



KTH Bygghvetenskap

Väg- och Vattenbyggnad
Kungliga Tekniska Högskolan

***Snöskydd för luftspalter och ventilerade
vindsutrymmen***

Examensarbete i byggnadsteknik
No. 351

Bygghvetenskap

Henrik Martinell 2005-02-07

Handledare: Jörgen Andersson, JM AB
Folke Björk, Byggnadsteknik KTH

Förord

Detta arbete är utfört för JM AB och avdelningen för byggnadsteknik, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH). Merparten av arbetet utfördes under hösten 2004.

Jag vill rikta ett stort tack till mina två handledare Folke Björk, docent KTH och Jörgen Andersson, arbetschef JM, som ständigt funnits till hands och varit till stor hjälp.

Jag vill även tacka Gudni Jóhannesson, professor KTH, för hjälpen med utformning av takmodellen och konsultering i luftflödesfrågor.

Tack till Mats Söderblom, platschef JM, för all hjälp med byggnadsfrågor och för att du trots platsbrist kunde avvara ett arbetsrum för mig på Kvarnsjötorp.

Tack till Ulrika Sohlenius JM, för att du har hjälpt mig med rapportskrivande. Ett stort tack riktas även till Marcus Johnsson, förman Kvarnsjötorp, som trots ständig tidsbrist kunde hjälpa mig med material till takmodellen och var behjälplig att svara på frågor om nybygget ute på Kvarnsjötorp. Ett tack riktas även till Ida Nicklasson för hjälp med framskaffande av ritningar. Jag vill även visa min tacksamhet till Christer Hägglund och Lennart Hagberg för all den hjälp jag fått under mina simuleringar på KTH.

Slutligen vill jag rikta ett stort tack till alla er andra som har haft tålamod och hjälpt mig på något sätt i mitt arbete.

Henrik Martinell, januari 2005

Innehållsförteckning

1. Inledning	5
1.1. Syfte.....	5
1.2. Bakgrund	5
2. Grundläggande byggfysik	6
2.1. Taktyper	6
2.2. Funktionskrav.....	7
2.3. Vindsutrymmen och luftspalter	7
2.4. Luftspaltens funktion och fuktkällor	8
2.5. Luftströmmar under takfoten	9
2.6. Snöskydd för takfötter.....	9
2.7. Snöskyddstyper	10
3. Objektbeskrivning Charlottendal - Kvarnsjötorp	12
3.1. Inledande studiebesök.....	12
3.2. Kommentarer angående studiebesöket.....	13
4. Utvärdering av JMs takstolar	14
4.1.1. Principritning – Yttervägg möter yttertak	14
4.1.2. Taksprång vid bakkant pulpettak.....	15
4.1.3. PAS 4.2.2.1 Kalla yttertak med takpannor.....	16
4.1.4. PAS 4.2.2.2 Yttertak med takpannor - luftad nock.....	17
4.1.5. JMs Kalla yttertak	18
4.1.6. JMs varma yttertak.....	19
4.2. Fakta om ingående komponenter och dess begränsningar.....	19
4.3. Riskkonstruktioner	21
4.4. Alternativa lösningar.....	22
4.5. Observationer på Kvarnsjötorp.....	23
5. Skada orsakad av snöindrev	25
6. Modellbygget och simuleringarna	26
6.1. Bygget, ritningar och instruktioner.....	26
6.2. Simuleringar och metoder.....	27
6.3. Beräkning för kontroll av relevansen i tryckintervall för simuleringarna	29
6.4. Simuleringsmedium	29
6.5. Simuleringsmetod 1: Mätning av mängd inträngt medium	30
6.6. Kommentarer	31
6.7. Simuleringsmetod 2. Studier av flöden och virvlar.....	31
6.8. Simuleringsresultat i simuleringsmetod 1	32
6.9. Tolkning av resultat och slutsatser	36
6.10. Svårigheter vid simulering av snöoväder och hur dessa hanterades.....	37
6.11. Resultaten.....	37
6.12. Slutsats	38
7. Datorsimuleringar	39
8. Väder och omständigheter	44
7.1. Nederbörd.....	44
7.2. Vind.....	45
9. Slutsatser	46
8.1. Översikt av simuleringsresultat	46
8.2. Kommentarer	Fel! Bokmärket är inte definierat.
10. Källhänvisningar	48

Abstract

The aim of this work was to investigate those factors that contribute to protection against incoming water at the eaves in ventilated roofs. Most of the work concentrates on how to hinder transport of snow into the air gap or into the attic. The studies are done in three ways, by observations on built objects, by studies of a full scale model in laboratory and by calculations using advanced flow-dynamical software (FEMLAB).

When wind is blowing towards a building the resistance from the façade or the roof hinders the air flow. At the lower part of the wall wind results in laminar air flow towards the façade on the windward side. The flow is turned upwards, to the area of the eaves, and ends up in a whirl. A small amount of the flowing medium will be carried into the eaves openings by the air flow. The medium will then be further transported into the attic or the air gap.

Roofs with low slopes have recently suffered from leakages. Airborne snow transferred far up in the ventilated air gaps of the roof is most likely the cause of these injuries. This thesis will discuss the factors behind the protection of these air gaps from being penetrated by snow or pelting rain. It has been based on my own observations and simulations, due to the lack of research within this subject.

It is virtually impossible to completely protect the eaves from incoming snow or rain. Depending on how the roof is designed this may have more or less harmful effect on the building.

To prevent snow from entering at the eaves, different types of obstacles are installed. Examples of these are nettings, spoilers and snowlocks.

Nettings at the eaves are in the first place preventing insects coming in. The mesh size regulates the possible size of the particles that may enter. However, a too narrow mesh size will too much limit the air flow in the air gap.

A snow lock at the eaves is usually designed as a “box” assembled close to the opening. The outer opening of the snow lock is often more narrow than the air gap. In the opening between these gaps there shall be stagnation of the air in order to allow the snow to settle.

The observations are made on JMs newly built residential area Kvarnsjötorp, which also functions as a site for investigations in building-techniques and working-methods. The majority of the houses are provided with only netting for protection against insects that also offers some protection against snow. The same goes for most of the solutions made by JM at other sites. Facts from these investigations and JMs current blue-prints have provided the basics for my evaluation of JMs current solutions on constructing roofs.

The full-scale laboratory model was based on JMs drawings from house A at Kvarnsjötorp. This model has been subjected to snow storm-simulations, for studying the phenomena of penetration. With this model studies from phenomena of flowing and the amount of penetrating medium is made. The use of a spoiler or a snowlock together with an outer obstacle sums up the best way of protecting the roof and the rest of the building from precipitation. Both methods were efficient, but the penetrated medium was less dangerous for the snowlock.

Comparison was made between plots of the flow, made with a computer, and pictures taken by a rolling camera at the simulations in the model. The results were similar to the ones mentioned above. Hence it can be stated that the results from the computer simulations can also be applied in reality.

Sammanfattning

Syftet med detta arbete var att undersöka de faktorer som spelar in för att skydda takfotsöppningar från inträngning av väta i ventilerade tak. Större delen av arbetet inriktar sig på hur det kan förhindras att snö tränger in i luftspalter eller vindar. Studierna är utförda på tre olika sätt, genom observationer på existerande byggnader, genom fullskaliga försök i modell i laboratorium och genom datorberäkningar i ett fysiksimuleringsprogram (Femlab).

Då vinden blåser mot en byggnad hindrar motståndet från fasaden eller taket luftflödet. I de lägre delarna på lovartsidan av väggen är vinden först laminär mot fasaden. Därefter böjs den uppåt mot området för takfotsöppningen och slutar i en virvel under taksprånget. En liten del av det flödande mediet kommer att strömma in i takfotsöppningen med luftflödet. Därefter transporteras det vidare in i luftspalten eller vindsutrymmet.

Stora vattenläckage har på senare tid inträffat i tak med låg lutning. Den troligaste anledningen till dessa skador är att snö drivit långt upp i luftspalterna. Detta examensarbete behandlar därför de faktorer som spelar in för skyddet av taket mot inträngande snö eller slagregn. Liten forskning är gjord inom detta område och därför grundar sig arbetet främst på egna observationer och simuleringar

Det är omöjligt att helt skydda takfoten mot inträngande snö och regn. Beroende på takkonstruktionens utformning kommer denna att påverkas mer eller mindre negativt av inträngningen.

För att hindra snö från att ta sig in i takfotsöppningarna monteras olika hinder i eller utanför öppningen. Exempel på sådana är nät, *spoilers* och snöläs.

Genom att montera ett nät i öppningen hindras i första hand insekter från att bosätta sig i konstruktionen. Öppningsdiametern i nätet reglerar också storleken på de partiklar som kan tränga in genom öppningen. En alldeles för liten öppningsdiameter inverkar dock negativt på ventilationsflödet i luftspalten.

Ett snöläs för takfoten utformas vanligen som en liten låda utanför öppningen. Den yttre öppningen i snöläset utformas ofta mindre än den övriga spalthöjden. I det större luftrummet mellan den yttre och den inre öppningen blir det en kort stagnation i luftflödet som möjliggör för snön att avsättas i snöläset.

De observationer som ligger till grund för den här rapporten är utförda på JMs nybyggda bostadsområde Kvarnsjötorp. Här studerades byggnadsteknik och arbetsmetoder vid utformningen av taken. Merparten av husen har liksom de flesta andra av JMs taklösningar endast ett insektsnät som snöskydd. Med hjälp av dessa undersökningar och med JMs aktuella typritningsvarianter av takstolar, har en utvärdering utförts över befintliga lösningar i JMs ritnings Sortiment.

Den fullskaliga laborationsmodellen är baserad på JMs ritningar från hustyp A på Kvarnsjötorp. Denna modell har utsatts för en simulerad snöstorm för att studera företeelserna vid inträngning. Med denna modell studerades också de strömningsfenomen som uppstår utanför fasaden vid en snöstorm. Massan för det inträngda mediet vägdes för resp. snöskydd vid vissa strömningshastigheter. Det visade sig att genom montering av en *spoiler* eller ett snöläs med utvändigt hinder i anslutning till takfoten uppnåddes ett bra snöskydd. Båda snöskydden var mycket effektiva, men typen av inträngning var mindre farlig för snöläset.

Jämförelser genomfördes mellan strömningsbilder utförda vid datorberäkningar och bilder tagna med kamera vid snöstormssimuleringar. Bilderna överensstämde mycket bra med varandra. Detta pekar på att resultaten bör kunna tillämpas i verkligheten.

1. Inledning

Det är en stor utmaning att konstruera byggnader som uthärdar det svenska klimatet. Starka vindar, olika typer av nederbörd i rikliga mängder och temperaturskiftningar på upp till 60°C ställer stora krav på konstruktionerna. Den del av byggnaden som drabbas hårdast av dessa påfrestningar är taket. Den pågående teknikutvecklingen medför en ständig utveckling av takkonstruktionerna. Äldre brister byggs bort medan nya uppkommer. Viktigt är att ständigt sträva efter förbättringar och vidareutveckla de byggnadsdetaljer som idag används för att i framtiden frambringa mer fuktsäkra byggnader. De flesta tak ventileras genom öppningar i takfötterna för att avlägsna den fukt och värme som uppstår i konstruktionen. Dessa öppningar utsätts tidvis för regn och luftburen snö i samband med stark vind. För att minska riskerna för att denna väta tränger in genom öppningarna används olika typer av snöskydd. Men hur bör dessa skydd utformas och hur bra fungerar de varianter av snöskydd som används idag?

1.1. Syfte

Syftet med arbetet är att utreda de faktorer som spelar in för skyddet mot fuktinträngning i takfötter. Några befintliga snöskydd kommer att undersökas och verkningsgraderna hos dessa kommer att jämföras med varandra. Undersökningar kommer att ske för att se om vissa ändringar kan göras till det bättre för att utföra JMs takkonstruktioner mer fuktsäkra. Slutligen ska förslag kunna presenteras på hur detaljerna i takfoten bör utformas för att minimera riskerna för fuktinträngning vid snöfall eller slagregn.

1.2. Bakgrund

Stora vattenläckage har på senare tid inträffat i tak med låg lutning. Anledningarna är okända, men den troligaste förklaringen är att snö drivit långt upp i luftspalterna. Detta arbete inriktar sig därför främst på takfötter och deras skydd mot inträngning av väta genom takfotsöppningen. Olika faktorer som är viktiga för att förhindra fuktskador i takkonstruktioner vid snöfall och regn i samband med vindpåverkan behandlas. Då endast liten forskning är gjord inom området grundar sig arbetet främst på olika typer av simuleringar av snöfall och blåst i modell och undersökningar av befintliga byggnader. Rapporten behandlar de ingående delar som samverkar i takfötterna för att förhindra en för hög fuktpåverkan på konstruktionen. Olika typer av snöskydd har provats och utvärderats både i modell och i datorsimuleringar. De ritningar som används är i de flesta fall hämtade från exempel i JMs befintliga ritningssamling.

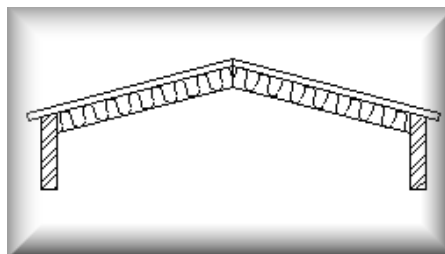
2. Grundläggande byggfysik

Det är viktigt att lägga stor tid på projekteringsfasen vid upprättandet av en byggnad. Fel i projekteringsfasen kan i slutändan kosta stora pengar och bli förödande för hela projektet. Byggnadstekniken är ibland komplicerad och bygger ofta på ålderdomliga lösningar som inte alltid är de bästa möjliga. Många betydande delar måste studeras och utvärderas för att få en så säker fuktteknisk samverkan i konstruktionen som möjligt. Den del av huset som är mest utsatt för väder och vind är taket. Detta måste konstrueras så att de kan stå emot dessa påfrestningar utan att i förtid slitas ut. Stora krav ställs på taket, det ska vara säkert avvisande mot utvändigt vata samtidigt som den invändiga vatan obehindrat ska kunna ta sig ut. Dagens byggnadssätt har med utvecklingen på vissa punkter gått skilda vägar med det traditionella sättet att bygga. Det strävas ständigt efter att uppnå mer ekonomiska lösningar och förkorta tiden för monteringsfasen av en byggnad. Viktigt är att inte glömma att kvalitén samtidigt måste bibehållas eller förbättras för att inte generera byggnader som p.g.a. konstruktionsfel får en alldeles för stor livscykelkostnad i framtiden. Felaktiga konstruktioner eller komponenter som inte samverkar kan ge upphov till allvarliga fuktskador och material som slits i förtid.

2.1. Taktyper

I Byggfysiken skiljer man på varma och kalla tak. Denna uppdelning bygger på att taktyperna har olika isoleringsstruktur.

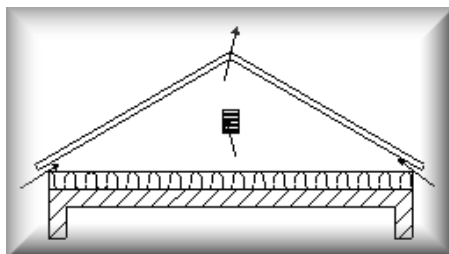
Ett varmt tak är utformat så att värmeflödet i stort sett är lika ut genom yttertaket som genom innertaket. Värmen som tränger genom isoleringen och ut från byggnaden går vinkelrät genom takkonstruktionen och värmer upp den utvändiga taktäckningen. Detta kan vara fördelaktigt för takavvattning under vintern då kvarliggande snö kan smälta och rinna ner i takavloppet. Därmed minskar riskerna för snöansamlingar på taket. Men vissa problem kan uppstå då användning sker av utvändiga takavvattningssystem. Smältvattnet måste passera takfoten och hängrännan som inte tillförs någon värme inifrån. Temperaturen i hängrännan kan vara under fryspunkten vilket gör att vattnet från taket fryser då det rinner ner i avloppet. I värsta fall kan en dämning av smältvatten uppstå på taket och stora istappar kan bli hängande.¹ Om dessa problem blir stora kan flödet styras med hjälp av fläktar så att ventilationen av taket sker bakvänt ut genom takfötterna. Då tillförs takfot och hängränna den värme som finns i den avventilerade luften. Då det finns möjlighet kan alternativt ett invändigt takavvattningssystem vara att rekommendera.



Figur 2.1. Varmt tak

¹ Fukthandboken

I ett kallt tak är värmeflödet genom yttertaket litet och minimalt med värme överförs från det uppvärmda utrymmet i konstruktionen till yttertaket. Oftast finns ett ventilerat vindsutrymme eller en luftspalt för att ventilerar bort eventuell värme och fukt som uppkommer där. Vintertid kan det uppstå stora snöansamlingar på dessa tak och påfrestningarna blir stora på den bärande konstruktionen. Då vädret därefter slår om till blidväder finns det stor risk för snöoras om takets lutning är stor.



Figur 2.2. Kallt tak med ventilerat vindsutrymme

Med de energibesparingar som numer ständigt eftersträvas har isoleringsmängden ökat i taken. Därmed har de varma och kalla takens egenskaper närmat sig varandra.²

2.2. Funktionskrav

En viktig faktor för hur taket utformas och vilka material som kommer att användas är dess tänkta lutning. Ett plant tak måste ha ett tätskikt som inte släpper genom någon väta även om vattnet blir stående på taket. Ju mer lutning taket har ju mindre krav ställs på underlaget.

Vid slagregn, snöfall eller kvarliggande väta på konstruktionen tränger fukten lätt in genom otätheter och öppningar. Är denna inträngning så stor att väta inte tillräckligt fort kan transporteras bort kan detta i ett senare skede ge upphov till fuktskador och olika typer av röta. Denna transport kan ske genom att vätan ventileras eller rinner ut ur konstruktionen. Det strävas därför efter att få samtliga byggnadsdelar i taket att samverka med varandra för att möjliggöra för denna transport så att fuktskador kan undvikas. Vid slarv, brist på kunskap, vårdslöshet eller fel av annan orsak i utformningen kan denna samverkan få en negativ effekt på fuktskyddet. En särskild stor risk finns i takkonstruktionen där kall och varm luft möter varandra. Är den varma luften fuktig föreligger alltid risk för kondens på kalla täta skikt.

2.3. Vindsutrymmen och luftspalter

Ett tak utformas i de flesta fall med ventilation för att ventilerar bort fukt och värme i konstruktionen. Då det inte används fläktar för att styra ventilationsflödet framkallas ett luftflöde med hjälp av de drivkrafter som uppstår i och omkring spalten. Dessa drivkrafter uppkommer p.g.a. den tryckdifferens som bildas mellan lovert och läside för byggnaden vid vindpåverkan och genom de termiska drivkrafter som uppstår i spalten. (Räkneexempel se bilaga 7) Ventileringens inflöde sker oftast i en öppning i takfoten precis i början av taksprånget. Denna öppning löper längs husets båda långsidor. Det är viktigt att skydda denna öppning mot inträngning av väta då risk råder för detta. Den ventilerande luftens utflöde sker oftast i taknock eller genom ventiler utplacerade i taket. Avluftningen kan även ske genom en ventil i gaveln.

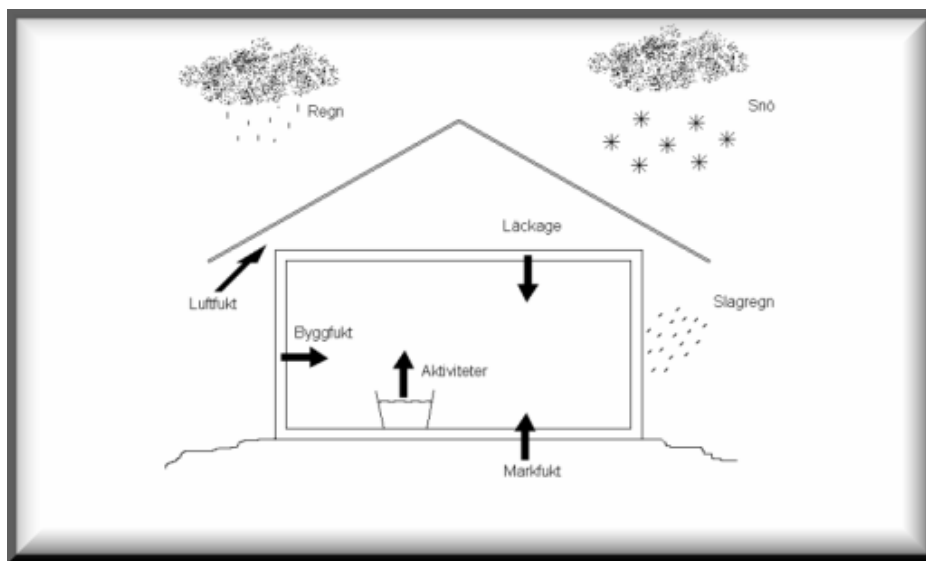
² Fukthandboken

2.4. Luftspaltens funktion och fuktkällor

En ventilerad vind eller luftspalt ska vara konstruerad så att den tillför den innanföriggande konstruktionen tillräckligt med strömmande luft för att kunna ventileras bort den fukt som uppstår där. Den ska vara så utformad att eventuell väta lätt kan ta sig ur konstruktionen samtidigt som fukten förhindras att tränga in. Detta ställer stora krav på de ingående komponenterna och dess samverkan.

Det kan finnas många anledningar till att ett vindsutrymme drabbas av ett fuktangrepp. Fukten som ligger till grund för skadan kan tillföras taket både utifrån och inifrån. Ibland kan fuktskadorna uppstå p.g.a. kondensbildning i anslutningar där varm fuktig luft möter en kall yta.

De fuktkällor som tillför fukt till en byggnad kan vara regn, snö, slagregn, luftfukt, byggfukt, vatten i och på mark och läckage från installationer.³



Figur 2.3. Fuktkällor till en byggnad

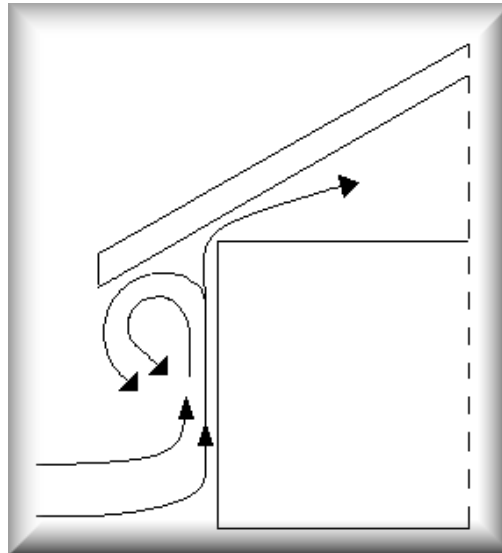
Luftfukt i ett vindsutrymme kan föras in genom takfotsöppningen. Ibland kan luft strömma upp genom isoleringsskiktet i bjälklaget från det underliggande uppvärmda utrymme om diffusionsspärren blivit slarvigt utförd eller har defekter. Den uppströmmande varma luften har högre förmåga att bära fukt än den kalla. Den varma luften har ofta mycket högre fukthalt än den kalla då ständig tillförsel sker av fukt från de olika aktiviteter som pågår i byggnaden. Matlagning, duschning och våttorkning är exempel på aktiviteter som kan höja luftfuktigheten. De boende i sig tillför även luften en del fukt endast genom att vistas i byggnaden.

I ett kallt vindsutrymme är det mycket viktigt att vindsbjälklaget är rätt konstruerat. Varm fuktig luft får inte tränga upp i vindsutrymmet eftersom det då råder stor risk för kondens under främst något tätt skikt i den kalla takkonstruktionen. Om ändå varm fuktig luft tränger upp ska den fort och effektivt kunna ventileras bort. De fuktkällor som arbetet främst inriktar sig på är den fukt som tillförs byggnaden utifrån. Denna tillförsel kan både ske genom taktäckningen och genom takfotsöppningen. Men genom taktäckningen ska ingen fukt kunna tränga in då taket är utformat på rätt sätt. Ett lutande tak ska därför utformas så att fukten rinner av taket och inte in genom taket. Den fukt som transporteras in genom takfotsöppningen med den strömmande luften kan vara i form av luftfukt, snö eller regn.

³ Fukthandboken

2.5. Luftströmmar under takfoten

Då det blåser mot en byggnad stoppas luften upp av det flödesmotstånd som fasader och tak bildar i luftflödet. Luften strömmar först laminärt mot fasaden på lovartsidan varvid den bryts av uppåt för att strömma upp mot takfoten. Då luften närmar sig takfoten bryts den av utåt och bildar en virvel under taksprånget. Men en liten del av luften kommer samtidigt att sugas in i takfotsöppningen då taket är ventilerat. Det är med detta flöde som den inträngande snön färdas.



Figur 2.4. Strömbilden under takfoten

2.6. Snöskydd för takfötter

Takfoten ska vara konstruerad så att vätan inte kan ta sig in i konstruktionen genom takfotsöppningen och spalten. Att skydda sig helt mot inträngning är dock omöjligt så länge takfotsöppningen inte helt täpps igen. För att inträngande väta i öppningarna, i en väl konstruerad takfot, ska orsaka skada ska den ta sig långt in i konstruktionen. Men är takfoten felkonstruerad kan det räcka med en kort inträngning för att vätan ska orsaka fuktskador. Om den inträngda vätan tar andra vägar än de önskvärda kan den rinna längs material och tränga in i mer känsliga konstruktioner där ventilationen är bristfällig.

10 mm snö som smälter ger ca 1 mm vattenhinna efter smältning. Vid ett kraftigt snöoväder kan en oskyddad öppning släppa in väsentligt mycket mer snö än vad som går att ventileras bort på naturlig väg. Exempel på detta har setts på Island utanför Reykjavik. Här ventilerades några nybyggnationer med rör genomstuckna i fasaden. Dessa drabbades hårt av snöinträngning då osannolikt mycket snö tog sig in genom de smala rören.⁴ Detta är ett bra exempel på snöns goda förmåga att transporteras med vinden. Det är därför viktigt att dessa öppningar skyddas väl.

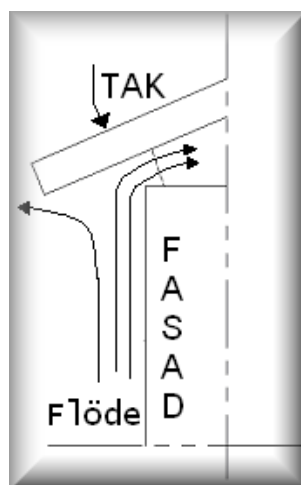
⁴ Professor Gudni Jóhannesson, byggnadsteknik, KTH.

För att hindra snö att tränga in monteras en rad olika typer av hinder i och omkring öppningen i konstruktionen. Exempel på dessa hinder är olika typer av snölås, nät eller *spoilers*. Dessa ska skydda konstruktionen genom att antingen avleda snön från öppningen eller genom att möjliggöra för den flykande snön (luftburna ispartiklar) att avsättas och därefter transporteras bort. Fördelaktigt är att utforma en lämplig del av spalten med en högre spalthöjd så att det bildas en tryckutjämningscell. Med tryckutjämningscell avses ett utrymme som sänker hastigheten hos den strömmande luften ett kort ögonblick för att snön ska kunna avsättas. Denna cell begränsas utåt av en liten spaltöppning där luften strömmar in. Därefter övergår spalten till en högre höjd så att ett större utrymme bildas för att sänka strömningshastigheten. Därefter begränsas cellen inåt åter med en liten öppning där luften strömmar vidare in i konstruktionen. Denna typ av snöskydd används aktivt i norska byggnationer som klarar sig bra mot snöinträngning.⁵

Ibland bildas dessa tryckutjämningsceller mer eller mindre planerat p.g.a. konstruktionsutformningarna i spalten. Det är då viktigt att dimensionera den omkringliggande konstruktionen med fuktsäkra material och möjliggöra för den väta som eventuellt kommer att avsättas att lätt kunna transporteras bort utan att medföra någon skada.

2.7 Snöskyddstyper

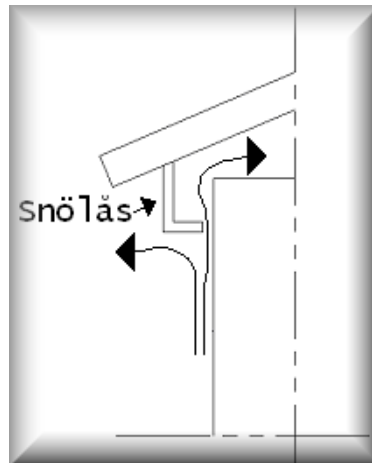
Oftast finns ett monterat insektsnät i takfotsöppningen för att hindra större partiklar att ta sig in och för att hindra insekter från att bosätta sig där. Öppningsdiametern i nätet reglerar storleken på de partiklar som kan strömma in. Öppningsdiametern får dock inte bli för liten så att den dämpar ventilationsflödet för mycket.



Figur 2.5. Skyddad öppning med insektsnät

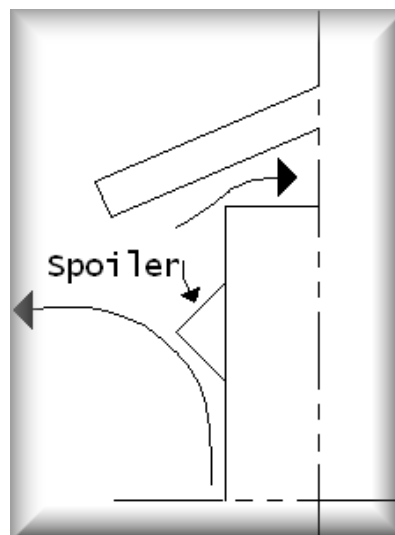
⁵ Byggforskserien, Byggdetaljer 525.106

Ett utvändigt snölås är oftast i form av en liten låda monterad i anslutning till takfotsöppningen. Öppningen utåt i denna är oftast mindre än den övriga spalthöjden i taket så att snöinträngning hindras i inloppet och så att luften passerar en tryckutjämningscell innan den sugas vidare in i konstruktionen. Här kan det åter försvåras för snön att tränga in genom att montera någon form av hinder utanför eller innanför öppningen.



Figur 2.6. Utvändigt monterat snölås

En annan typ av snöskydd som ibland används är en *spoiler* som monteras en bit under öppningen för att bryta den strömvirvel som bildas under takfotssprånget. Denna påverkar luftrörelserna under takfoten genom att styra ut flödet från fasaden så att medburet medium inte lika lätt kommer i kontakt med öppningen.



Figur 2.7. Spoiler

3. Objektbeskrivning Charlottendal - Kvarnsjötorp

På Värmdö vid Kvarnsjön något söder om Gustavsbergs Hamn har nybyggnationer utförts sedan en tid tillbaka. Området som kallas Kvarnsjötorp är ritat av Cinnober arkitekter AB och byggherre är JM AB.⁶ De fristående husen är utformade med sadeltak medan radhuset har pulpettak. Projektet är snart slutfört och sista inflyttningen sker i april 2005. Detta är och har varit ett stort projekt där JMs kompetens att utföra bostäder av hög kvalitet med kort monteringsstid ställts på stora prov. Kvarnsjötorp, är beläget i skärgårdsmiljö nära naturen. På husen i Kvarnsjötorp har de observationer som ligger till grund för examensarbetet utförts. Granskning har skett av byggnadsteknik, specifikt för tak och av arbetsmetoder. Även dess ritningar har använts för granskning och utvärdering. Tre olika typhus har utförts. Två typer är fristående villor medan en typ är radhus. Åtta villor, typhus A, med sju rum och kök på 182 kvm, tjugofyra villor, typhus B, med fem till sex rum och kök på 144 kvm, tjugo radhus, typhus C, med fyra rum och kök på 98 kvm vardera står färdiga. Husens grundläggning är en armerad bottenplatta på packad fyllning och stommen är av ett regelverk av trä. Taket bärs upp av takstolar och på dessa ligger en *board*, bärläkt och taktegel. Planlösningarna är väl planerade och kan lätt ändras för att tillfredställa kundens framtida behov.

3.1. Inledande studiebesök

Examensarbetet påbörjades på Kvarnsjötorp genom ett besök på plats. Här visades de tre olika typhusen A, B och C upp och olika byggnadsdetaljer fotograferades.



Figur 3.1. Hustyp A



Figur 3.2. Hustyp B



Figur 3.3. Hustyp C

Huvudsyftet med besöket var att ge en grund och en överblick över JMs takkonstruktioner. Utgående från husen i Kvarnsjötorp och JMs typritningskatalog har utvärdering av JMs takstolar utförts.

Under rundvandringen visades husen upp i de olika byggnadsstegen allt från markförberedelser till färdiga hus. De ritningar som var relevanta i ritningssamlingen att beskåda inför besöket konstaterades vara nr. 61, 64, 66 och 67. Specifikt 61-1 till 61-5, 64-1 till 64-3, 66-1, 66-4 och 67-5. Se bilaga 1.

⁶ www.jm.se och Bostadsfakta Charlottendal – Kvarnsjötorp Värmdö kommun

3.2. Kommentarer angående studiebesöket

Under rundvandringen undersöktes det huruvida taken stämde överens med de på ritningarna redovisade. Detta var dock svårt att genomföra då taken i de flesta fall redan var helt färdigställda. Dock kan det påpekas att det vore önskvärt om takfötternas snöskyddsanordningar på ritningarna kunde redovisas lite mer i detalj. Det konstaterades att snölåskonstruktionen i det närmaste var obefintlig på hustyp A och B. Det enda skydd mot inträngande snö i de här fallen är i form av ett insektsnät. I hustyp C fanns det ett monterat snölås tillsammans med ett insektsnät.



Figur 3.4. Takfot på hustyp A Figur 3.5. Takfot på hustyp B Figur 3.6 Takfot på hustyp C med enkelt snölås

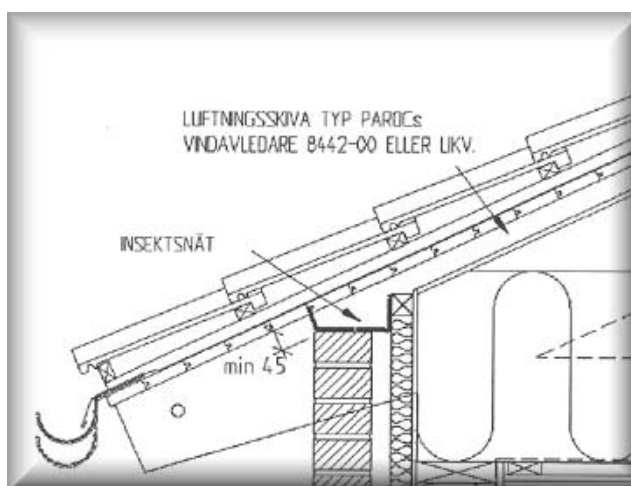
Husen på Kvarnsjötorp byggs av prefabricerade element vilka sätts ihop på plats till en huskropp medan taket byggs färdigt på marken bredvid. Därefter lyfts hela takkonstruktionen på plats med en kran och fäster den på huskroppen. Isoleringen under takkonstruktionen har sprutats upp i lagret mellan isoleringsstopp och diffusionsspärr. Detta är produktionsvänligt och ger god täthet. Taken är kalla tak i form av ett oisolerat yttertak med ett ventilerat vindsutrymme och med mineralull i takbjälklaget, bortsett från hustyp C som har utrustats med en ventilerad luftspalt. Takpannor används som utvändigt takbeläggning.

4. Utvärdering av JMs takstolar

Detta kapitel är en utvärdering av JMs aktuella typritningsvarianter av takstolar. (Se ritningar bilaga 3) Utvärderingen behandlar främst takfötternas skydd mot inträngning av fykande snö (luftburna iskristaller) och slagregn. Dess ordning av de olika komponenterna kommer att följa luftens väg från utemiljö in till det ventilerade vindsutrymmet eller till dess den ventileras ut genom någon ventilationsöppning. Kommentarer om för- och nackdelar med byggnadsdelarna luften passerar och övriga relevanta faktorer för motverkan av snöinträngning kommer att presenteras under utvärderingen. En del fakta om ingående materials egenskaper och begränsningar kommer att presenteras. Slutligen redovisas de riskkonstruktioner som funnits på i utvärderingen och de alternativa lösningar som kan tänkas för att om möjligt göra konstruktionen säkrare.

Utvärderingen utförs på JMs typritningskatalog för att förtydliga de risker och påpeka de brister som finns och för att förhindra fuktskador i liknande konstruktioner.

4.1.1. Principritning – Yttervägg möter yttertak



Figur 4.1. PAS 3.5.3 Principritning – Yttervägg möter yttertak⁷

Denna takfot saknar utvändigt snölös. Ett insektsnät finns monterat i takfotsöppningen vars främsta uppgift är att stå emot större partiklars inträngning och för att hindra insekter att bosätta sig i takkonstruktionen. Nätet fungerar relativt effektivt som snöskydd då snöflingorna fortfarande är stora. Men då snöflingorna sönderdelats och dess diameter understiger öppningarna i insektsnätet har det visats i simuleringar (se kapitel 6) att denna lösning endast skiljer sig marginellt från en helt oskyddad öppning. Insektsnätet har monterats mellan lockpanelen där den viks in mellan två panelbitar och den övre isoleringsskiktets regeln där den häftas fast.

⁷ JMs principritningssamling

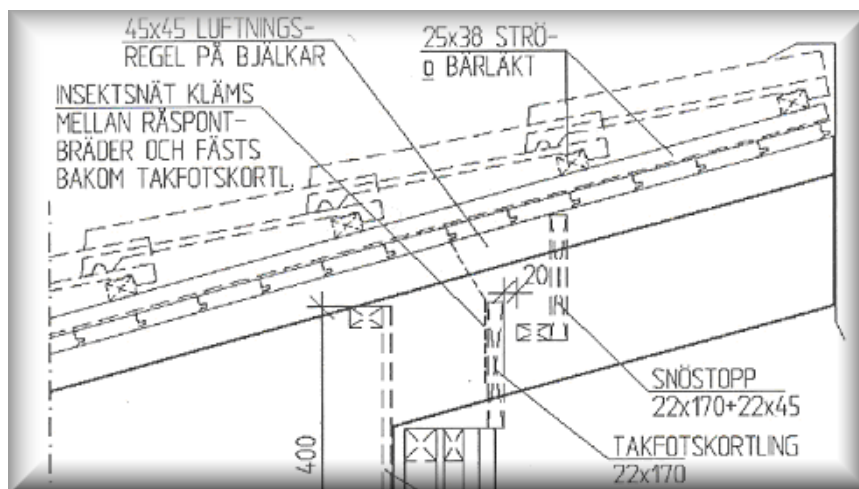
Öppningen i takfoten utformas med en höjd på minst 45 mm. Äldre erfarenheter säger att ventilationsspalten ska ha en höjd på minst 50 mm.⁸ Detta för att tillräcklig ventilation ska upprätthållas. JM:s minimimått på spalten är alltså något mindre än det rekommenderade men torde ändå vara fullt tillräckligt.

Efter insektsnätet över tegelmuren finns ett litet utrymme som kommer att fungera som tryckutjämningscell. Detta är fördelaktigt eftersom den fukande snön får möjlighet att avsättas här då strömningshastigheten minskar under ett kort ögonblick p.g.a. den större spalthöjden. Den snö som avsätts här kommer att rinna ner längs skalmuren och den innanföriggande konstruktionen. Det är därför viktigt att ytterväggen dimensioneras för att klara denna fuktpåverkan.

Efter tryckutjämningscellen följer ett språng över skalmursskivan för att luften sedan ska fortsätta in i en luftspalt. Luftspalten gränsar mot det specifika underlagstak som valts och en luftningsskiva, papp, eller UKV. I luftspalten kommer det att ske en viss skorstensverkan p.g.a. temperaturdifferenser och taklutning.

Därefter fortsätter den kalla luften in i det ventilerade vindsutrymmet. På grund av den lägre strömningshastigheten kan luften avsätta de partiklar som fortfarande bärs av luftflödet. Dessa faller ner och möter lösullsisoleringen. Den fukande snön som tagit sig ända hit blir kvar och måste ventileras bort i form av luftfukt. Större delen av vätan från den smälta snön kommer att avsättas i lösullen.

4.1.2. Taksprång vid bakkant pulpettak



Figur 4.2. PAS 4.1.1 Taksprång vid bakkant pulpettak⁹

Denna lösning har ett utvändigt snölås (Snöstopp i fig. 4.2) med en öppning på 20mm. Detta är fördelaktigt och kanske också fullt nödvändigt då pulpettak oftast drabbas hårdare av inträngande snö och slagregn än många andra taklösningar. Detta p.g.a. av takets lutning och den skorstensverkan som bildas i spalten. Efter snölåset passerar luften det insektsnät som finns monterat. Här avstannar de större snöpartiklarna som tar sig förbi snölåskonstruktionen.

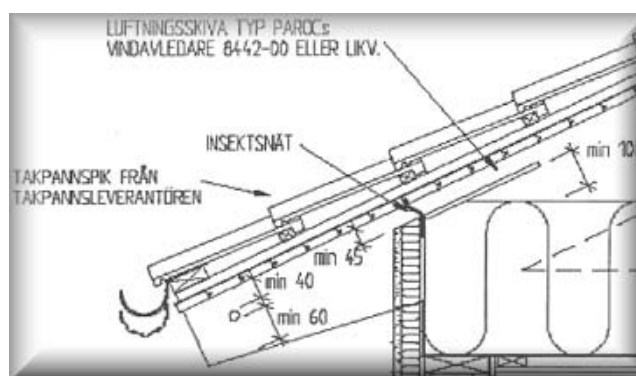
⁸ Folke Björk, lektor KTH

⁹ JM:s principritningssamling

Innanför snöläset finns även här ett litet utrymme som kommer att fungera som en tryckutjämningscell. Här minskar hastigheten för den fykande snön och den kan avsättas och rinna bort. Viktigt att tänka på är att konstruktionen under tryckutjämningscellen måste dimensioneras för att kunna leda bort den väta som avsätts här. Cellen avgränsas inåt byggnaden av ett isolerstopp som också fungerar som ett vindskydd. Luften passerar över denna in i den luftspalt som bildas mellan isoleringen och råsponten. Sannolikheten är stor för att luftströmmen kommer färdas åt motsatt håll pga. det omvända tryck som skorstensverkan bildar i luftspalten. De termiska drivkrafterna har benägenhet att bli betydligt större här än i sadeltaken med ventilerade vindsutrymmen eftersom luftspalten blir längre.

Denna lösning har vid första anblicken ett ganska bra snöskydd. Nackdelen är att taket är ett pulpettak. Det är därför viktigt att snö och slagregns stoppas så tidigt som möjligt. Tränger den genom snöläset kommer vätan i bästa fall att rinna ut på grund av lutningen på taket eller ventileras bort med luftflödet. Men i värsta fall kommer inte transporten av fukt vara tillfredställande och vätska kommer anrikas i mineralullen så att det råder risk för fuktskador.

4.1.3 Kalla yttertak med takpannor

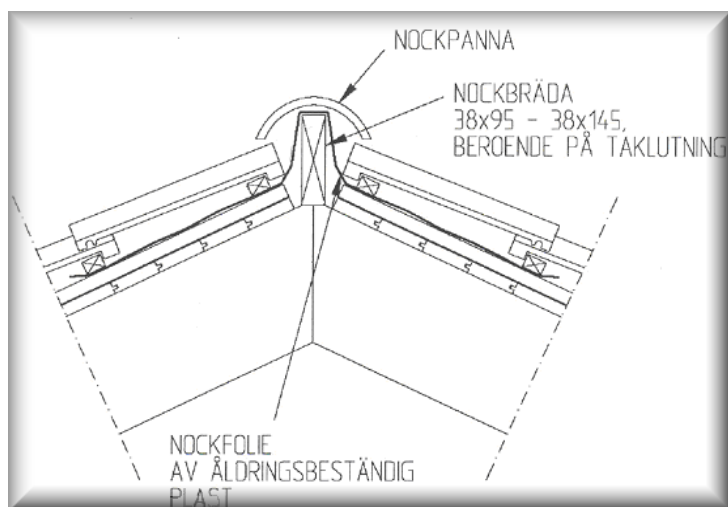


Figur 4.3. PAS 4.2.2.1 Kalla yttertak med takpannor¹⁰

Denna konstruktion fungerar på liknande sätt som exemplet i kapitel 4.1.1 förutom att den saknar tryckutjämningscell över fasadskiktet. Även fasadmaterialet är ett annat men det är av mindre betydelse för snöinträngning. Här har den fykande snön kortare väg och färre hinder att passera innan den tränger in i vindsutrymmet. Här skulle eventuellt ett utvändigt snöläs vara önskvärt för att minska riskerna för snöinträngning.

¹⁰ JMs principritningssamling

4.1.4 Yttertak med takpannor - luftad nock



Figur 4.4 PAS 4.2.2.2. Yttertak med takpannor – luftad nock¹¹

Taknocken är en vanlig klassisk nock med en nockbräda där nockpannan vilar. Nockfolien är monterad för att förhindra fukt att ta sig in genom nocken. Den skulle eventuellt ha kunnat läggas så att den skyddar bärläkten från eventuellt vattenläckage från nockpannan. Nu ligger den oskyddad och framför allt den översta bärläkten löper stor risk att drabbas av fuktangrepp då vatten tränger in och kan bli liggande på folien mot bärläkten. Detta är dock åtgärdat på Kvarnsjötorps ritningar. Här skyddas den översta bärläkten.

Folien som används i nocken på Kvarnsjötorp är av tät presenningstyp. Här råder risk för kondens då ventilationen i nocken inte är tillfredställande. (se kapitel 4.3)



Figur 4.5 Den täta nockfolien på Kvarnsjötorp

¹¹ JMs principritningssamling

4.1.5 JM's Kalla yttertak

Dessa två konstruktioner nedan fungerar på liknande sätt. Inget utvändigt snölås är monterat utan skyddet utgörs enbart av det insektsnät som är monterat i öppningen. Vägen för väta att färdas genom spalten är relativt kort innan det tränger in i vindsutrymmet. Snölås vore eventuellt önskvärt.

Viktigt är att genomföringar genom yttertaket blir täta. Tränger vattnet in här blir det svårt att ventileras bort på grund av det täta skikt som bildas mellan plåten och underlagspappen. Risker för kondens under taktäckningen blir också större för dessa lösningar då taken är kalla och ytterskikten är täta och mer effektivt kyls ned jämfört med taktegel.

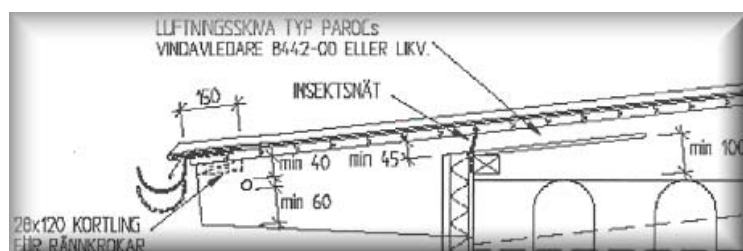


Fig 4.6 PAS 4.2.3.1. Kalla yttertak med plåt

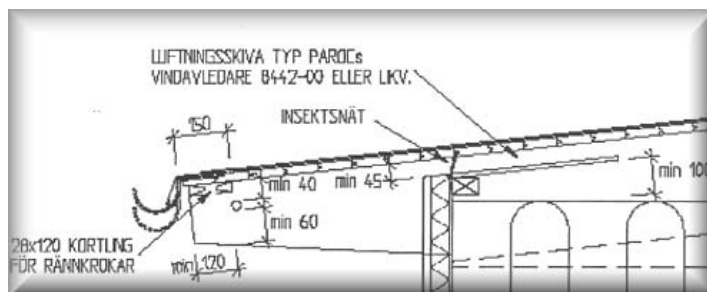


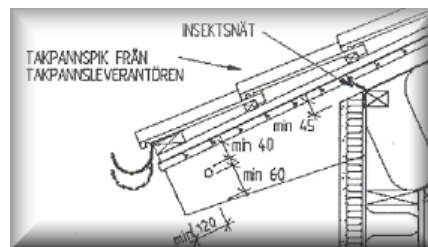
fig 4.7 PAS 4.2.4 Kalla yttertak med papp¹²

¹² Jms principritningssamling

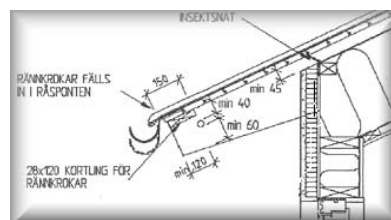
4.1.6. JM's varma yttertak

De tre typritningar som presenteras nedan har många gemensamma egenskaper. Konstruktionerna saknar alla utvändiga snöläs och det enda snöskydd som existerar är insektsnätet. Det är i samtliga fall ytterst kort väg för snön att färdas med vinden för att den ska kunna avsättas i spalten och området för isoleringen. Även här vore det önskvärt med någon form av snöskydd. Luftspaltens väggar består av råspont överst och en träfiberskiva underst. Om isoleringen är pappbelagd överst behövs ingen träfiberskiva.

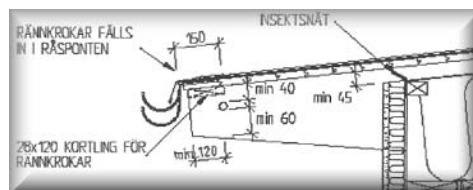
Dessa tak är relativt väl isolerade om jämförelse görs med de varma tak som är redovisade i fukthandboken. Därför är det tveksamt om dessa helt kan ses som varma tak. Temperaturen i spalten kommer att bli ganska låg då inte solen värmer takkonstruktionen. Därför kommer det ta lång tid för vätan att förångas i spalten. Förhoppningsvis kommer vätan istället att kunna rinna ut genom spalten. Pappen bör kunna stå emot denna fuktpåverkan om vätan rinner ut direkt längs med materialet. Alternativet med att lägga en träfiberskiva istället för papp är en mer säker lösning då träfiberskivan har en högre fuktkapacitet. Även slagregn under hård vind skulle kunna ta sig upp i dessa luftspalter. Det som skiljer typritningarna åt är främst beständigheten, livslängden och kostnaden för takbeläggningen.



Figur 4.8 PAS 4.3.2.1 Varma yttertak med tegelpannor



Figur 4.9 PAS 4.3.3.1 Varma yttertak med plåt



Figur 4.10 PAS 4.3.4 Varma yttertak med papp¹³

¹³ JM's principritningssamling

4.2. Fakta om ingående komponenter och dess begränsningar

Vindavledare monteras för att säkerställa ventilationsflödet i luftspalten. Denna ska skydda mot att isoleringen går för högt upp mot taket så att ventilationen hindras. Denna fästs provisoriskt fast med häftklammer i takstolen och spikas därefter fast med varmförzinkad pappspik genom runda plastbeslag. Viktigt vid monteringen är att ta hänsyn till underlagstakets nedhängning. Monteras vindavledaren alltför högt upp längs taklutet kan ventilationen hindras eftersom underlagstaket hänger ned. Ett exempel är PAROCs vindavledare som är tillverkad av polymerbehandlad fuktskyddad wellpapp och levereras i enheter om 1270 x 1250mm för tak med 27° lutning. Har taket 14° lutning håller enheterna måtten 1970 x 1200mm. Tjockleken är 4mm. Den ska på grund av sitt utsatta läge i takfoten kunna motstå de påfrestningar som uppstår där bl.a. väder vind och värmeomslag. Livslängden är i skrivande stund okänd, men i exemplet Kvarnsjötorp är det främst i produktionsfasen som den gör mest nytta då isoleringen sprutas upp i vindsutrymmet. Därefter lägger sig isoleringen till rätta. Men den fyller även en funktion i det längre perspektivet då isoleringen av olika anledningar utan vindskydd kan svälla eller blåsas till deformation.

Insektsnätet utgör i vissa fall hos JM det enda monterade skyddet mot snöinträngning. Ute på Kvarnsjötorp skjuts detta fast med häftklammer bakom takfotsbrädan och kläms fast mellan råsponten. Detta görs då taket monteras ihop på marken bredvid huskroppen. Viktigt här är att få anslutningen mellan insektsnät och takfotstass så tät att inte onödiga springor bildas i kanterna. Om dessa uppstår försämras insektsnätets verkningsgrad markant i både insekts- och snöskyddssyfte. Fördelaktigt är då att dra ett dubbelt nät i kanterna för att få dessa skarvar täta. Nätet är tillverkat av plastbelagd glasfiberväv och har en mycket lång livslängd. Det är UV-beständigt och bryts inte ned i solljuset.¹⁴ Detta ska stå emot insekter och djur som försöker ta sig in i vindsutrymmet.

Träfiberboarden som monteras i husen på Kvarnsjötorp har en tjocklek på 4 mm och monteras omlott i ungefär samma system som för taktegel. Detta innebär att det fås två skarvar där fukt kan tränga in. Skarvarna mellan *boarden* tätas inte utan full tillit finns för det överlapp som fås. Detta innebär en större risk om jämförelse görs med en vanlig underlagspapp. Underlagspappen läggs i längre etapper än *boarden* och det uppstår därför mindre risk för fuktinträngning. Följes anvisningarna i HUS AMA 98 så ska dessutom våderna i ett underlagstak av papp med lutning under 16° skarvklistras både i längdriktningen och tvärriktningen.¹⁵ Överlappen mellan *träfiberboarden* torde alltså bli något otäta. Då *boarden* utsätts för väta deformeras den och nedhängen blir större mellan takstolarna. Detta kan leda till en del problem vid regn och snöväder då deformationerna inte alltid är symmetriska mellan de olika *boardelementen*. Här kan då glapp uppstå i överlappen och läckage i underlagstaket uppstår. Dessa effekter påvisar sig mest i byggnadsfasen innan yttertakets är lagt då *boarden* ligger oskyddad för väder och vind. Då snö bli liggande på taket i det här stadiet är det tveksamt om *boarden* skulle hålla tätt vid snösmältningen.

Ett exempel på *träfiberboard* som används på Kvarnsjötorp är Huntonits underlagstak vilken har en livslängd på 50 år om det monteras enligt deras egen monteringsanvisning med falsade taktegel. (Mer info. Om Huntonit i bilaga 4)

En uppfattning som delades av byggarbetarna på Kvarnsjötorp var att *boarden* är ganska spröd vilket ibland medför skador och sprickor i skivorna vid monteringsarbetet. Dessa är mycket svåra att upptäcka och efterarbetet blir stort och kostsamt om Huntoniten behöver bytas i ett

¹⁴ http://www.byggfaktadocu.se/10/company/00/55/64/product244451_10.html 2005-03-01

¹⁵ HUS AMA 98 – JSB. 1

senare skede. Har yttertaket en god täthet borde detta dock inte utgöra några större problem i driftsfasen. Det är dock fullt möjligt att reparera eller byta en skiva om än något komplicerat.¹⁶

Exemplet Huntonit har bra motståndskraft mot fuktpåverkan utifrån eftersom den har en behandlad utsida. Det är den fukt som påverkar *boarden* inifrån som kan vara den förödande. *Boarden* är diffusionsöppen och kan absorbera 200g vatten per kvadratmeter för att därefter diffundera detta till uteluften under taktegelbeläggningen. Detta är fördelaktigt då huset tas i bruk och den byggfukt som uppstår ska transporteras bort ur vindsutrymmet. En vanlig takpapp besitter inte denna egenskap.¹⁷

Taklutningen på husen i Kvarnsjötorp är egentligen lite för låg, omkring 15°, för att det ska vara möjligt att använda sig av ett underlagstak av vanlig *träboard*.¹⁸ (Se bilaga 2) Rekommendationerna säger att taklutningen bör överstiga 22° då taktäckningen utgörs av falsad betong eller taksten och underlagstäckningen av *board*.¹⁹ Huntonits typ av *träfiberboard* för underlagstak är dock behandlad på ovansidan och detta medför en typgodkänning för en lutning ned till 14° enligt Huntonits egna monteringsanvisning.²⁰ Detta med förutsättning att Huntonits anvisningar åtföljs.

Mineralullen som isolerar takbjälklaget i de ventilerade vindsutrymmena på Kvarnsjötorp är lösull. Den sprutas upp för att få en så tät och väl fungerande isolering som möjligt. Det är här den flykande snön som tränger in genom snöskydden slutligen hamnar. För att mineralull ska betraktas som fuktig ska det avsättas så mycket vatten att det bildas en 1mm tjock vattenfilm i botten av isoleringslagret.

Nockfolien som används på Kvarnsjötorp är en typ av presenning. Den är UV-ljusbeständig vilket är mycket viktigt eftersom den ofta kommer att utsättas för solljus undernockpannan.²¹ Den är helt diffusionstät vilket kan medföra fuktproblem i taknock och underliggande delar (se kapitel 4.3. nedan).

4.3. Riskkonstruktioner

Viktigt att tänka på då underdelen av luftspalten gränsas av med en vindavledare är att den måste ha sin nedre kant placerad i en punkt där konstruktionen kan klara av den väta som ibland kommer att rinna efter denna. I exemplet i kapitel 4.1. ovan är vindskivan monterad så att den slutar direkt innanför den översta regeln i fasadens isoleringsskikt. Då snö ansamlas på vindavledaren och smälter kommer vätan att slutligen rinna in i väggkonstruktionen.

Då tryckutjämningsceller bildas p.g.a. ofrivilliga höjdändringar i luftspalten t.ex. över en skalmur är det viktigt att den underliggande konstruktionen är dimensionerad för att stå emot en viss fuktpåverkan. Kan inte vätan transporteras bort på ett bra sätt där råder stor risk för fuktskador.

¹⁶ Ove Larsson, JM

¹⁷ Byggma ASA, Trygve Bratland, PU sjef

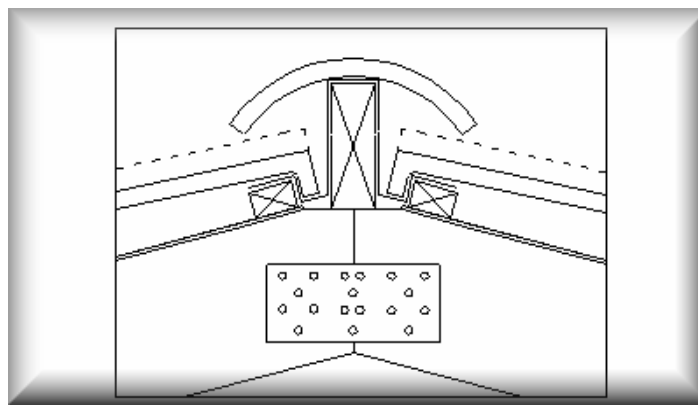
¹⁸ Per Hemgren, Bygga tak

¹⁹ Fukthandboken

²⁰ www.huntonit.se

²¹ Marcus Johnsson, Arbetsledare, MP Byggteknik i Solna AB

Nockfolien i fallet Kvarnsjötorp är av en diffusionstät presenningstyp. Detta kommer att medföra en stor risk för fuktskador då nockpannan och konstruktionen runt om i vissa fall kommer vara mycket kallare än den luft som strömmar upp i nocken. Den varma luften kommer att kondensera då den stöter på den kalla och täta nockfolien. Detta skall i en bra utformad konstruktion avhjälpas med en god ventilation i taknock. Men i fallet Kvarnsjötorp kommer avluftningen antagligen att bli bristfällig eftersom det inte finns någon ströläkt monterad att ventilerar bort luften under. Den fuktiga luften från vindsutrymmet och luftspalt kommer få svårt att passera den täta nockfolien. Det är menat att de luftningsöppningar som bildas av nedhänget av underlagstaket (*träfiberboarden* beskriven tidigare) ska sörja för denna ventilation. Dessa öppningar kommer dock antagligen inte att bli tillräckligt stora om jämförelse görs med spaltöppningar i fungerande takkonstruktioner med ströläkt. Därför kommer nockbräda, takstolar och konstruktioner under att utsättas för direkt fuktpåverkan och fuktdropp.



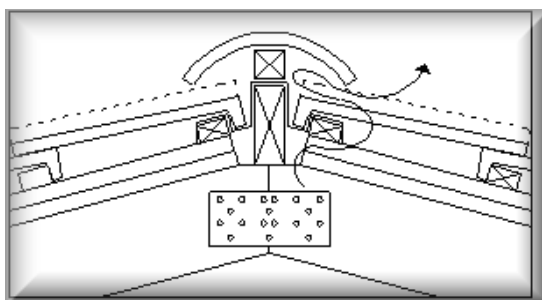
Figur 4.11 Tacknocken i husen på Kvarnsjötorp

4.4. Alternativa lösningar

För att slippa skador i väggkonstruktionen p.g.a. den felmonterade vindavledaren på typritningen i kapitel 4.1 skulle den översta regeln i isoleringsskiktet kunna försänkas något. Därefter skulle vindavledaren kunna dras längre ner så att den slutar i spalten mellan skalmuren och innerväggen. Då kan vätan rinna ur konstruktionen på naturlig väg.

Det finns även en åtgärd för att kompensera den skorstensverkan som uppstår mellan vindskiva och råspont eller underlagstak i sadeltak för att få en minskande hastighet på eventuell fukande snö i luftströmmen. Om vindavledaren läggs med en lägre lutning än yttertaketets lutning fås en allt större luftspalt uppåt taklutet. Då minskar flödes hastigheten uppåt taklutet ju längre in i konstruktionen snön tränger. På detta vis möjliggörs det för avsättning av fukande snö på vindavledaren innan den tagit sig in i det mer känsliga ventilerade vindsutrymmet. Den avsatta snön kommer på grund av lutningen att efter smältning kunna rinna ut längs vindavledaren ner i fingerspalten bakom skalmuren.

En lösning på problemet med den dåligt ventilerade taknocken vore att öppna uppnocken genom att dra nockfolien kortare nedför taklutet och ventilerar fukt under första bärläkten och ut under nockpannan. Utformning måste då ske så att inget vatten kan rinna in genom bakvägen i nocken. Detta alternativ blir dock svårt att tillämpa i exemplet Kvarnsjötorp. Här läggs nämligen bärläkten utan ströläkt direkt på *träfiberboarden* så att ingen egentlig luftspalt bildas. En förlitan sker helt på spalten som bildas av nedhänget av *träfiberboarden*. Ett alternativ som kanske lämpar sig bättre för Kvarnsjötorp är att använda sig av en nockfolie som har förmågan att andas utåt. En sådan finns godkänd hos tegelleverantören.



Figur 4.12 Alternativ lösning med råsponttak för ventilerad taknock

4.5. Observationer på Kvarnsjötorp

Under hösten 2004 utfördes en del observationer ute på Kvarnsjötorp. Syftet var att klargöra hur dessa tak skulle klara den svenska vintern. Detta genomfördes i första hand genom att utvärdera de ritningar som användes. Därefter genomfördes kontroller ute på plats på de punkter som efter kontrollen av ritningarna visat på brister. Kontroll genomfördes även av de tekniska lösningar som användes vid bygget och de ingående materialen.

Exemplen på goda lösningar var många. Husen på Kvarnsjötorp är välbyggda, men vissa punkter fanns där fuktskyddet inte var tillfredställande.

Den första kontrollen som gjordes på plats var hur anslutningen mellan takfotstass och insektsnät utfördes. Stickprov gjordes på de båda husen med sadeltak. Det visade sig att takfotsöppningarna i de flesta fall var väl utförda med häftklammer runt om hela öppningen och tillräckligt med nät så att inga glapp uppkom. Men i några av fallen hade det lämnats stora glapp i nätet. I det värsta uppmärksammade fallet, ett typhus A, upptäcktes ett glapp på över 10 cm i den ena kanten ut till takfotstassen. Detta är inte att föredra då snö, vata och insekter inte stöter på några som helst hinder för att ta sig in i takkonstruktionen genom en sådan takfotsöppning.



Figur 4.13 Ett stort glapp i insektsnätet hittades

Därefter gjordes en kontroll av snöinträning och fuktläckage i vindsutrymmet på ett av A-husen. Dessa test gjordes med papper målade med vattenlösliga färger. Då fuktinträning i form av droppar tränger in i vindsutrymmet skulle dessa fläckas. Det visade sig att ingen märkbar snöinträning kunde påvisas under provperioden över julhelgen. Observera att det under denna period endast snöade ett fåtal gånger och utan med någon starkare vind som drivkraft. En storm med inslag av regn drog dock över Sverige under slutet av provperioden. Men denna drev inte upp någon väta i vindsutrymmet som kunde detekteras av provpapperen. Däremot kunde det påvisas ett visst vattendropp från taknocken. Provpapperet som placerades mitt under taknocken på den landgång som monterats där hade ett otal fläckar orsakade av vattendroppar. Orsaken till detta torde vara den otillfredsställande ventilationen i nocken som behandlats tidigare. Negativt med denna undersökning var att det intressantaste fallet med pulpettaken inte kunde provas. Detta gick inte att genomföra p.g.a. problematiken att på ett bra sätt placera ut provpapperen i den smala luftspalten.



Figur 4.14 Några av de fuktfläckar som kunde urskiljas på provpapperet under taknocken

Något som var intressant att undersöka i observationerna var att kontrollera hur god täthet som uppnåddes i underlagstaket av träfiberskivor. Efter ett snöoväder kunde takkonstruktioner som ännu inte var färdigställda att lyfta på plats kontrolleras. Dessa saknade ännu taktegel och på så vis kunde det kontrolleras om *träfiberboarden* höll tätt. Det visade sig att träfiberskivorna gav en någorlunda täthet, men då snö blev liggande och smälte ovanpå skivorna kunde det urskiljas ett flertal fuktgenomslag i underlagstaket. Viktigt att påpeka här är att dessa teorier bygger på ett enskilt stickprov. En annan möjlighet är att fuktgenomslagen beror på hanteringen av skivorna innan de monterades. Var träfiberskivorna fuktiga vid montaget kan fuktfläckarna bero på detta.



Figur 4.15 En mörk fuktfläck på undersidan av underlagstaket

5. Skada orsakad av snöindrev

Inom JM har en skada orsakad av snöindrev tidigare uppmärksammats, nämligen i Salems kommun, Gustavslund. Här utfördes nybyggnationer av villor, parhus och kedjehus. Objekten var utförda med relativt låg taklutning utan monterade snölås. Under nyårshelgen och mellandagarna 2003 snöade det och blåste kraftigt. Därefter blev det blidväder med regn och stora fuktfläckar uppstod i innertaket i husen. Det framstod först inte klart vad detta berodde på men i en beställd utredning av KTH, byggnadsteknik, framgick det att detta kunde bero på följande tre punkter:²²

- Vindens förmåga att pumpa upp väta i anslutningen mellan våderna på takpappen.
- Kondens av fuktig luft i vindsutrymmet.
- Fuktinträngning p.g.a. snöindrev genom takfot.

Gustavslund blev nu föremål för en del undersökningar för att utreda var felen fanns. I en rapport utförd av Bjerking, ett konsultföretag inom hus, anläggning och installation, konstateras bl.a. att de snöskydd som använts inte var tillfredställande ur en byggteknisk synvinkel. Snölåsen som anbringats var inte fungerande och att detta var en trolig anledning till fuktskadorna. Dessa skador uppstod inte i alla hus. Detta kunde förklaras med den skiftande topografin i området, vindriktningar och husens olika orientering.²³ Det var här de första tankarna om ett examensarbete inom området grundlades.

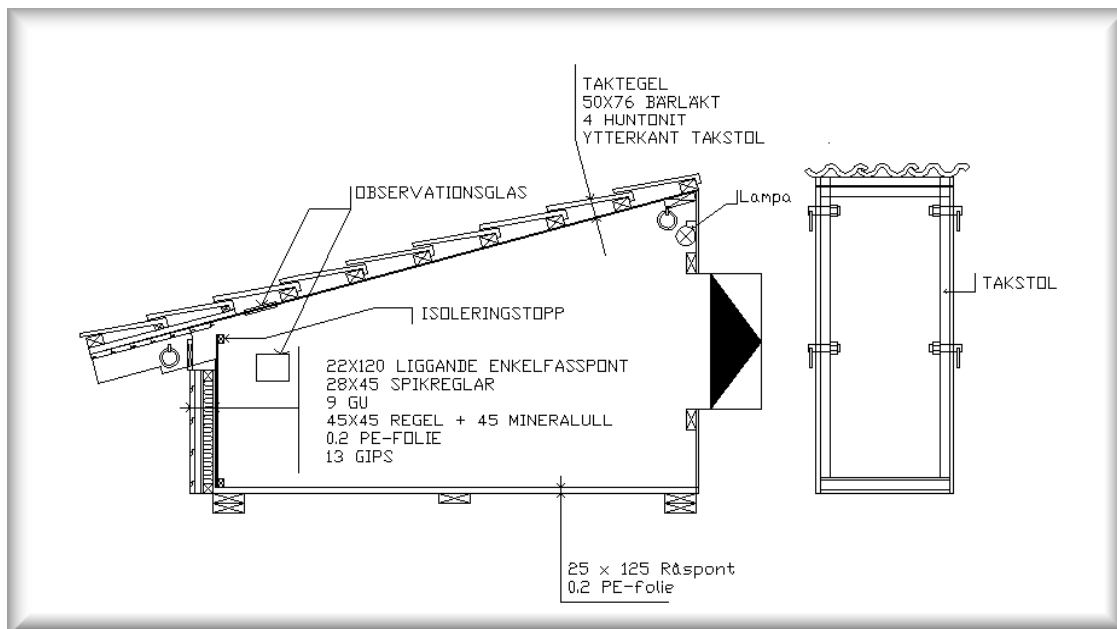
²² Kommentarer beträffande Gustavslund, KTH byggvetenskap.

²³ Bjerking rapport Gustavslund, Salems kommun. Fuktskadautredning takkonstruktion.

6. Modellbygget och simuleringarna

6.1. Bygget, ritningar och instruktioner

En fullskalig modell utfördes av en takstol med JMs ritningar över Kvarnsjötorp, hustyp A som grund. Avsikten var att använda denna för att simulera en konstgjord snöstorm med och därigenom studera snöinträngning genom takfotsöppningen. Modellen kom att utföras så som figur 5.1 nedan visar. Materialet som användes tillhandahölls av JM och typer och dimensionerna var i möjligaste mån enligt dem som används ute på Kvarnsjötorp. Takpannor slopades på modellen då dessa inte var nödvändiga för simuleringens resultat. Dessa hade även en för stor tyngd för att modellen lätt skulle kunna hanteras. Isoleringen som fanns på originalritningen över Kvarnsjötorp slopades också eftersom en ren och fin botten var önskvärd så att det inträngande mediet skulle kunna samlas ihop och vägas efter simuleringarna.



Figur 6.1 Ritning på takmodell

Två observationsfönster monterades, ett i gipsväggen och ett i underlagstaket, för att underlätta observationer under simulering. Kamerastativ kom att sättas fast utanför dessa för att kunna montera kameror för dokumentering av simuleringens resultat. Belysning monterades i konstruktionen för att det skulle vara möjligt att se hur snön tog sig in under experimenten. En tät manlucka i gipsväggen utfördes för att brukaren skulle kunna ta sig in i konstruktionen efter simuleringarna för mätning av mängd inträngt medium och för att korrigera modellen. Sidoväggarna kom i grunden att bestå av två takstolar av den typ som används i hus A i Kvarnsjötorp. Dessa monterades med ett kantavstånd på 60cm. På dessa monterades gipsskivor som tätades med lim och plastfolie.

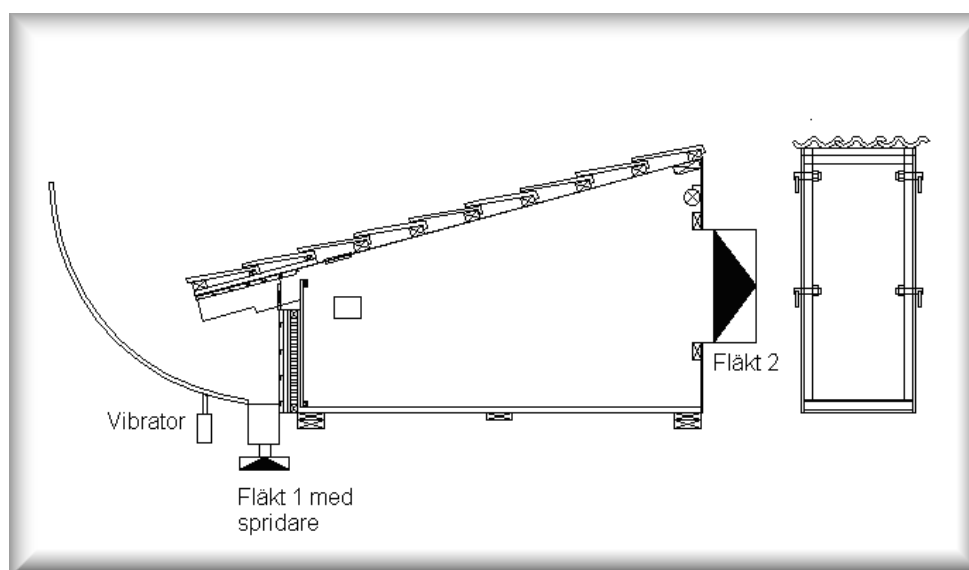
Det var viktigt att få en så tät modell som möjligt eftersom ett undertryck skulle skapas i konstruktionen för att framkalla ett kontrollerat flöde genom takfotsöppningen. Var modellen otät skulle inte tillräcklig trycksättning kunna upprätthållas.



Figur 6.2 Takmodellen med monterad försöksutrustning

6.2. Simuleringar och metoder

Modellen byggdes så att olika snöskydd kunde monteras av och på. Olika snöskydd skulle provas för att undersöka verkningsgraderna av dessa. De snöskydd som provades var insektsnät i takfotsöppning, utvändigt snölös med eller utan hinder och *spoiler*. Vissa kombinationer av dessa undersöktes. Insektsnät är i de flesta fall monterade vid nybyggnationer av hus, därför kombinerades detta ständigt med de övriga snöskydden. Till modellen anslöts två fläktar i ett system för att efterlikna en naturlig vind så trovärdigt som möjligt. Fläkt nr 1 som placerades ansluten till en luftspredare användes för att transportera simuleringsmediet i en virvel under takfoten. Det var viktigt att denna virvel liknade den som uppstår under en takfot vid en naturlig vindpåverkan.



Figur 6.3 Ritning på försöksmodell med simuleringsfläktar

Fläkt nummer 2 anslöts i bakkant på modellen. Eftersom luftflödet från en fläkt är turbulent kunde inte snöstormen simuleras med enbart en blåsande fläkt i framändan. Denna hade inte skapat ett laminärt flöde mot fasaden och inte haft kapaciteten att skapa en tillräcklig tryckskillnad mellan lovert och läside. Därför monterades denna fläkt för att skapa ett undertryck inne i vindsutrymmet för att efterlikna denna tryckdifferens. En tryckmätare och en luftflödesmätare installerades för att mäta flödet genom spalten för de olika trycksättningarna. Dessa mätningar blev dock ganska ostadiga och att få fram exakta flödesuppskattningar var svårt. Men ett medelvärde för mätningintervaller på tio sekunder kunde till slut beräknas.

Trycket mättes med flera tryckmätare vilken mätte tryckskillnader mellan den omgivande luften och det lilla vindsutrymmet i modellen. Trycket mättes under taksprånget för att kontrollera att det inte skulle bli för stort i takfotsöppningen. Avsikten var nämligen inte att trycka in mediet med flödet från fläkt 1 under takfoten utan istället suga in det med flödet i öppningen alstrat av tryckdifferensen, genererad av fläkt 2. Luftflödet mättes därefter för en och samma punkt i takfotsöppningen för samtliga varianter av snöskydd och vid olika tryck. Mätningar av flödeshastigheten skedde med varmtrådsanemometern som visas i figur 6.4 nedan.



Figur 6.4 Luftflödet i takfotsöppningen uppmättes med en Varmtrådsanemometer

De olika snölåsen dämpade luftflödet något i takfotsöppningen p.g.a. den mindre spaltöppningen som bildades mellan fasad och snölås. Snölåset medförde även vissa strömningsförluster i inflödet. Snöskyddsvarianten *spoiler* erhöll även den ett något mindre flöde i takfoten eftersom vindpåverkan av fläkt nummer 1 blev mindre då virveln från denna styrdes ut från takfotsöppningen. Någon skillnad mellan en oskyddad öppning och en öppning med monterat insektsnät kunde inte uppmätas med de metoder som stod till förfogande. De uppmätta lufthastigheterna liksom de stundade simuleringarna utfördes för de olika trycksättningarna 0, 13, 25, 37, 50 och för vissa snöskydd 70 Pascal. Hastigheterna för resp. snöskydd vid de olika trycken framgår av diagram 6.1 nedan.

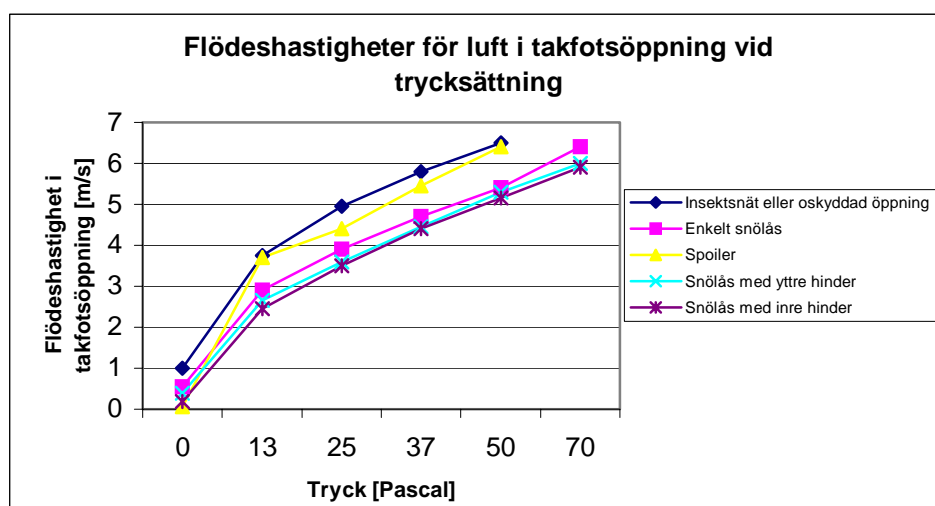


Diagram 6.1 Uppmätta flödes hastigheter för olika snöskydd

6.3. Beräkning för kontroll av relevansen i tryckintervallet för simuleringarna

En beräkning genomfördes för att beräkna den tryckdifferens som uppstår mellan lä och lovartsida under vind och termikpåverkan på ett hus. Detta för att kontrollera att de tryckuppsättningar simuleringarna genomfördes för var applicerbara och relevanta för ett verkligt fall. Beräkningen utfördes med en vindpåverkan av 8m/s och en temperaturdifferens på 20°C. De formfaktorer som antogs för byggnadens fasader var 0.7 på lovartsidan och -0.5 på läsidan.²⁴ Formfaktorer är en storhet som kan användas för att beskriva en fasads utformning då vid beräkning av tryckdifferenser mellan olika sidor på konstruktioner enligt formeln i bilaga 7. Den totala tryckdifferensen med dessa samverkande drivkrafter uppgick till 47.9 Pascal. Detta värde ligger i intervallet 0-75 Pascal och simuleringarna var alltså tillämpbara. (Se bilaga 7)

6.4. Simuleringsmedium

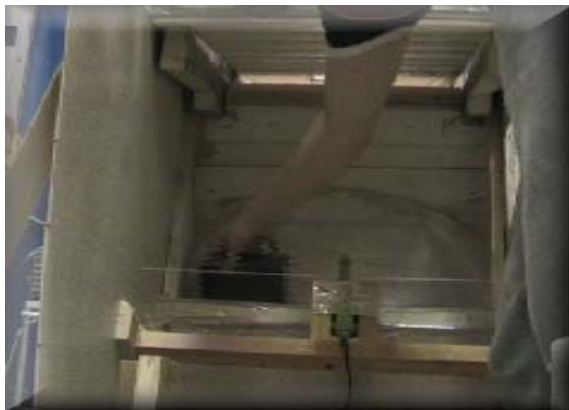
Då simuleringarna utfördes inomhus i ett uppvärmt utrymme kunde inte någon form av verklig snö användas. Denna skulle vara svår att tillverka och problematisk att hantera. Det första problemet låg därför i att hitta ett medium som hade liknande egenskaper som snö men som inte smälte i rumstemperatur. Snöpartiklar kan ta sig oändligt många former och egenskaperna skiftar därefter. I verkliga fall med snöinträning har det visat sig att en typ av arktisk snö med ytterst små iskristaller är svårast att skydda sig emot. Denna snö uppkommer

²⁴ Lecture on Building Physics, Heat and Moisture Transfer, Prof Gudni Jóhannesson

ganska sällan i Sverige, men för att simuleringarna skulle göras för det sämsta tänkbara scenariot söktes ett medium med dessa egenskaper. En del olika medium diskuterades och det som kom att användas var finkorniga sågspån med blandad storlek. Dessa siktades tre gånger genom ett nät av samma typ som monteras i takfotsöppningar. Detta för att avlägsna större partiklar som inte insektsnätet kunde släppa igenom.

6.5. Simuleringsmetod 1: Mätning av mängd inträngt medium

För att testa olika snöskydd och för att kunna jämföra dessa med varandra provkördes olika typer av snölås och *spoiler* tillsammans med insektsnät i testmodellen. Denna simuleringsmetod utfördes på följande sätt. 100 g medium mättes upp och placerades på luftspridaren under taksprånget. Uppsamlingsfilten breddades ut på botten av modellen för att samla upp inträngt medium. Därefter trycksattes det lilla vindsutrymmet i modellen till det tryck som var intressant. Trycksättningarna som undersöktes för resp. snöskydd var 0, 13, 25, 37, 50 och 75 Pascal. Sju faldiga försök utfördes för att erhålla bra medelvärden för inträngningen. Därefter startades fläkten till spridaren för ett visst bestämt varvtal. Nu bildades en simulerad snöstorm utanför takfotsöppningen. Mediet bars med i den virvel som bildades under takfoten. Det medium som inte trängde in genom öppningen virvlades bort och ut i lokalen. Den mängd som trängde in samlades upp och vägdes. På detta vis kunde inträngningen redovisas i diagram för att senare jämföras med varandra.



Figur 6.5 Placerar 100g medium på spridaren



Figur 6.6 Mediet samlas upp av filten



Figur 6.7 Filten skakas av och mediet sopas ihop



Figur 6.8 Mediet vägs och vikten dokumenteras

6.6.. Kommentarer

Ekvationen för ett flöde som uppkommer på grund av en tryckdifferens kan uttryckas,

$$mv^2 = \Delta p .$$

Där m är massan för det flödande mediet, v är strömningshastigheten och Δp är den tryckdifferens som råder. Denna ekvation kan skrivas om på följande form,

$$v = \sqrt{(p / m)} .$$

Detta tyder på att i ett idealiskt fall då mediet strikt följer luftströmmen kommer inträngningen i förhållandet till tryckdifferensen att anta samma form. Detta borde alltså kunna ses som ett riktvärde för de förväntade utfallen av inträngningssimuleringarna som utförs för en oskyddad öppning. Då montering av snöskydd sker av olika slag vid takfoten störs den fria strömningen för mediet och kurvan för inträngningen kommer då att anta andra former.

6.7 Simuleringsmetod 2. Studier av flöden och virvlar

Denna simulering utfördes för att kontrollera om simuleringsresultaten i simuleringsmetod 1 var tillämpbara i verkligheten. I simuleringsmetod 2 utfördes samma procedur som i simuleringsmetod 1 förutom att mediet stängdes in så att det flödade i ett kretslopp under takfoten. Därefter startades fläktarna och flöden, strömbilder dokumenterades med hjälp av skissblock och kamera. Det visade sig dock svårt att dokumentera detta med kamera. Simuleringsmediets partiklar syntes inte i luftflödet. För att exponera mediet bättre impregnerades detta med fluoriserande färg och belystes med en UV-lampa då det färdades med luftflödet. Simuleringar med impregnerade papperstussar genomfördes också för att förtydliga mediets flödesväg och möjliggöra för dokumentering med kamera.



Figur 6.9 Simuleringar med UV-ljus och papperstussar

6.8. Simuleringsresultat i simuleringsmetod 1

I simuleringarna testades först en helt oskyddad öppning. Inträngningen i detta fall visade sig inte skilja sig märkbart från inträngningen i fallet med monterat insektsnät. Det oskyddade fallet kan alltså betraktas som samma resultat som för öppningen skyddad med ett insektsnät. Därför behandlas inte det oskyddade fallet närmare i den här texten. Observera att samtliga simuleringar är utförda med ett medium som har möjlighet att strömma genom öppningarna i nätet. Ett insektsnät kan dock fungera utomordentligt bra som skydd då partiklarna är stora.



Figur 6.10 Större partiklar stoppas effektivt upp av insektsnätet

I Simuleringarna för en insektsnätskyddad öppning spred sig mediet i ett jämt lager utmed botten i testmodellen. Inträngningen redovisas i diagram 6.2. Inträngningen är relativt stor jämfört med övriga snöskyddsvarianter.

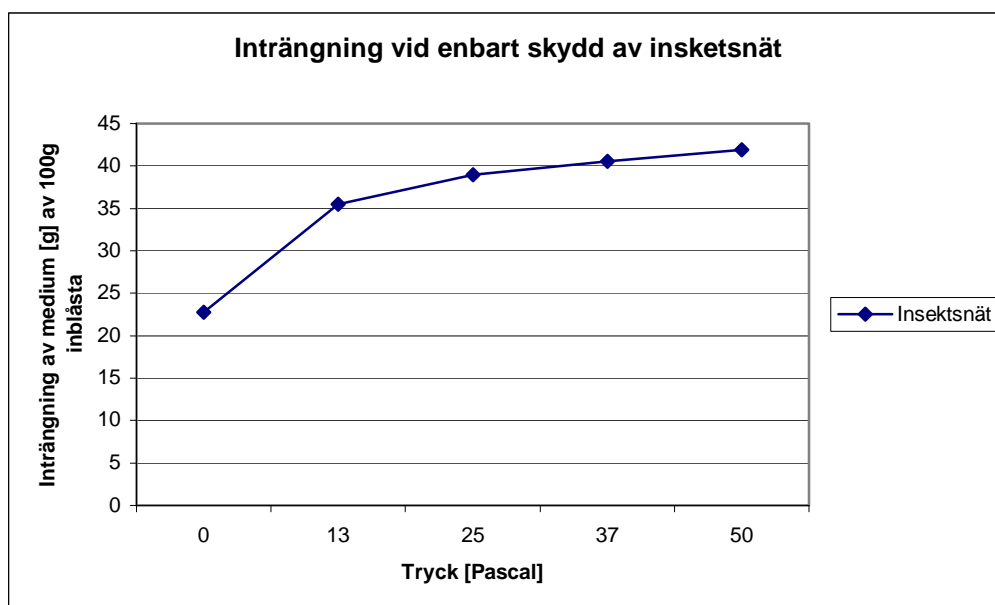


Diagram 6.2. Inträngning av 100g inblåst medium vid snöskydd av insektsnät

I simuleringarna provades ett enkelt snölås av samma typ som används för pulpettak ut på Kvarnsjötorp. I dessa simuleringar visade det sig att strömningshastigheten blev något lägre vid samma trycksättning än för en oskyddad spalt. Detta beror på den smala öppningshöjden och de strömningsförluster som det monterade snölåset medför. En viss mängd medium avsattes i själva snölåset, men den största snöskyddseffekten torde antagligen uppkomma p.g.a. den mindre öppningen under snölåset. Mediet hade en tendens att avsättas i den främre delen av testmodellen och det var framförallt de större partiklarna som trängde in jämfört med en oskyddad öppning där det inträngda mediet hade en mer blandad karaktär.

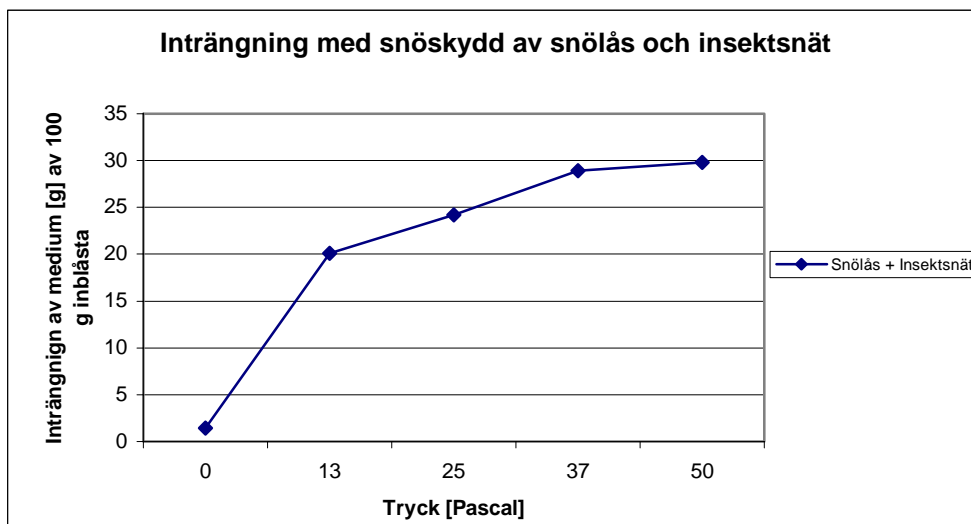
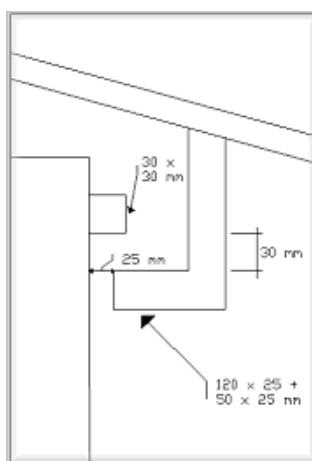


Diagram 6.3. Snöskydd ned snöskydd av enkelt snölås

Verkningsgraden för det enkla snölåset kan ses som ganska låg varvid en omgjord variant av detta testades. Ett snölås med ett inre hinder i tryckutjämningscellen ritades upp och tillverkades. Meningen med detta var att simuleringemediet fick ta en omväg för att tränga in i spaltöppningen.



Figur 6.11. Snölås med inre hinder.

Strömningshastigheten vid simuleringarna med denna variant visade sig sjunka ytterligare något jämfört en oskyddad öppning och resultatet var inte övertygande mycket bättre jämfört det enkla snölåset. En viss förbättring kunde dock skönjas och avsättningen i snölåskonstruktionen blev större. Spridningen av mediet i testmodellen var liksom det enkla snölåset mest i den främre delen av testmodellen.

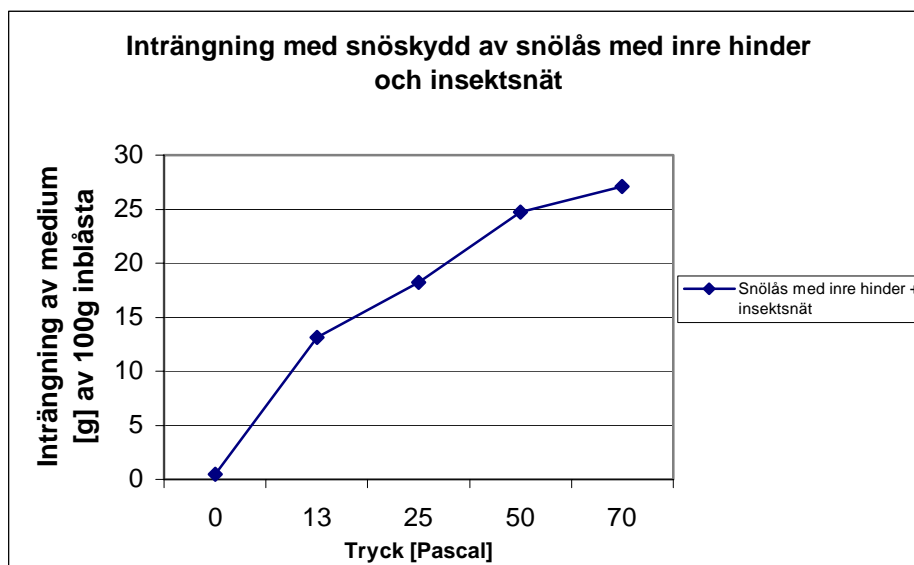
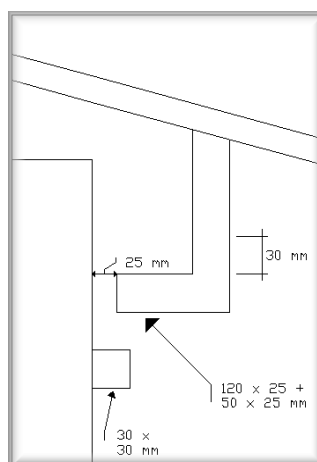


Diagram 6.4. Inträngning med snöskydd av snölås med inre hinder

Efter att ha studerat de strömvirvlar som uppstår under takfoten vid en snöstorm genom strömningsbilder och filminspelningar från simuleringmetod 2 observerades det att mediet strömmade längs med fasaden för att sedan vika av och in i en virvel ganska nära takfotsöppningen. Detta innebar att i fallet med det enkla snölåset kan mediet strömma rakt in i öppningen och ohindrat fortsätta upp i spalten. För att motverka detta ritades en ny variant av detta snölås med ett utvändigt hinder. Detta placerades tre centimeter nedanför öppningen på snölåset för att skydda denna från det strömmande mediet.



Figur 6.12. Snölås med yttre hinder

Vid testerna av denna snöläsvariant syntes det redan på strömningsbilderna under taknocken att detta var en bra lösning. Partiklarna som tidigare strömmade rakt in i snöläset stoppades nu och föll tillbaka in i virvelbildningen för att transporteras bort. Även här blev strömningen i takfotsöppningen något lägre än för en oskyddad takfotsöppning, men till skillnad från de andra snöläsvarianterna blev nu verkningsgraden mycket bra. Det inträngda mediet spred sig mestadels i den främre delen av konstruktionen och partikelstorleken var över lag ganska stor. De mindre partiklarna verkade ha sorterats bort av snöläskonstruktionen.

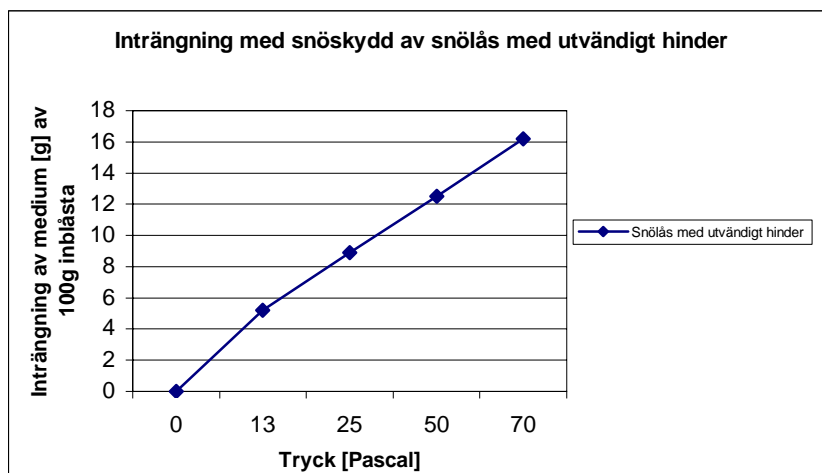


Diagram 6.5 Inträngning med snöskydd av snöläs med utvändigt hinder.

Önskemål hade framförts från JM att även göra simuleringar med ett snöskydd som presenteras i Fukthandboken av Lars Erik Nevander och Bengt Elmarssons, vilket också gjordes. Detta snöskydd bestod av en *spoiler* monterad en bit under takfotsöppningen. Denna variant fungerar på ett helt annat sätt än de tidigare snöskydden. Istället för att sänka hastigheten och hindra inflödet av medium med hinder styr denna istället bort luftströmmen från takfotsöppningen. Detta visade sig vara lyckosamt med väldigt små mängder inträngt medium. Men spridningen i det här fallet var mestadels i den mittersta och bakre delen av tesmodellen och partiklarna var mindre. De större och tyngre partiklarna verkar ha slungats bort då de passerade *spoiler*en.

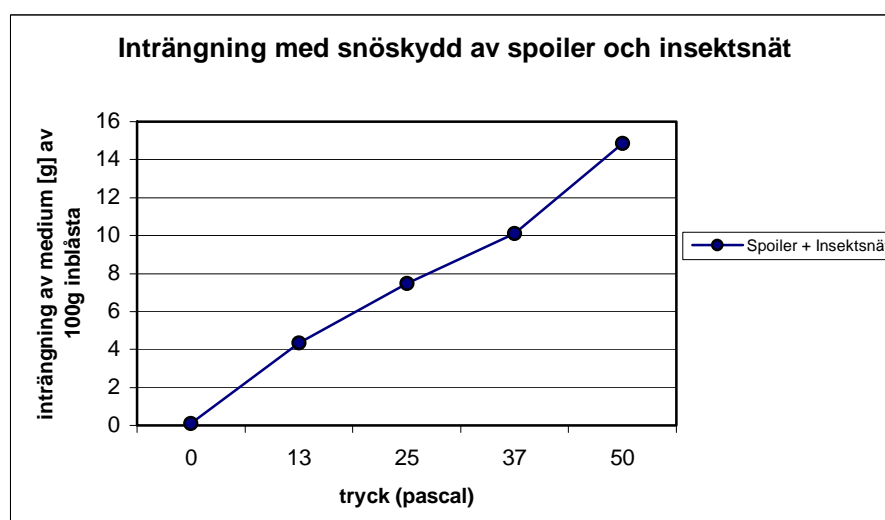


Diagram 6.6 Inträngning med snöskydd av *spoiler*

6.9. Tolkning av resultat och slutsatser

För att göra det möjligt att jämföra snöskydden rättvist kunde inte jämförelsen av inträngningen för olika snöskydd göras vid de olika trycken. Detta p.g.a. att flödet i takfotsöppningen vid de resp. trycksättningarna hela tiden ändrades mellan de olika snöskydden. Därför kombinerades de uppmätta värdena på flödet vid olika tryckdifferenser med resp. snöskydd med resp. inträngningskurva. Framtagning av en kurva för inträngningen som berodde av strömningshastigheten genomfördes. På det sättet kunde jämförelser av de olika skydden göras på ett mer rättvist sätt.

Det visade sig att inträngningen i en helt oskyddad öppning inte skiljde sig något jämfört med en öppning med monterat insektsnät då partiklarna var små. Detta kunde tolkas till att insektsnätet inte skyddar nämnvärt mot inträngning av snö då storleken på partiklarna understiger öppningsdiametern för maskorna i insektsnätet. Större partiklar var det dock bevisligen ett gott skydd mot. Det enkla snöskyddet som är av samma typ som används i pulpettaken på Kvarnsjötorp fungerade, men hade knappast någon hög verkningsgrad. Detta kunde jämföras med snölåset som bestyckats med ett inre hinder. Detta snölås hade en bättre verkningsgrad i intervallet 0 – 6 m/s men vid högre flöden visade prognoskurvorna att dessa närmade sig varandra. De två snöskydden som visade bäst resultat var *spoiler* och snölås med utvändigt hinder. *Spoilern* visade något bättre resultat, men detta måste vägas med att inträngningen i detta fall skred längre än för snölåset. (Värden för inträngning i bilaga 6)

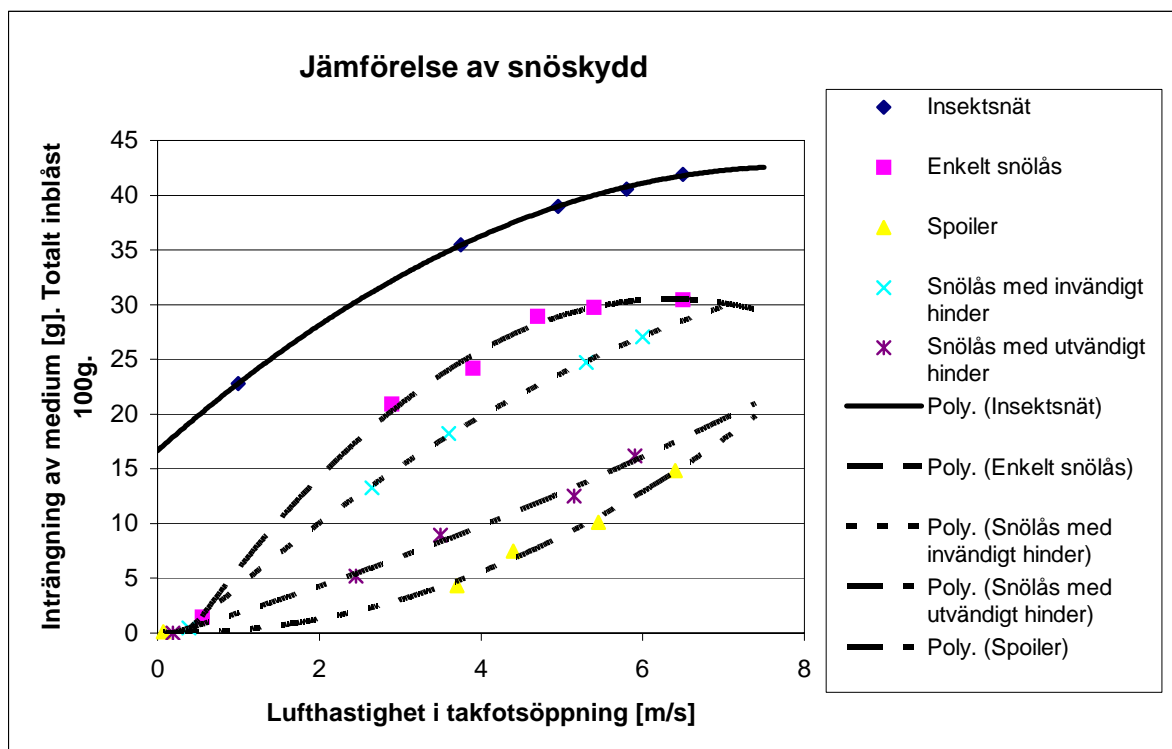


Diagram 6.7 Inträngning för olika snöskydd vid olika lufthastigheter i takfotsöppningen.

6.10. Svårigheter vis simulering av snöoväder och hur dessa hanterades

Att simulera ett snöoväder visade sig snart vara ganska svårt. Den första simuleringssprototypen som byggdes erhöll inte rimliga resultat. Det åskådliggjordes efter utredning att tryckhöjningen vid takfotsöppningen vid simuleringarna blev alldeles för stor. Istället för att fläkt 1 enbart virvlade runt mediet utan större påverkan av flödet i takfotsöppningen, pressade den in i mediet in i takkonstruktionen.

En ny och slutlig prototyp byggdes som inte alstrade lika stora tryckhöjningar vid öppningen. Med denna gjordes det möjligt att filma mediet under simuleringarna och att låta mediet gå i ett slutet kretslopp. Viktigt vid utformandet var att bygga spridaren till fläkt 1 så att ett samlat flöde längs hela fasaden bildades. Efter några småkorrigeringar visade det sig i provkörningar att testmodellen fungerade. Spridaren fick dock problem att rycka med sig hela mediemängden då simuleringarna utfördes för vägning av inträngning utan kretslopp. Detta åtgärdades med att spånen sköts in i luftströmmen med en sopkvast. Metoden verkade något bristfällig till en början, men vägningen av inträngningen visade ändå att säkerheten i simuleringarna var mycket hög och därför kunde förfarandet accepteras.



Bild 6.13. Matningen av medium till spridaren fick ibland underlättas med hjälp av en sopkvast

6.11. Resultaten

De resultat som provades fram i simuleringssmetod 1 kan inte säkert betraktas som absoluta värden för inträngning av snö i verkligheten. Många faktorer skiljer sig från verkligheten jämfört med de i modellen. Simuleringsmediet utgjordes av sågspån och i verkligheten kan dessa partiklar anta oändligt många olika former. Flödena framkallades av fläktar medan de i verkligheten är laminära till en början. Riktningen på vinden kan i ett verkligt fall växla till oändlighet och förutsättningarna för vinden likaså. Det bör också beaktas att simuleringarna inte utfördes på en riktig byggnad. I verkligheten är fasaden mycket bredare än vad testmodellen var.

Istället får resultaten ses i förhållandet mellan verkningsgraderna för olika snöskydd. Resultaten ger en fingervisning över hur verkningsgraderna mellan de olika snöskydden förhåller sig till varandra.

6.12. Slutsats

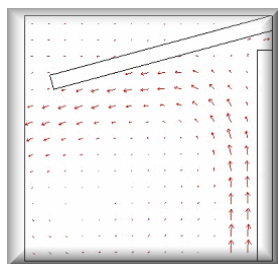
De två snöskydd som visade sig vara de bästa i simuleringarna var *spoiler* och snölås med utvändigt hinder. I fallet med *spoiler* samlades dock mediet längre in i konstruktionen än vad det gjorde för snölåset. Inträngningen för snölåset var något högre, men detta kompenseras med att mediet inte tränger lika långt in i konstruktionen. Den farligaste snön har antagligen sorterats bort i inlopp och tryckutjämningscell i snölåset. Med dessa fakta torde snölåsvarianten vara det bättre alternativet. Att tänka på är att flödes hastigheten i spalten kommer hämmas något vid montering av ett snölås och ventilationen kommer därför att bli något sämre än i fallet med snöskydd av *spoiler*.

7. Datorsimuleringar

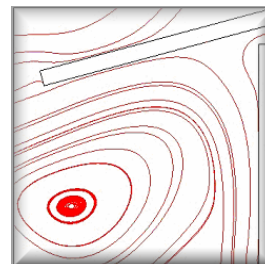
För att resultaten av simuleringarna i takmodellen skulle kunna knytas till verkligheten studerades virvelbildningen under takfoten i testmodellen. Först efter att det var fastställt att strömningen i provningsmodellen liknande ett verkligt fall kunde var det säkert att dessa resultat hade någon relevans i verkligheten. Efter en snöfattig vinter hade möjligheterna att kontrollera detta varit små. Snöfallen hade varit kortvariga och vindhastigheterna små. Alternativet fanns att göra en beräkning i fysiksimuleringsprogrammet FEMLAB för att erhålla strömningsbilder att jämföra med.

De strömningsbilder som räknades fram visar en fasad som inte befinner sig under någon egentlig tryckdifferens mellan lä och lovartsida. Strömningsbilderna visar endast hur snön flödar med luftströmlarna på framsidan av fasaden. Ett lågt flöde i spalten är därför ett gott resultat i det här fallet eftersom det kan ses som ett mått för möjligheten för mediet att ta sig in i konstruktionen. I verkligheten kommer strömningen att vara större då trycket driver på flödet i spalten. Dessa bilder bör därför ses som exempel på hur mycket och vilken hastighet det medryckande mediet har i varje punkt. Strömningsbilderna beräknades enligt två metoder. En beräkningsmetod för laminär strömning och en mer specialiserad på turbulent strömning. Det räknades i båda simuleringsmetoderna med en vindhastighet på 12 m/s. Randvärden ställdes in för ytterkonturena i plottarna som väggar, tak och neutrala kanter där strömningen kunde ske fritt. Den kinematiska viskositeten för luft ansattes till $\nu_k = 15.11 \cdot 10^{-6}$ (m²/s) och den dynamiska viskositeten till $\nu_d = 19.11 \cdot 10^{-6}$ (Ns/m²). Densiteten för luft ansattes till $\rho = 1.2$ (kg/m³).

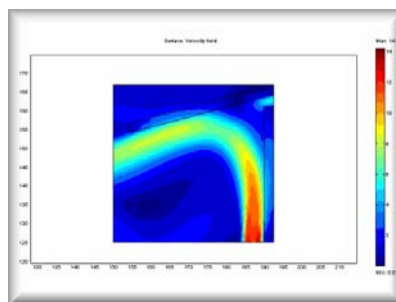
De första simuleringarna beräknades med Navier Stokes beräkningsmodell för icke turbulent strömning. Dessa beräkningar var krävande att utföra och programmet träffade ofta på singulariteter i beräkningarna eftersom den inte var anpassad för turbulent strömning. Då programmet stöter på en singularitet går inte beräkningen att genomföra. Några plottar med mycket förenklade modeller kunde dock framräknas.



Figur 7.1 Hastighetspilar under takfoten



Figur 7.2 Virvelbild som förtydligar virvelbildningen

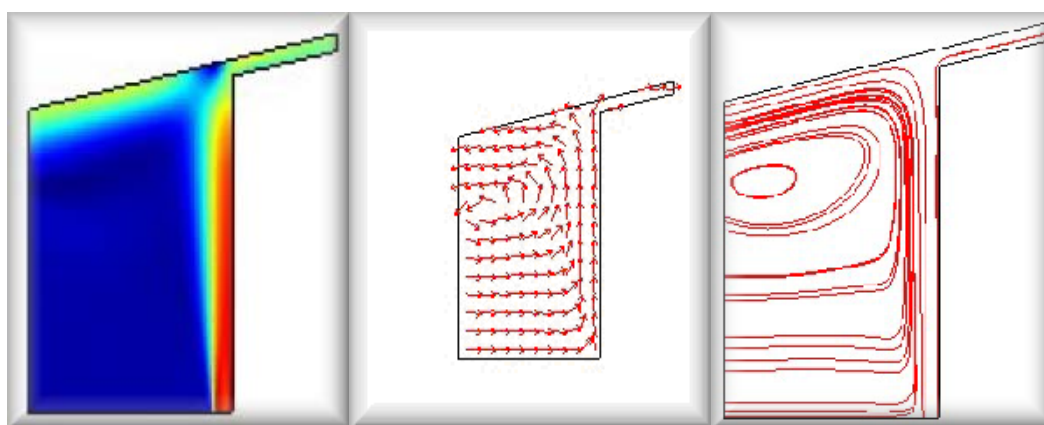


Figur 7.3 Femlabberäkning presenterad i hastighetsfärger

Dessa beräkningar stämmer inte helt fullt överens med verkligheten då det finns möjlighet till turbulent strömning. Virvelbildning under takfoten gick visserligen i en båge, men ingen fullt utvecklad virvel presenterades.

Eftersom det var virveln i luftrummet direkt under takfotsöppningen som var intressant ansågs det att en beräkningsmetod som var specialiserad på turbulent strömning skulle ge ett mer riktigt resultat. Dessa beräkningar kom att utföras med K-epsilons beräkningsmodell för turbulent strömmande medium. Detta var liksom det förra fallet krävande att utföra men programmet stötte inte längre på några singulariteter i beräkningarna. Då området för plotten begränsades till just det område liggandes direkt i anslutning till takfoten utan att rita med några extra objekt i form av fasader eller tak underlättades datorns räkneoperationer. Konturerna av fasad och tak och neutrala kanter deklarerades endast som randvärden i programmet och på detta vis blev det lättare att genomföra beräkningarna.

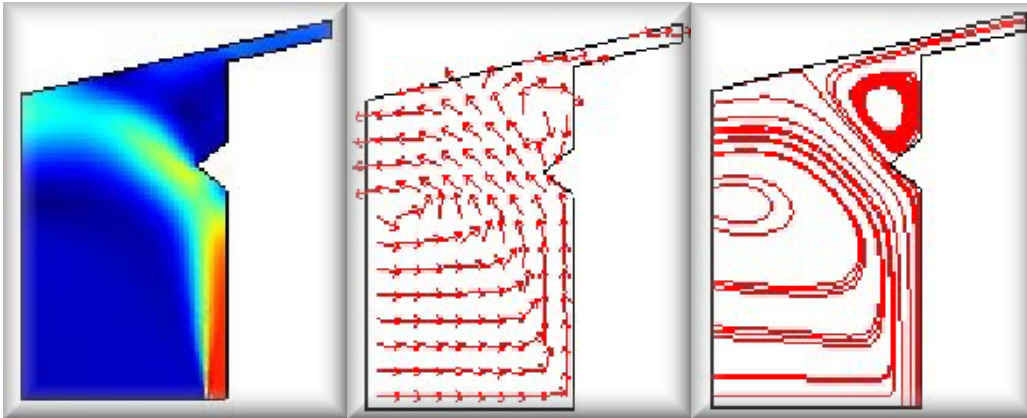
På de plottar som visar en helt oskyddad öppning observeras att luften strömmar ohindrat upp i området för takfotsöppningen och viker av i ett sent skede, vilket kan ge stor snöinträngning vid hårda vindar. Hastigheten i spalten är stor enligt figur 7.4. Figur 7.5 visar den riktning som flödet har i varje punkt under takfoten. Pilarna är normaliserade och kan inte ses som hastigheter. Figur 7.6 visar tydligt konturerna av den virvel som bildas under takfoten.



Figur 7.4 Hastighetsbild i färger Figur 7.5 flödesriktningsbild Figur 7.6 Virvelbild

Jämförelser med dessa plottar och de observationer och filminspelningar som genomförts i simuleringmetod 2 i testmodellen stämde förvånansvärt bra överens med varandra. Detta ger en god grund att stå på då det ska påvisas att virvlarna i takmodellen stämmer med verkligheten.

Vid datasimuleringar med en monterad *spoiler* observerades det genom strömbilderna att luftflödet vekar tidigare än för det oskyddade fallet och hastighetslinjerna blir färre och mer okontrollerade i området ovanför *spoilern*. Detta gör *spoilern* till ett bra snöskydd då det monteras i rätt höjd från öppningen så att en optimal utbrytning av virveln sker. I simuleringsfallet monterades det med ett *c/c* avstånd från takfotsöppningen och *spoilerspets* på 25 cm. Monteras *spoilern* för högt upp kommer luftflödet att brytas av för sent och inträngningen ökar. Då *spoilern* monteras för långt ner kommer luftflödet åter att tvingas in mot fasaden och skyddet får på detta sätt en lägre verkningsgrad. I hastighetsbilden med färger observeras att flödet i spalten sker med en relativt låg hastighet.



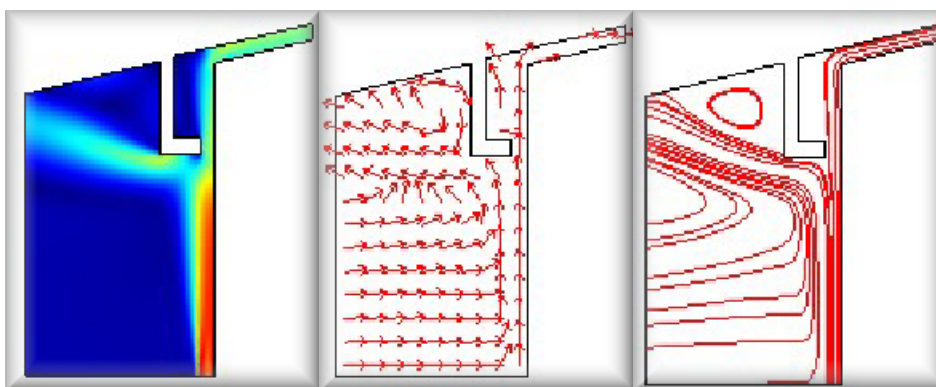
Figur 7.7 Hastighetsbild i färger

Figur 7.8 Flödesriktningsbild

Figur 7.9 Virvelbild

Ett svårt och krävande moment för datasimuleringarna var samtliga fall av snölås. Genom att rita in dessa blev beräkningarna tyngre eftersom detaljrikedomen blev större. Men då användning av en mer avancerad lösningsmetod i K-epsilons beräkningsmodell skedde kunde även dessa framräknas.

Med ett vanligt enkelt snölås observeras att flödet efter fasaden fortfarande kan strömma obehindrat rakt upp mot takfotsöppningen även om en viss del av luftflödet vekar av. Strömningshastigheten blir även större i spalten än för fallet med *spoilern*. Det visar sig i dessa simuleringar att det enkla snölåset har en något bristfällig utformning. Genom att placera öppningen i snölåset på en mer fördelaktig position, t.ex. någonstans i långsidan av snölåset, skulle verkningsgraden för dessa på ett enkelt sätt kunna förbättras.

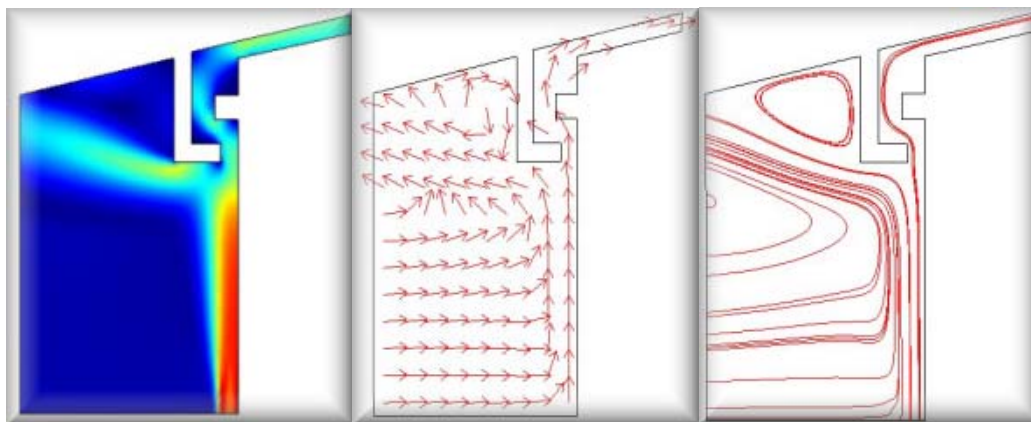


Figur 7.10 Hastighetsbild i färger

Figur 7.11 Flödesriktningsbild

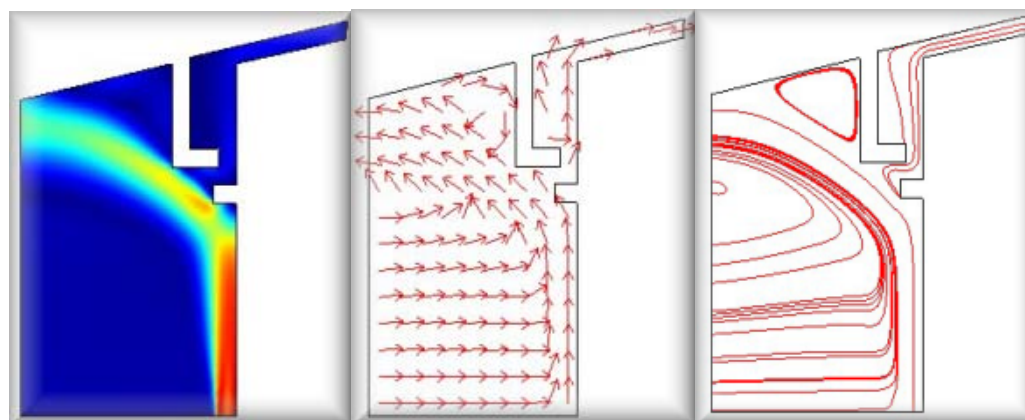
Figur 7.12 Virvelbild

Vid datasimuleringar med snölås bestyckade med ett inre hinder observeras att flödet får ta en liten omväg inne i snölåset. Detta är positivt även om effekten av tryckutjämningscellen blir mindre då utrymmet inne i snölåset minskar. Hastigheten i spalten är dock fortfarande hög.



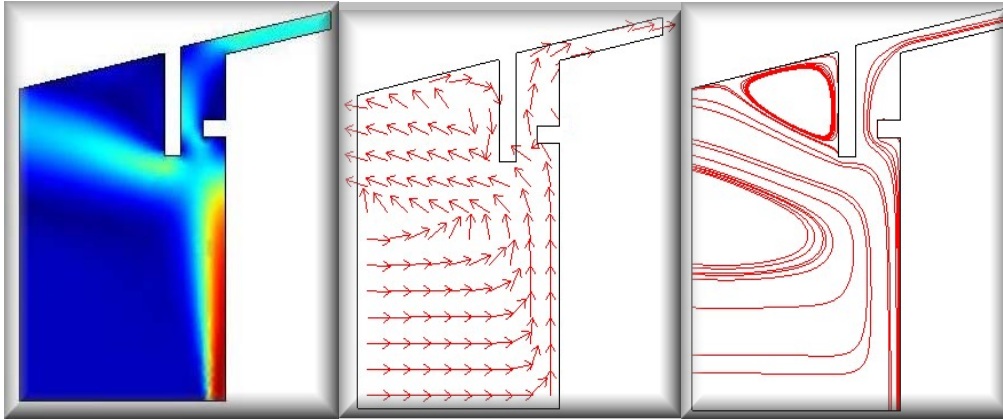
Figur 7.13 Hastighetsbild i färger Figur 7.14 Flödesriktningsbild Figur 7.15 Virvelbild

I simuleringarna med takmodellen klarade sig ett snölås med utvändigt hinder väldigt bra. I dessa plottar är det möjligt att se varför verkningsgraden är så hög. Genom att det utvändiga hindret styr ut virveln i ett tidigt stadium blir flödet mindre inne i snölåset. Detta kan liknas med fallet för *spoiler* men i detta fall fås även snölåsets positiva effekter. En mer okontrollerad strömning inne i tryckutjämningscellen fås vilket medför att snön kan avsättas mer effektivt här. Hastigheten i spalten är ganska låg vilket också är positivt. För att öka effektiviteten på *spoilereffekten* ytterligare kan det utvändiga hindret förlängas något.



Figur 7.16 Hastighetsbild i färger Figur 7.17 Flödesriktningsbild Figur 7.18 Virvelbild

I datorsimuleringarna har även en annan specialvariant av snölås undersökts som tidigare använts för att komplettera undermåliga snöskydd i takfötter av JM. Denna har placeringen av snölåsöppningen något längre ut från fasaden än de övriga återstående. Flödesbilderna visar att denna variant fungerar liknande snölåset med det utvändiga hindret. Flödet tar en omväg i takfoten vilket medför en viss avsättning av snö i snölåset. Verkningsgraden för detta snölås torde ligga i närheten av snölåset med det invändiga hindret.



Figur 7.19 Hastighetsbild i färger

Figur 7.20 Flödesriktningsbild

Figur 7.21 Virvelbild

8. Väder och omständigheter

8.1. Nederbörd

Diagram 7.1 visar att Stockholm har nederbörd i form av snö under månaderna oktober till april. Den totala nederbörden i form av snö under året uppgår till 780 mm. Detta är ganska lite om jämförelser görs med övriga Sverige.

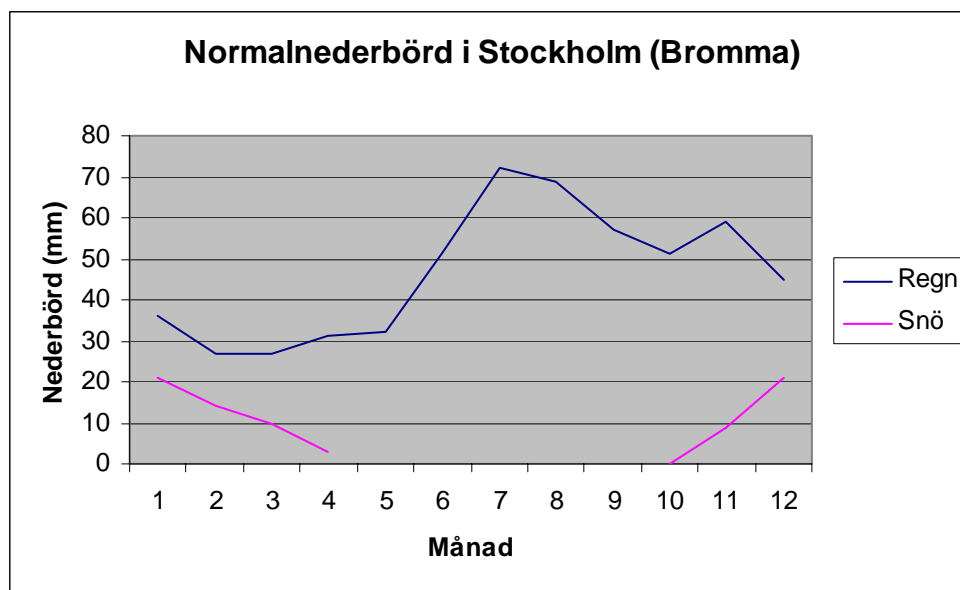


Diagram 8.1 Nederbörden i Stockholm²⁵

Klimatet i Stockholms län är präglad av milda vintrar eftersom området ligger nära kusten. De snöflingor som faller är över lag stora och blöta. Snön smälter ofta fort bort och blir inte liggande några längre perioder. Dessa snöfall utgör inga större risker för snöinträngning i luftspalter. Men mer sällan förekommer det även snöoväder som innehåller mindre och torrare flingor. Om dessa uppkommer under hård vind uppstår genast stora risker för inträngning i dåligt skyddade takfotsöppningar.

²⁵ www.smhi.se

8.2. Vind

Vinden är en stor faktor som bestämmer hur farliga snöfallen blir med avseende på snöinträngning. Vindriktningen vid en byggnad beror mycket på den omkringliggande topografin. Att uppskatta en trolig vindriktning vid en nybyggnation är en komplex uppgift. Hänsyn måste tas till vindskydd och fria flödesvägar. Den huvudsakliga vindriktningen kan ändras mycket p.g.a. dessa faktorer. En översikt-karta över exemplet Kvarnsjötorp finns redovisad i bilaga 5. Här är de fria vindriktningarna avseende topografin redovisade. Antas det att vindriktningen strikt följer dessa flödesvägar är husen relativt bra utplacerade i terrängen. De flesta byggnader är placerade så att ingen direkt vindpåverkan kan blåsa mot långsidan och takfotsöppningarna.

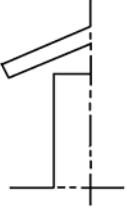
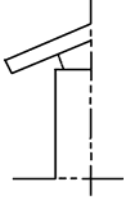
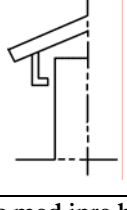
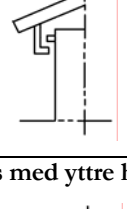
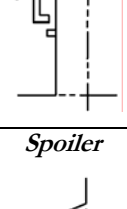
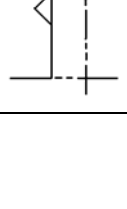
Den räkning som presenteras i bilaga 10 genomfördes för att beräkna vindhastigheten som framkallar ungefär 45 Pascals tryckskillnad mellan lovart och läsida. Denna trycksättning ingår i tryckintervall för vilka simuleringarna är utförda. Den beräknade vindhastighet visade sig vara 8m/s. Detta betraktas alltså enligt diagrammet nedan som en stark vind.

Vindhastighet (m/s)	I ord	Vindens verkningar
0-0,2	Lugnt	Inga; rök stiger nästan rätt upp.
0,3-1,5	Svag vind	Knappt märkbara; vindens riktning visas av skorstenrök.
1,6-3,3	Svag vind	Blad rörs; vindfana visar vindens riktning.
3,4-5,4	Måttlig vind	Blad och tunna kvistar sätts i rörelse.
5,5-7,9	Måttlig vind	Kvistar och tunna grenar rör sig hela tiden; Damm och lös snö virvlar upp.
8,0-10,7	Frisk vind	Mindre lövträd börjar svaja; grenar rör sig; vågor med kammar på större sjöar.
10,8-13,8	Frisk vind	Stora trädgrenar rör sig.
13,9-17,1	Hård vind	Hela träd svajar; man går inte obehindrat mot vinden.
17,2-20,7	Hård vind	Kvistar bryts från träden; besvärligt att gå i det fria.
20,8-24,4	Hård vind	Mindre skador på hus; takpannor blåser ner.
24,5-28,4	Storm	Träd rycks upp med roten; betydande skador på hus.
28,5-32,6	Svår storm	Stora skador.
>32,6	Orkan	Mycket stora skador.

26

9. Slutsatser

9.1. Översikt av simuleringsresultat

Typ av snöskydd	Notering från laboratoriesimulering	Notering från flödesberäkning	Kommentar
Inget snöskydd 	Släpper genom relativt mycket medium. Jämn spridning av medium i testmodellen.	Flödet tar sig ohindrat upp mot takfotsöppningen. Högt flöde av medium i spalt.	Inte att rekommendera på platser där insekter och snö kan vålla skada i den inre konstruktionen.
Enbart insektsnät 	Släpper genom lika mycket medium som en oskyddad spalt då partiklarna är små. Igensättning av nät vid stora partiklar i rikliga mängder. Jämn spridning av medium i testmodellen.	Samma som ovan vid små partiklar.	Fungerar som snöskydd då snöflingorna är stora. Farlig lösning för områden med risk för snöstorm med små iskristaller. Kan stundtals ge en bättre verkningsgrad p.g.a. igensättning av nätet.
Enkelt snölås 	Relativt låg verkningsgrad. Medium samlas i den främre delen av testmodellen. En viss ansamling av medium i snölåset.	Endast en del av flödet strömmar ohindrat upp mot takfotsöppningen. Något lägre flöde av medium i spalten.	Dämpar inträngningen något. Bättre varianter finns och är undersökta.
Snölås med inre hinder 	Bättre verkningsgrad än ett enkelt snölås. Medium samlas i den främre delen av testmodellen. Mer ansamling av medium i snölåset.	Samma som ovan förutom att mediet tvingas ta en omväg i snölåset. Något lägre flöde av medium i spalten.	Dämpar inträngningen mer än det enkla snölåset. Men även här finns bättre alternativ.
Snölås med yttre hinder 	Mycket bra verkningsgrad. Medium samlas i den främre delen av testmodellen. Avsättning av medium i snölåset.	Flödet styrs undan av det undre hindret innan det kommer i kontakt med snölåsöppningen. Lågt flöde av medium i spalten.	Bra alternativ för snörika områden. Lätt att komplettera enkla snölås till denna variant.
Spoiler 	Bäst verkningsgrad. Medium samlas i den bakre och mittersta delen av testmodellen.	Flödet styrs kraftigt undan en bit under takfotsöppningen. Högt flöde i öppningen men låg inträngning.	Bra alternativ för snörika områden. Den inträngning som sker tränger dock långt in i konstruktionen.

Att få en takfot att stå emot inträngande snö kan ske på flera olika sätt. Viktigt är att få den omkringliggande konstruktionen att samarbeta. Det främsta kriteriet för ett bra utformat snöskydd är att förhindra att snön tränger in i konstruktionen. För att detta kriterium ska vara uppfyllt kan olika typer av snöskydd monteras i området för takfotsöppningen. Utformningen av spalten kan även ske i form av en tryckutjämningscell. Ett nät i början av spalten kan vara ett gott skydd för att stå emot stora snökristaller.

Det andra kriteriet för ett lyckat snöskydd är att möjliggöra för en god utskeppning av den väta som ändå tränger in. Detta sker med hjälp av avrinning p.g.a. lutningen i spalten och den ventilering som kan upprätthållas p.g.a. spaltens luftflöde. Värmen i luftspalten är en viktig faktor för denna ventilation. Denna påverkar både skorstensverkan och avdunstningen för vätan. Viktigt för avrinningen är den väg som vätan kommer att rinna efter. Vätan måste kunna rinna fritt och målet för vätan måste vara beläget på en plats som inte är fuktkänslig. Den ska helst rinna ut ur konstruktionen.

De två typer av snöskydd som visade bäst resultat i simuleringarna var *spoiler* och snölås med yttre hinder. *Spoilern* visade bäst verkningsgrad men den väta som tog sig in trängde relativt långt in i konstruktionen. Snölåset hade något sämre verkningsgrad, men istället blev inträngningen kortare. Därför torde denna variant vara den bättre. De snölås som idag används i nybyggnationerna hos JM kan också lätt kompletteras till denna variant om problem skulle uppstå med snöinträngning. Endast en längsgående regel behöver skruvas fast under snölåsöppningen.

Att utforma en byggnad utan något yttre snölås kan vara en riskkonstruktion. Om snöskyddet utgörs endast av ett insektsnät kan byggnaden klara av de flesta snöfall som sker i Stockholmsområdet. Men de snöfall som erbjuder hård vind tillsammans med små snöpartiklar kan medföra problem. Byggnaden kan klara sig bra en längre tid för att sedan plötsligt drabbas hårt av snöinträngning. För att eliminera dessa risker bör i alla fall ett enklare snölås installeras. Vid byggnationer i mer snörika områden är nog ett av de mer effektiva snöskydden att föredra då inte luftspalten helt slopas.

10. Källhänvisningar

Litteratur

- [1] Fukthandboken, 1994, Lars Erik Nevander, Bengt Elmarsson, AB svensk byggtjänst
- [2] Bygga tak, 1998, Per Hemgren, ICA bokförlag
- [3] Heat and moisture transfer, 2002, Gudni Jóhannesson, KTH byggnadsteknik
- [4] Kommentarer beträffande Gustavslund, 2003, Folke Björk, KTH byggnadsteknik
- [5] Bjerking's rapport Gustavslund, Salems kommun, Fuktskadeutredning takkonstruktion, 2003, Kristofer Angerstig, Bjerking AB
- [6] Hus - AMA 98
- [7] Bostadsfakta Charlottendal – Kvarnsjötorp, 2004, JM AB,

Internetreferenser

- [6] www.smhi.se hösten 2004
- [8] www.huntonit.se hösten 2004
- [9] www.paroc.se hösten 2004

Personreferenser

- [10] Gudni Jóhannesson, Professor KTH
- [11] Folke Björk, lektor KTH
- [12] Jörgen Andersson, Arbetschef JM AB
- [13] Trygve Bratland, PU sjef Byggma ASA
- [17] Marcus Johnsson, Arbetsledare, MP Byggteknik i Solna AB
- [14] Ove Larsson, JM AB
- [15] Ulrika Sohlenius, JM AB
- [16] Mats Söderblom, JM AB

Förteckning över bilagor

Bilaga 1: Ritningar över Kvarnsjötorps tak

Bilaga 2: Taklutningsrekommendationer

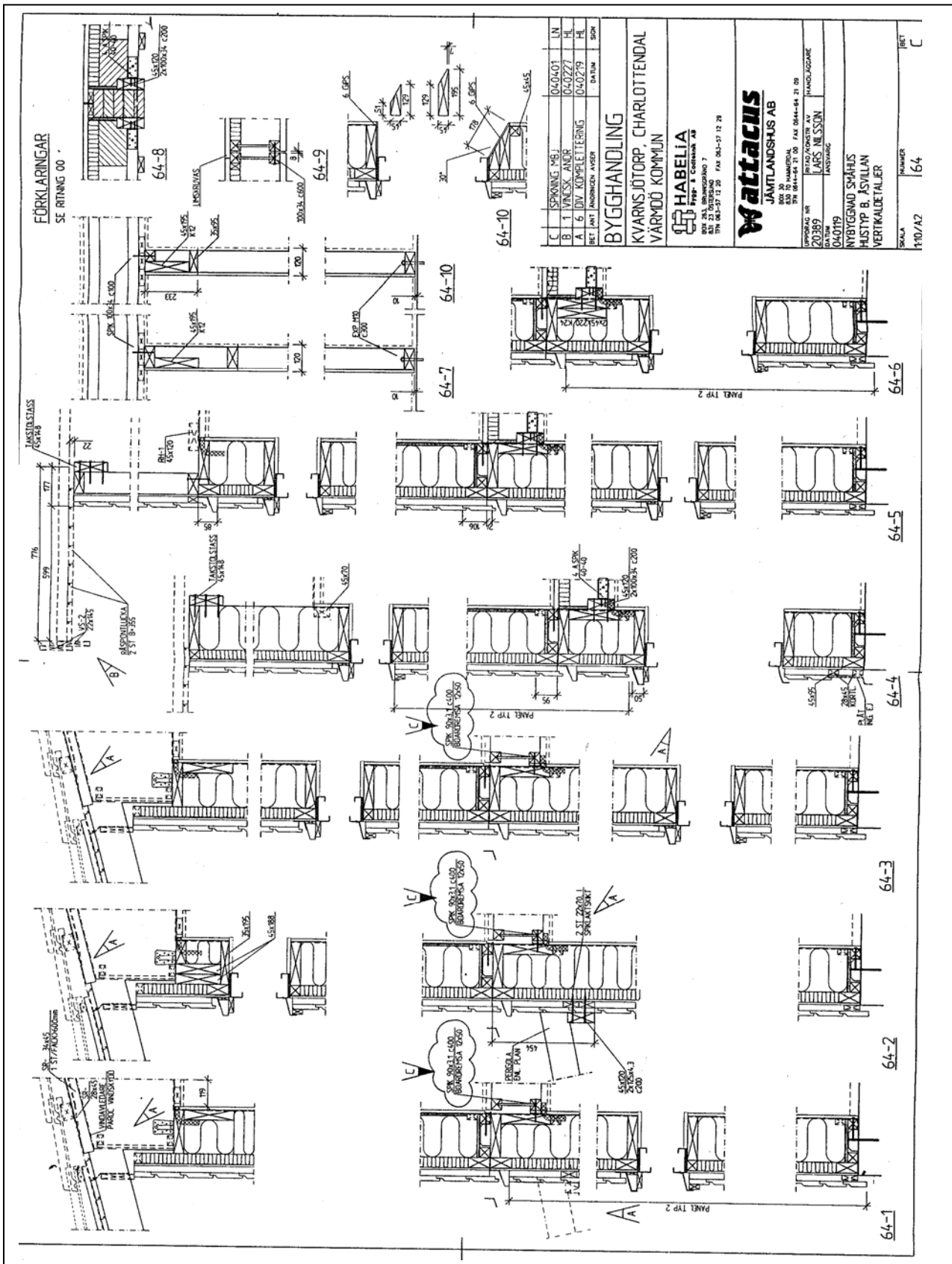
Bilaga 3: JM:s typritningar

Bilaga 4: Materialfakta Huntonit

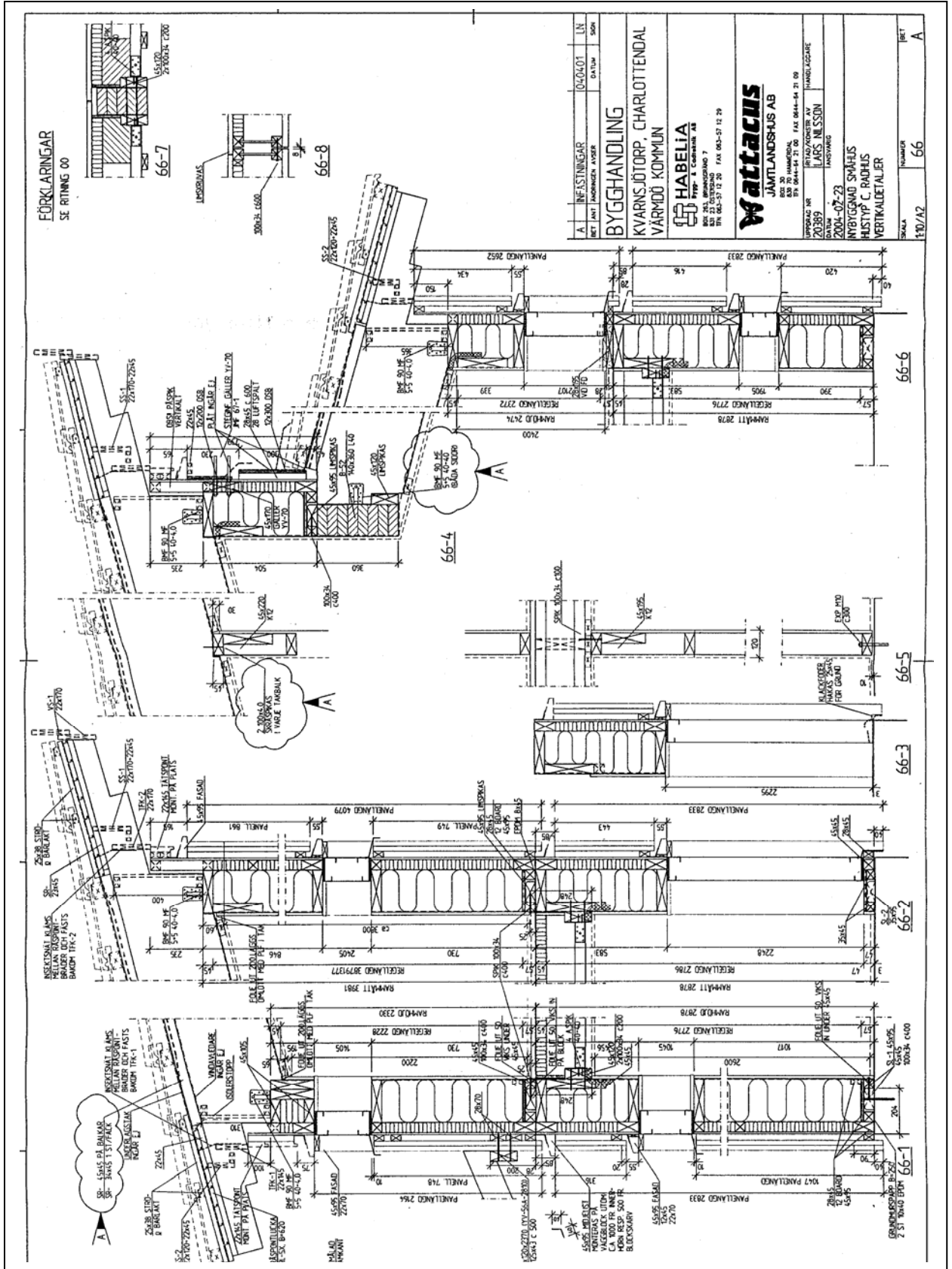
Bilaga 5: Översiktsbild över Kvarnsjötorp med fria vindriktningar

Bilaga 6: Sammanfattning av simuleringsresultat

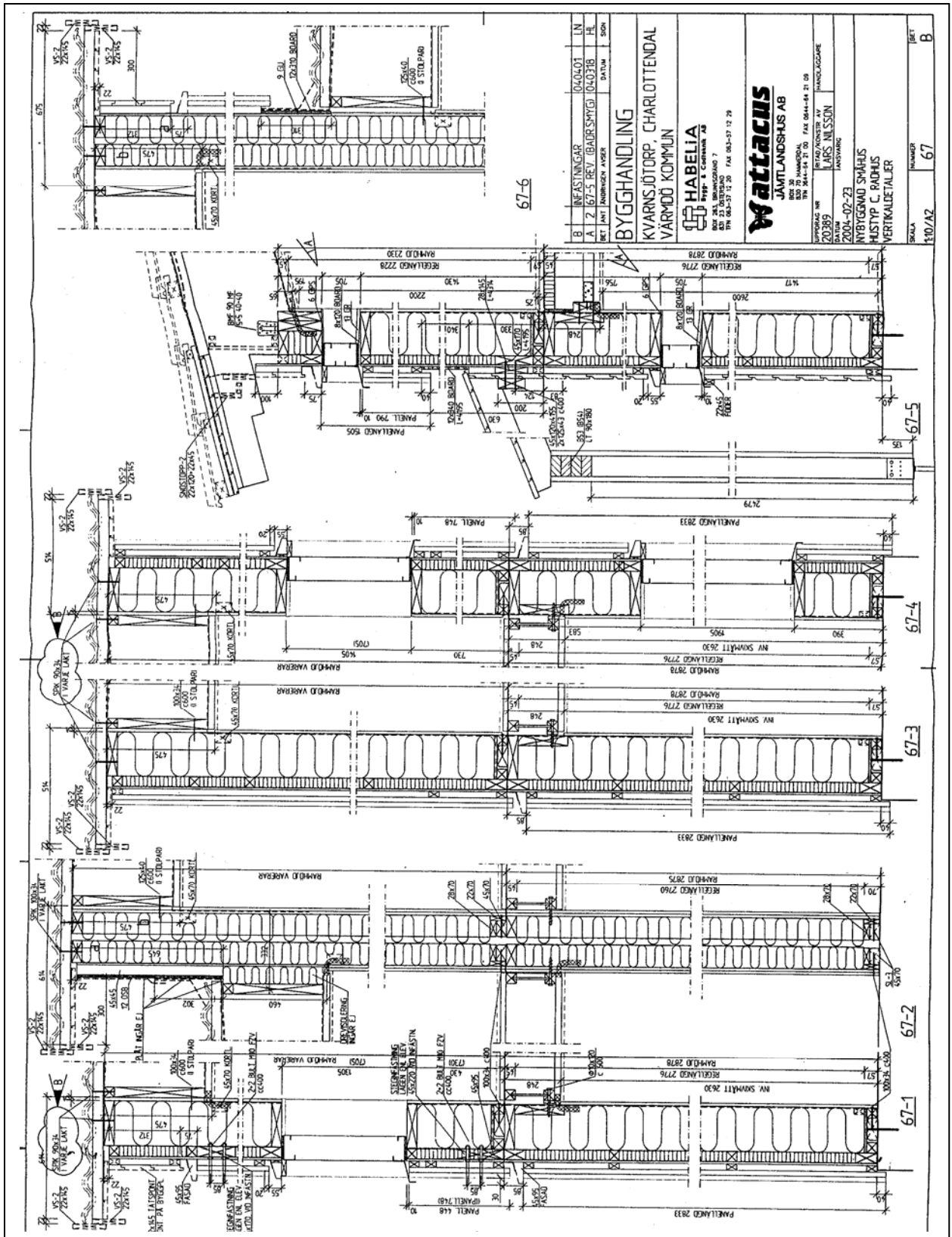
Bilaga 7: Exempelberäkning tryckdifferens för en luftad spalt:



Takstol hustyp B, ritning 64



Takstol hustyp C, ritning 66



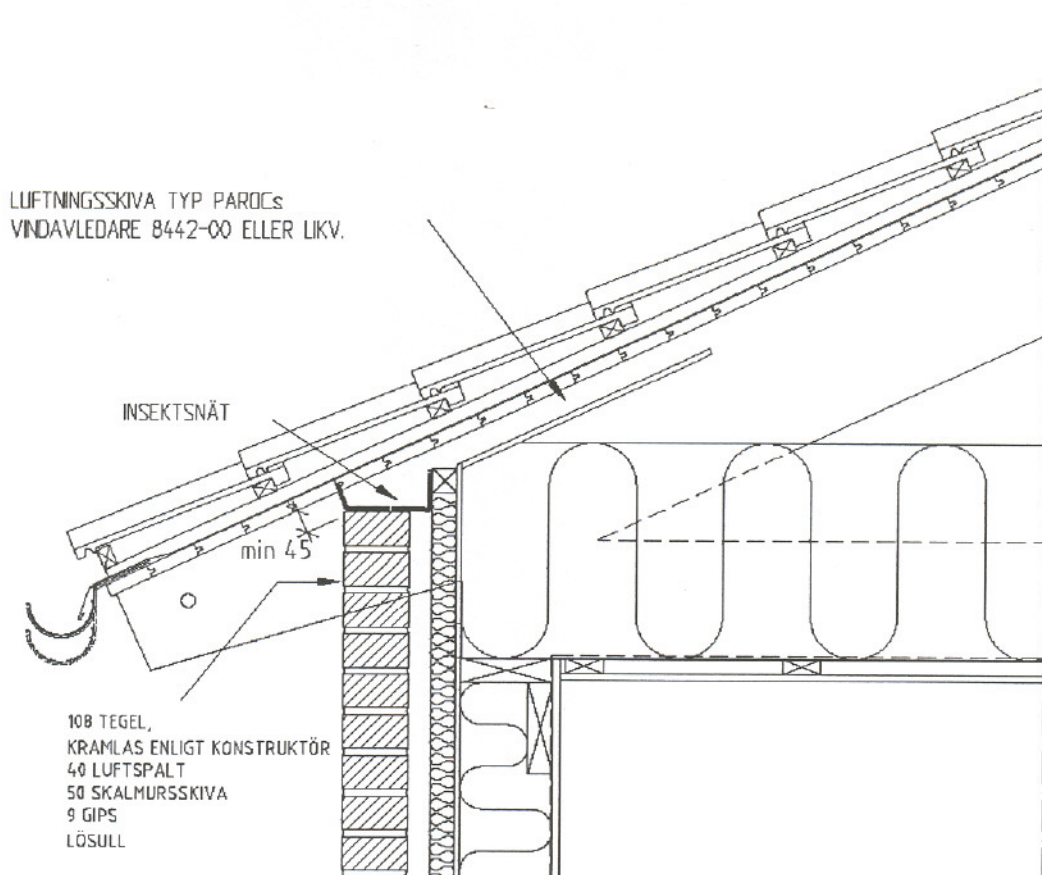
Takstol hustyp C, ritning 67

Bilaga 2: Taklutningsrekommendationer

Rekommenderade taklutningar vid olika takmaterial enligt Per Hemgrens, Bygga tak	
Material	Lutning
Papp, tvålagstäckning (Helklistrad)	0-3.5°
Papp, enlagstäckning (Helklistrad)	7°
Papp, formskuren ”Shingel”	18°
Slätplåt (Dubbfalsad)	6°
Slätplåt (Enkelfalsad)	14°
Plåt, profilerad (Tättningsband i fogarna)	8°
Plåt, profilerad (Utan tättningsband i fogarna)	14°
Tegel eller Betongtakpannor (Falsade på underlagstäckt trä)	14°
Tegel eller Betongtakpannor (Falsade på underlag av <i>board</i> eller duk)	22°
Tegel eller Betongtakpannor (Ofalsade på underlagstäckt trä)	22°
Tegel eller Betongtakpannor (ofalsade på underlag av <i>board</i> eller duk)	27°

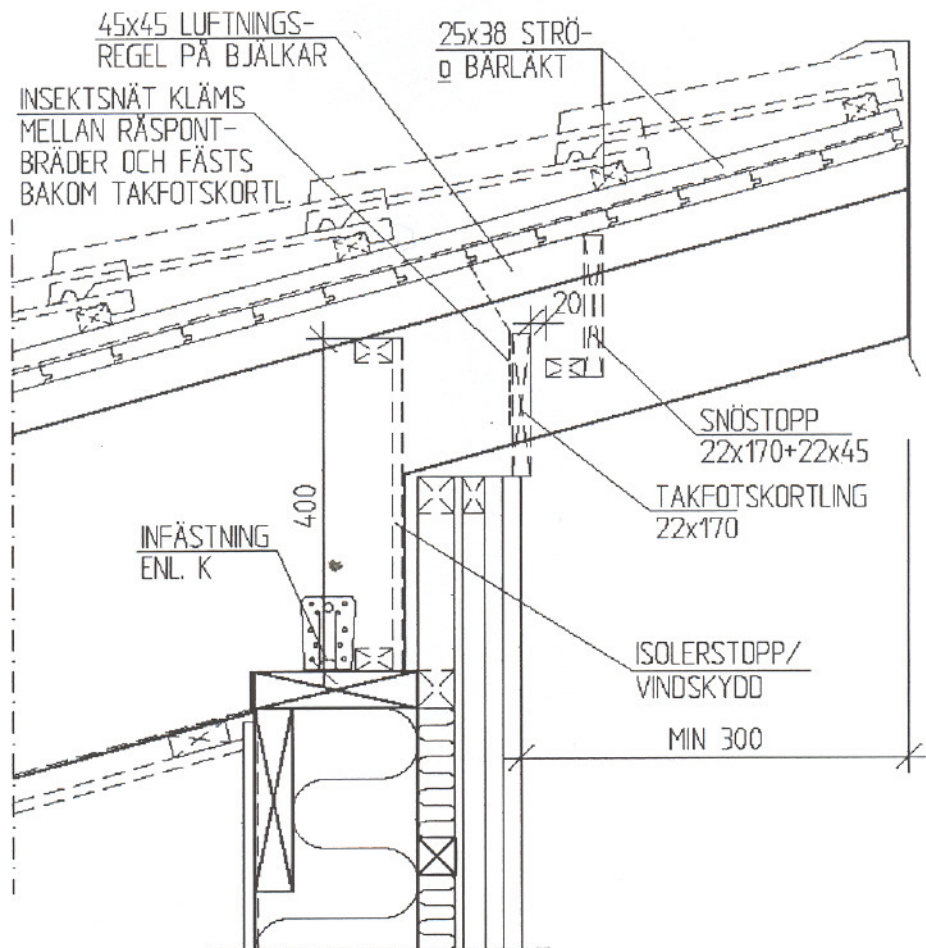
Bilaga 3: JM's typritningar

PAS 3.5.3 Principritning – Yttervägg möter yttertak



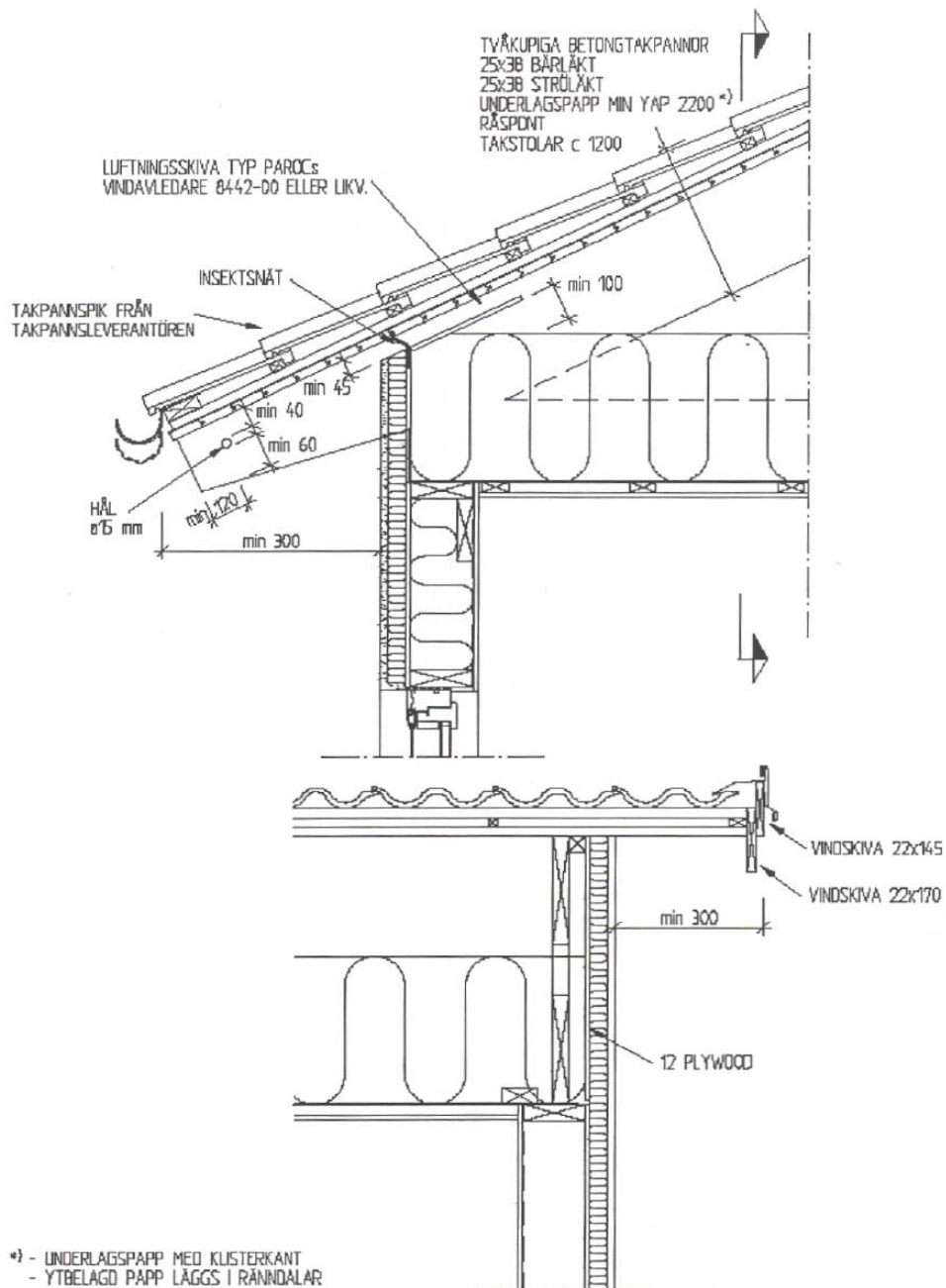
PAS 3.5.3 Principritning – Yttervägg möter yttertak

PAS 4.1.1 Taksprång vid bakkant pulpettak



PAS 4.1.1 Taksprång vid bakkant pulpettak

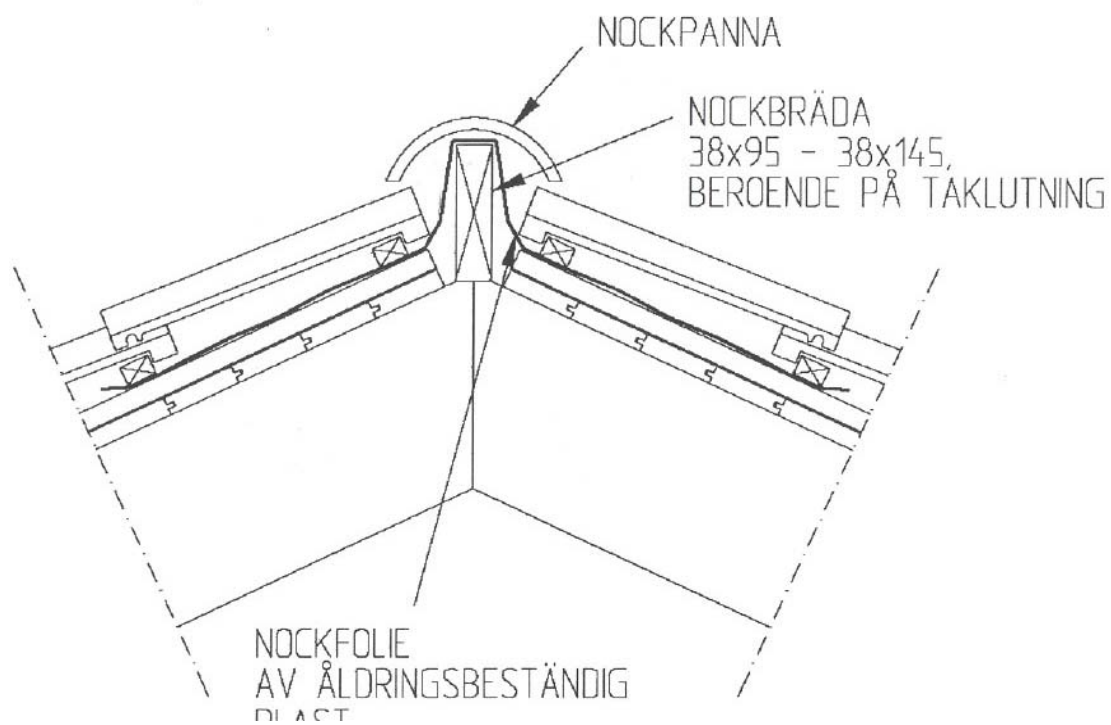
PAS 4.2.2.1 Kalla yttertak med takpannor



JM AB	Kap 4.1	Kostnb.	Dok namn PAS 4.2.2.1 Kalla yttertak med takpannor
Mallens namn	Dok id	Ändrings	

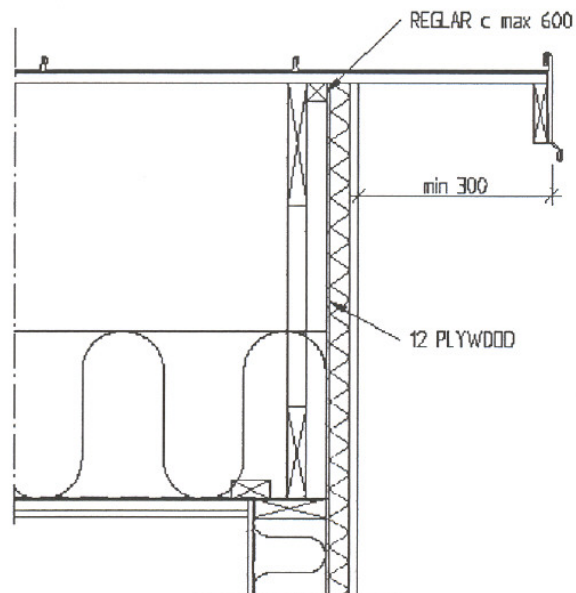
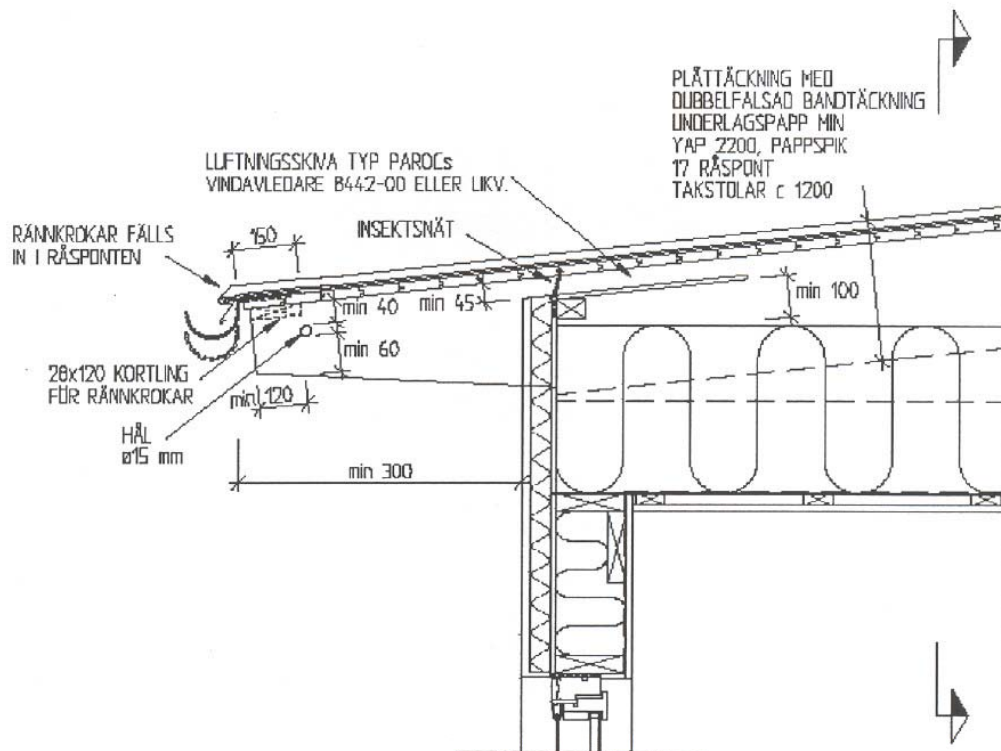
PAS 4.2.2.1 Kalla yttertak med takpannor

PAS 4.2.2.2 Yttertak med takpannor – luftadnock



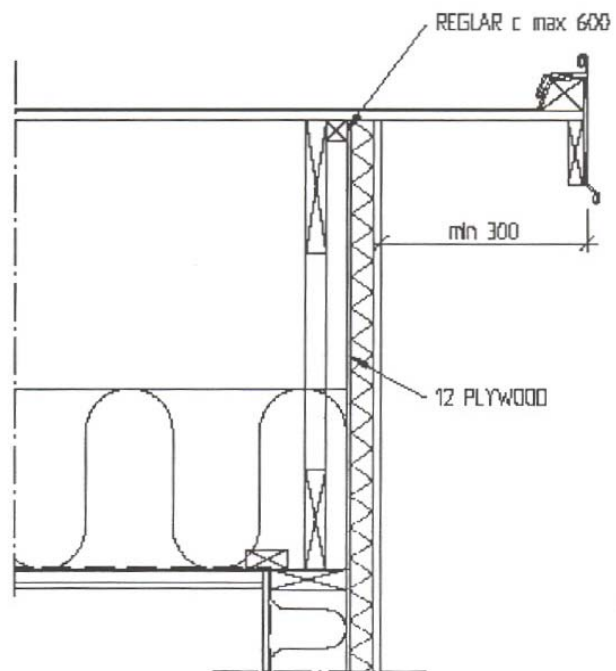
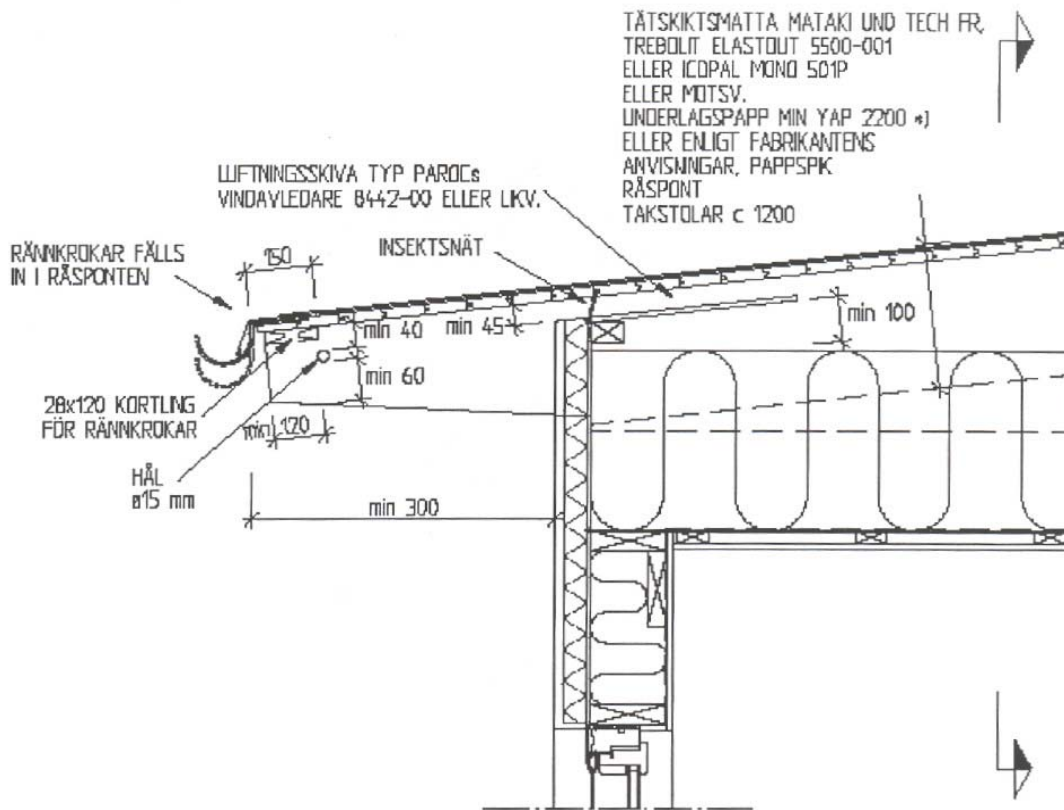
PAS 4.2.2 Yttertak med takpannor – luftadnock

PAS 4.2.3.1 Kalla yttertak med plåt



- *1) - UNDERLAGSPAPP MED KLISTERKANT
- YTBELAGD PAPP LÄGGS I RÄNNDALAR

PAS 4.2.4 Kalla yttertak med papp

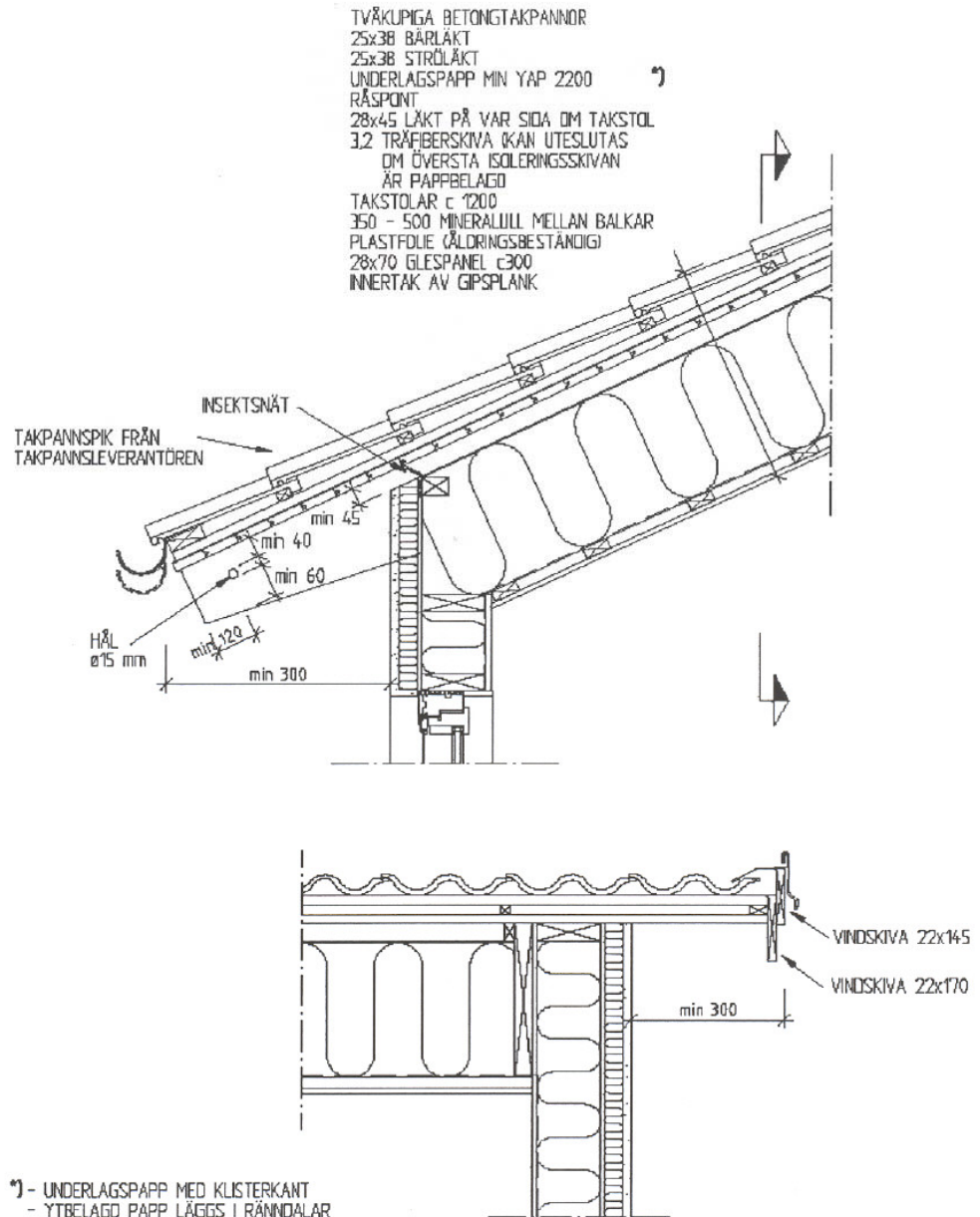


*) - UNDERLÄGSPAPP MED KLISTERKANT
- YTBELAGD PAPP LÄGGS I RÄNNDALAR

JM AB	Kap 4.1	Kostnb.	Dok namn PAS 4.2.4 Kalla yttertak med papp
-------	------------	---------	--

PAS 4.2.4 Kalla yttertak med papp

PAS 4.3.2.1 Varma yttertak med takpannor



JM AB

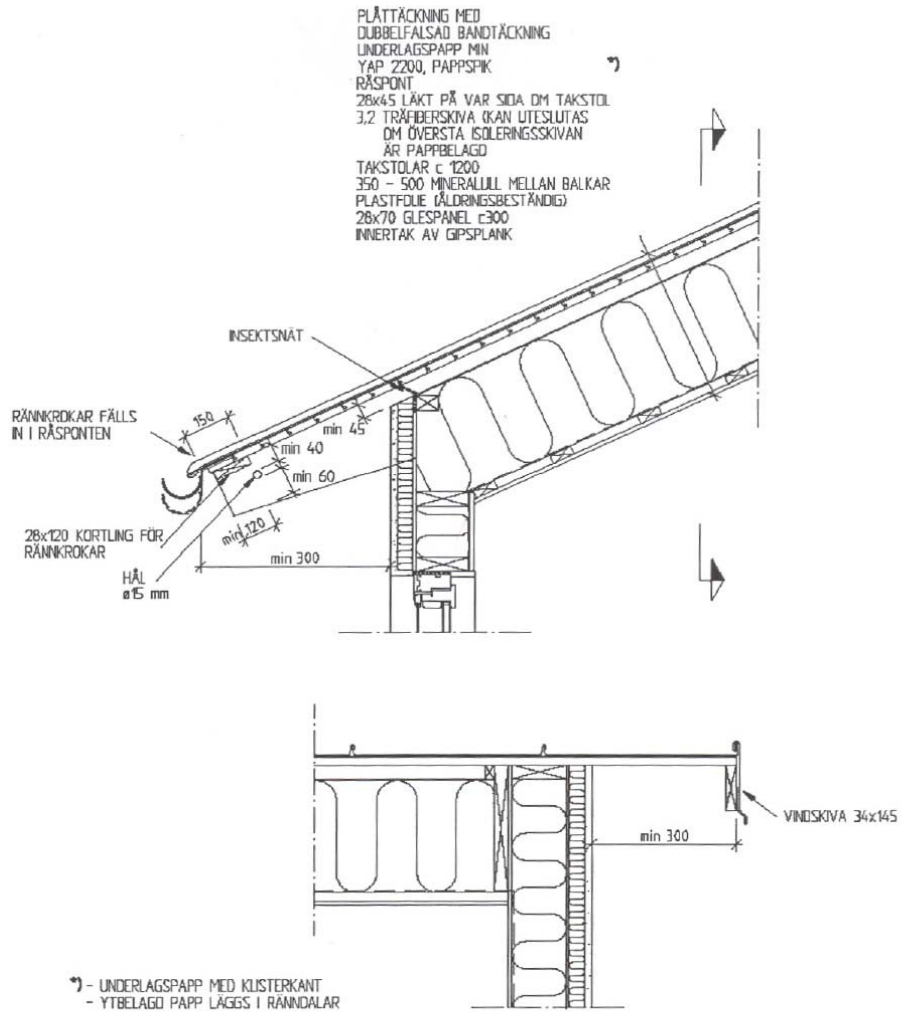
Kap
4.1

Kostnb.

Dok namn PAS 4.3.2.1 Varma yttertak med takpannor

PAS 4.3.2.1 Varma yttertak med takpannor

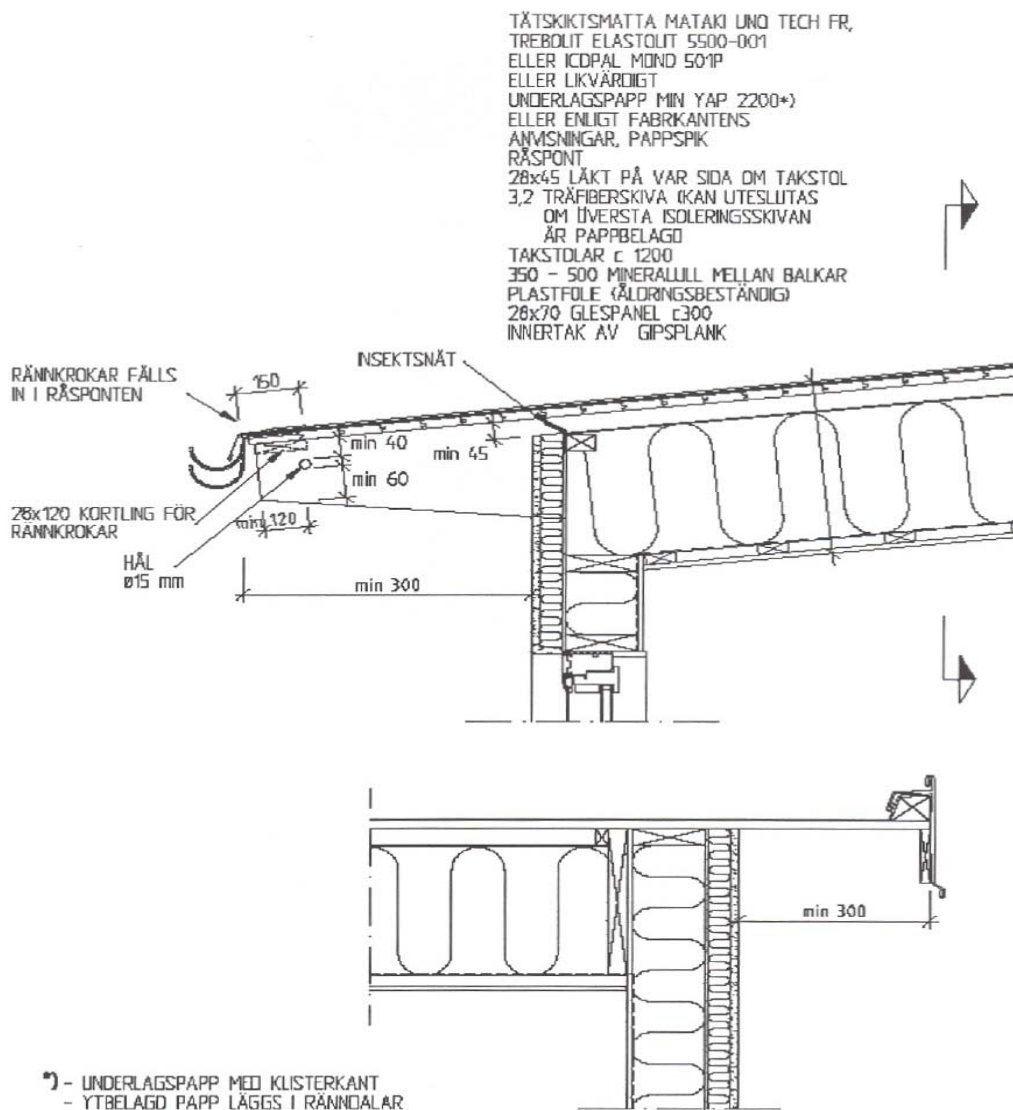
PAS 4.3.3.1 Varma yttertak med plåt



JM AB	Kap 4.1	Kostnb.	Dok namn	PAS 4.3.3.1 Varma yttertak med plåt
Mallens filnamn	Dok dat	Aktuellt filnamn		

PAS 4.3.3.1 Varma yttertak med plåt

PAS 4.3.4 Varma yttertak med papp



PAS 4.3.4 Varma yttertak med papp

Bilaga 4: Materialfakta Huntonit:

NBI Teknisk Godkjenning - Nr. 2006

Tabell 1
Huntonit Sutak Standard og Huntonit Sutak Plan. Material- og konstruksjonsdata bestemt ved typeprøving

	Egenskap	Verdi	Prøve- metode
1	Vanntetthet, materiale	Tett ved 1kPa	NS 3530
2	Vandamp- motstand	$1,4 \cdot 10^9$ m^2sPa/kg 280 mm ekviv. luftlagtykkelse	NT Build 130 50 - 93 % RF, 23 °C
	Vandamp- permeans	$0,7 \cdot 10^{-9}$ $kg/(m^2 \cdot s \cdot Pa)$	---"---
3	Fuktbevegelse i lengderetn. i tverretn.	$\leq 0,3 \%$ $\leq 0,3 \%$	NS-EN 318 (30 - 90 % RF)
4	Kondensopptak ved 30° takvinkel	180 g/m ²	NT Build 304
5	Tykkelses- svelling	$\leq 25 \%$	NS-EN 317
6	Tverrstrekk- fasthet	$\geq 0,60 N/mm^2$	NS-EN 319
7	Bøye- fasthet	$\geq 35 N/mm^2$	NS-EN 310
8	Gjennom- trampmotstand	$> 2,2 kN$	SP 0487

Bilaga 5: Översiktsbild över Kvarnsjötorp med fria vindriktningar

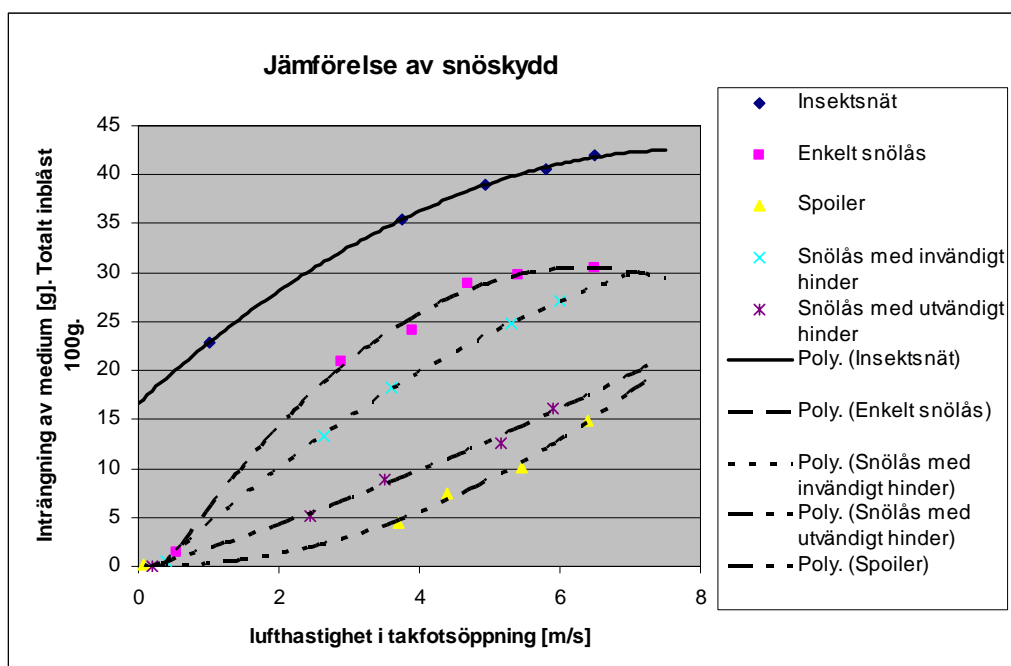


Vy över Kvarnsjötorp med inritade fria vindriktningar.

Bilaga 6: Sammanfattning av simuleringsresultat

Lufthastighet	Nät	Snölås	Spoiler	snölås med inre hinder	Snölås med yttre hinder
[m/s]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
0,07			0,1		
0,19					0
0,39				0,46666667	
0,55		1,46667			
1	22,8				
2,45					5,2
2,65				13,2857143	
2,9		20,9		10,51428571	
3,5					8,914285714
3,6				18,22857143	
3,7			4,35		
3,75	35,5				
3,9		24,1714			
4,4			7,48571		
4,45					
4,7		28,9429			
4,95	39				
5,15					12,5
5,3				24,74285714	
5,4		29,7714			
5,45			10,1		
5,8	40,6				
5,9					16,18571429
6				27,08571429	
6,4		30,44	14,8714		
6,5	41,9				

Inträngning med resp. snölås vid resp. flödes hastighet i takfotsöppningen



Bilaga 7: Exempelberäkning drivkrafter i luftad spalt

Beräkning av drivkrafterna i för en spalt eller ett vindsutrymme på Kvarnsjötorp

Termiska drivkrafter (Skorstensverkan):

$b := 8$ Halva husets bredd i meter.

$\alpha := 15$ Taklutning

$\Delta H := b \cdot \tan(15\text{deg})$ $\Delta H = 2.144$ Den drivande höjden i meter.

$v_e := 0$ Temperatur ute i grader Celsius.

$v_i := 20$ Temperatur inne i grader Celsius.

$T_e := v_e + 273.15$ $T_e = 273.15$

Räknar om till grader Kelvin.

$T_i := v_i + 273.15$ $T_i = 293.15$

$\Delta p_T := \Delta H \cdot \left(\frac{3462}{T_e} - \frac{3462}{T_i} \right)$ $\Delta p_T = 1.854$ Tryckskillnad pga. temperaturen i Pascal

Drivkraft från vinden:

$u := 8$ Vindhastigheten i meter per sekund.

$\rho := 1.2$ Densiteten luft.

$\mu_{es} := 0.7$ Antagen formfaktor på lovartsidan.

$\mu_{is} := -0.5$ Antagen formfaktor på läsidan.

$\Delta p_V := (\mu_{es} - \mu_{is}) \cdot \left(\rho \cdot \frac{u^2}{2} \right)$ $\Delta p_V = 46.08$ Tryckskillnad pga. vinden.

Beräknar den totala tryckdifferensen:

$\Delta p_{Tot} := \Delta p_T + \Delta p_V$

$\Delta p_{Tot} = 47.934$ Den totala tryckdifferensen vid frisk vind.