spannet för utlovad konduktivitet hos en ny panel, som är mellan 0,003 och 0,005 W/m,K. En punkterad panel hade försämrat sin förmåga till ungefär 0,019 W/m,K, vilket var bättre än vad som utlovas. För panelerna som hade legat i ugn i 120 °C hade konduktiviteten försämrats till 0,0054 W/m,K respektive 0,0058 W/m,K och därmed försämrats marginellt i jämförelse med den utlovade konduktiviteten. Då leverantören säger att max temperatur för panelerna är 110 °C bekräftar försämringen detta.

Tester gjordes även för punkterade paneler. Frågeställningen var om ett samband fanns mellan tiden en panel vart punkterad och dess konduktivitet efter bestämd tidsperiod. Testerna utfördes med tre minuter, en timma och fem dagars mellanrum. Resultaten visade att efter 3 minuter hade panelen helt fylls med luft, då resultaten efter 5 dagar endast hade påverkats marginellt. Här sågs även ett tydligt samband mellan varianskoefficienterna och om panelen är intakt eller defekta.

7.3 Akustik

Då mätningarna gjorda med akustik inte var så omfattande lades fokus endast på om det gick att urskilja om panelen var intakt eller defekt med hjälp av resonans. Resultaten visar att rörelsemönstret i panelens olika tillstånd skiljer sig, alltså kan man se om panelen är intakt eller defekt med hjälp av resonans.

I grafen, se fig. 6.14 kan skillnad ses mellan en intakt panels beteende och en defekt. Den panel som är intakt (svart linje) har en flackare lutning än den som är defekt (grå linje).

Den svarta flacka linjen visar på att den panel som är intakt är i ett mer kompakt tillstånd än den grå som representerar den defekta panelen. Vilket borde vara fallet då intakt panel är tömd på luft och materialet är packat.

Dock skall tilläggas att endast ett fåtal tester utfördes med hjälp av akustik på panelerna. För att förbättra resultaten och få ut mer användbar data på området krävs ytterligare tester.

8 Referenser

Böcker

Hagentoft, C-H. (2001) Introduction to Building Physics. Lund: Studentlitteratur.

Artiklar/Publikationer

Clase, M. & Lindén, E. (2010) Inventering och utvärdering av högpresterande isolering. Förstudie. FoU- Väst Rapport, 1402-7410; 1002. Göteborg: Sveriges byggindustrier.

Grynning, S. Baetens R. Jelle, B. Gustavsen, A. Uvsløkk, S. & Meløysund, V. (2009) Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – Egenskaper, krav og muligheter. Prosjektrapport 31; B22479.18. Oslo/Trondheim: SINTEF byggforsk.

Skanska. (2012) Praktiska tillämpningar av högpresterande isolering. Projektnummer 12455. Göteborg: Skanska teknik.

Lawson R, Walton W, Bryner N, Amon F. U.S. Homeland security. (2005) Estimates Of Thermal Properties for Fire Fighters' Protective Clothing Materials. MD 20899-8661

Skanska. (2010) Inventering och Utvärdering av Högpresterande Isolering. Göteborg: Skanska Hus och Bostad.

Instruktions manual (2007) Hot Disk Thermal Constants Analyser Software version 5.9

Johansson P. (2012) Retrofitting of old Exterior Wall with Vacuum Insolation Panels: Measurements of Thermal Properties, Moisture Performance and Practical Considerations. Göteborg: CTH.

Thorsell T. (2012) Advances in Thermal Insulation: Vacuum Insulation Panels and Thermal Efficiency to Reduce Energy Usage in Buildings. Stockholm: KTH

Thorsell T. (2006) Vacuum Insulation in Buildings: Means to Prolong the Service Life. Stockholm: KTH

Simmler H. (2005) Aging and Service life of VIP in Buildings

Simmler H. & Brunner S. (2006) Thermal properties and service life of vacuum insulation panels (VIP)

Examensarbete

Gohardin, N. (2010) Vakuumisolering vid byggnadsrenovering och tilläggsisolering.

Stockholm: KTH - Kungliga teknisk högskolan. (Examensarbete inom avdelningen för byggnadsteknik.)

Klasson, P. Kristensson T. Landén N. & Lilljegen J. (2010) Energieffektivisering av befintlig fastighet – En studie av energieffektiviserande åtgärder. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Kandidatarbete inom avdelningen byggnadsteknologi.)

Webbkällor

Hamon, S. (2012) Unik isolering för unika landshövdinghus. Familjebostäder.

<http://www.familjebostader.goteborg.se/sv/Press/Unik-isolering-for-unika-landshovdingehus/>. (2012-05-03)

Bager, O. (2012) Permeabilitet. I Nationalencyklopedin.

<http://www.ne.se/lang/permeabilitet/281996>. (2015-05-29)

Hallström, B. (2012) Konvektion. I Nationalencyklopedin.

<http://www.ne.se/lang/konvektion>. (2015-05-29)

Variationskoefficient. (2012) <http://www.ne.se/variationskoefficient> (2012-05-29)

Kompaktdensitet. (2012) <http://www.ne.se/kompaktdensitet>. (2012-05-29)

Skrymdensitet. (2012)

<http://www.greppa.nu/uppslagsboken/markbordighet/markpackning/omfattningochvaraktighet/packningensomfattningimatjorden.4.1c0ae76117773233f7800012088.html>. (2012-05-29)

Energimyndigheten. (2010a), <http://energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Energi-i-Sverige/Energianvandning-per-sektor/> (2012-07-01)

SABO (2010), Trubbigt kräva halverad energianvändning vid varje större Ombyggnad,

http://www.sabo.se/aktuellt/nyheter_s/2010/aug/Sidor/Trubbigt_halveradenergianv.aspx