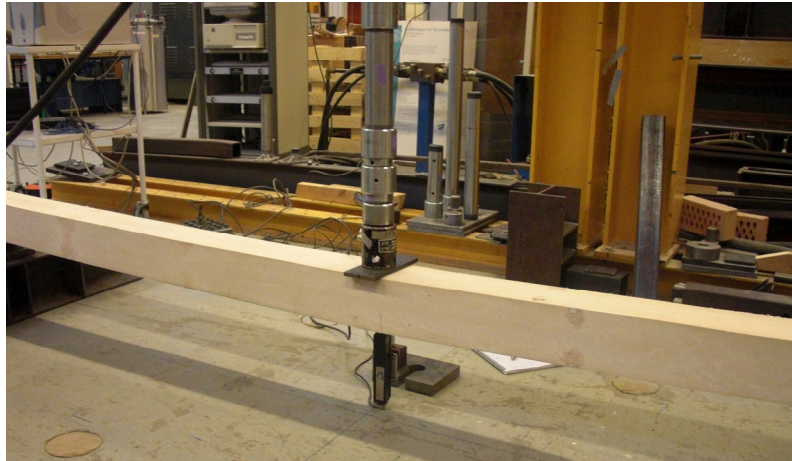


Risikanalyt och verifiaring av brandskydd av stålrelare



Johan Mårtensson
Ola Sjöberg

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lund Universitet, 2010

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 Lund

Department of Structural Engineering
Lunds Institute of Technology
Box 118
S-221 00 Lund
Sweden

Risikanalys och verifiering av brandskydd på ståpelare

Risk analysis and verification of fire safety on steel columns

Johan Mårtensson
Ola Sjöberg

2010

Rapport TVBK-5182
ISSN: 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-10/5182+p115

Examensarbete
Handledare: Sverker Andreasson, Building System Manager, BAU-HOW
Examinator: Sven Thelandersson, Professor, Avdelningen för Konstruktionsteknik
Mars 2010

Förord

Examensarbetet har genomförts på företaget BAU-HOW i Malmö och i samarbete med avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskolan. Arbetet påbörjades i september 2009 och slutfördes i mars 2010. Omfattningen på examensarbetet är på 30 högskolepoäng. Idén till examensarbetet är utformad av Sverker Andreasson, Building System Manager på BAU-HOW.

Syftet med rapporten är att ta fram ett nytt brandskydd för stålpelare i BAU-HOWs byggsystem. Befintliga brandskydd kommer att granskas och jämföras med den nya lösningen. Det nya brandskyddet kommer bl.a. att deformationstestas och kontrolleras hur det reagerar i olika klimat och akustiktestas.

Vi vill särskilt tacka vår handledare Sverker Andreasson och examinator Professor Sven Thelandersson för all hjälp och vägledning under arbetets gång.

Vi vill även tacka Jörgen Thor, Jonnie Rangse, Lennart Karlén, Joel Johansson, Henrik Pers, Bengt Nilsson, Bo Johansson och Per-Olof Rosenkvist för värdefull hjälp till förberedelse och utförande av tester.

Lund, mars 2010

Johan Mårtensson
Ola Sjöberg

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete är att ta fram och utvärdera en ny typ av brandskyddsisolering som gjuts direkt kring stålpelare och som ska användas vid industriellt byggande. Brandskyddet ska vara kostnadseffektivt, lätt att hantera samtidigt som det ska uppfylla de tekniska krav som ställs. De stålpelare som analyseras  r sådana som är integrerade i innerväggar och i lägenhetskiljande väggar.

Examensarbetet inleds med en litteraturstudie som behandlar de krav som ställs på en byggnad vid en brand. Sedan påbörjas en studie av de brandskyddsisoleringar som redan idag finns på marknaden. H r görs en allmän beskrivning om deras uppbyggnad och funktion. För att enklare kunna göra en jämförelse har en dimensionering av de olika brandskyddstypernas isoleringstjocklek gjorts för ett typfall. Med detta som utgångspunkt har sedan en ekonomisk analys tagits fram.

Huvuddelen i rapporten omfattar framtagningen av den nya brandskyddsisoleringen, vilket innebär att en stålpelare gjuts in med ett utanpåliggande lager av en brandgipsmassa. Eftersom metoden att gjuta brandskyddsisolering direkt kring en stålpelare aldrig  r beprövad krävdes det en mängd både teoretiska och praktiska utvärderingar. För att bekräfta att brandskyddsisoleringen uppfyller ställda tekniska krav gjordes ett antal praktiska tester som bland annat innefattade provgjutning, kontroll av deformationsegenskaper, påverkan vid olika klimat och kontroll av en eventuell stomljudsd mpning. F r den nya brandskyddsisoleringen gjordes även en utvärdering, som inneh ll brandskyddsdimensionering, en ekonomisk analys och testresultat.

Lyckas man få ner kostnaderna genom att köpa större partier brandgipspulver samt utveckla en rationell metod för gjutningen ses denna typ av brandskyddsisolering som ett bra alternativ för BAU-HOWs produktion. Därför har även ett konceptuellt förslag på en rationell gjutmetod tagits fram.

Abstract

The purpose of this diploma project is to develop and evaluate a new type of fire resistant insulation which is to be cast directly onto steel columns. Since the columns are supposed to be used within industrial construction, the fire prevention method should be cost-effective and wieldy, but, of course, at the same time fulfill all technical requirements. The columns evaluated in this work are such that are to be integrated within interior walls, and separate apartment walls.

The written thesis starts with an overview of the requirements and stresses put on constructions in case of fire, and then of the already existing fire insulation products implemented in buildings. To enable comparison between methods, a dimensioning of the thicknesses of the different types of fire protection has been performed for a typical case. Based on this, an economic analysis is carried out.

The main part of the report describes the production of the new protecting insulation where a layer of gypsum based fire resistant insulation is cast onto steel columns. As the method of molding the protection directly onto the steel components is, to the best of our knowledge, tested for the first time, a number of both theoretical and practical evaluations were needed. To assure that the insulation can meet the technical requirements, test casting and deformation control was performed. The insulation was also evaluated with regards to what impact the surrounding could have, but also to possible acoustic properties.

To enable realization of the method, a rationalized casting procedure has been developed. If the material costs can be decreased, e.g. by purchasing larger quantities of fire resistant gypsum and by implementing the mentioned rationalized casting procedure, this approach to fire protection is a promising alternative within BAU-HOW's production.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	PROBLEMDEFINITION	1
1.3	SYFTE OCH MÅL	1
1.4	AVGRÄNSNINGAR	2
1.5	METOD OCH GENOMFÖRANDE	2
1.6	FELKÄLLOR	2
2	BEGREPP ENLIGT BOVERKETS BYGGREGLER	3
2.1	ALLMÄNT	3
2.2	BRANDTEKNISKA KLASSER FÖR BYGGNADER	3
2.3	BRANDTEKNISKA KLASSER FÖR BYGGNADSEDELAR	4
3	BRANDDIMENSIONERING	7
3.1	ALLMÄNT	7
3.2	DIMENSIONERING MED KLASSIFICERADE PRODUKTER	8
3.2.1	<i>F/A-faktor</i>	<i>8</i>
3.3	DIMENSIONERING GENOM BERÄKNING	8
3.3.1	<i>Beräkning av gastemperaturen</i>	<i>9</i>
3.3.2	<i>Beräkning av ståltemperaturen</i>	<i>9</i>
3.4	DIMENSIONERING FÖR BAU-HOWS SYSTEM	11
3.4.1	<i>Brandtekniska klasser</i>	<i>11</i>
3.4.2	<i>Kritisk temperatur för stålpelare</i>	<i>11</i>
4	BESKRIVNING AV OLIKA BRANDSKYDDSMETODER	13
4.1	ALLMÄNT	13
4.1.1	<i>Fibersilikatskivor</i>	<i>13</i>
4.1.2	<i>Brandskyddsfärg</i>	<i>13</i>
4.1.3	<i>Sprutisolering</i>	<i>14</i>
4.1.4	<i>Stenullsskivor</i>	<i>15</i>
4.1.5	<i>Gipsskivor</i>	<i>16</i>
4.1.6	<i>Stålpelare i samverkan med betong</i>	<i>17</i>
4.2	DIMENSIONERING AV ISOLERINGSTJOCKLEK	18
4.2.1	<i>Fibersilikatskivor</i>	<i>19</i>
4.2.2	<i>Stenullsskivor</i>	<i>20</i>
4.2.3	<i>Gipsskiva</i>	<i>21</i>
4.2.4	<i>Stålpelare i samverkan med betong</i>	<i>23</i>
4.3	EKONOMISK ANALYS	23
4.3.1	<i>Fibersilikatskivor</i>	<i>23</i>
4.3.2	<i>Stenullsskivor</i>	<i>25</i>
4.3.3	<i>Gipsskiva</i>	<i>26</i>
4.3.4	<i>Sammanfattning av isoleringstjocklekar och kostnader</i>	<i>28</i>
4.4	UTVÄRDERING AV BRANDSKYDD	28
4.4.1	<i>Fibersilikatskivor, Promatect H</i>	<i>29</i>
4.4.2	<i>Brandskyddsfärg</i>	<i>29</i>

Risicanalys och verifiering av brandskydd på stålpelare

4.4.3	Sprutisolering.....	30
4.4.4	Stenullsskivor, Conlit 150.....	31
4.4.5	Gipsskivor, Gyproc Protect F.....	31
4.4.6	Stålpelare i samverkan med betong.....	32
5	DEN NYA BRANDSKYDDISOLERINGEN.....	35
5.1	BAU-HOWS PROCESS.....	35
5.2	GRUNDTANKEN KRING DEN NYA BRANDSKYDDISOLERINGEN.....	35
5.3	ALTERNATIVA METODER FÖR GJUTNING KRING STÅLPELARE	38
5.4	RISKANALYS	39
6	DIMENSIONERING AV DET NYA BRANDSKYDDET	43
6.1	ERFORDERLIGT BRANDSKYDDSTJOCKLEK VID 3-SIDIG BRAND.....	43
6.2	ERFORDERLIGT BRANDSKYDDSTJOCKLEK FÖR BAU-HOWS FALL	44
7	PROVNING AV DET NYA BRANDSKYDDET	45
7.1	PROVGJUTNING	45
7.1.1	Framtagning av gjutningsmetod	45
7.2	DEFORATIONSTEST	51
7.2.1	Beskrivning av testet och dess utförande.....	51
7.2.2	Beräkningar baserade på mätdata från deformationstest.....	54
7.2.3	Påfrestningar vid transport	55
7.2.4	Påfrestning vid inpassning av tak.....	59
7.3	AKUSTIKTEST.....	61
7.3.1	Genomförande.....	61
7.3.2	Mätresultat.....	62
7.3.3	Utvärdering av resultat.....	63
7.4	KLIMATTEST	65
7.4.1	Provkropp förflyttad mellan olika klimat.....	66
7.4.2	Hållfasthet som funktion av temperatur och RF.....	67
7.5	TRYCKHÅLLFASTHETSTEST	74
8	EKONOMISK ANALYS OCH UTVÄRDERING	77
8.1	EKONOMISK ANALYS	77
8.2	UTVÄRDERING AV DET NYA BRANDSKYDDET	78
9	KONCEPTUELLT FÖRSLAG PÅ RATIONELL GJUTMETOD	81
10	SLUTSATS OCH DISKUSSION	85
11	FÖRSLAG TILL FORTSATTAS STUDIER.....	87
	REFERENSER	89
	BILAGA 1	93
	BILAGA 2	94
	BILAGA 3	95
	BILAGA 4	96
	BILAGA 5	97
	BILAGA 6	98
	BILAGA 7	99
	BILAGA 8	105

1 Inledning

Detta examensarbete behandlar brandskydd av stålpelare. Examensarbetet görs åt företaget BAU-HOW och i samarbete med avdelningen för konstruktionsteknik på Lunds Tekniska Högskola.

1.1 Bakgrund

BAU-HOW är ett byggföretag som använder sig av industriellt byggande vilket skiljer sig ifrån traditionellt byggande. Industriellt byggande gör att byggandet kan kostnadseffektiviseras och uppnå en hög standard i kvalitet. Även byggtiden minimeras vid industriell produktion. BAU-HOW har utvecklat ett standardiserat byggsystem, men ändå kan byggnaderna se olika ut. Även om byggsystemet kan användas till nästan alla typer av byggprojekt, är BAU-HOWs målsättning att först och främst bygga bostäder och hotell. Dessa byggnader kan byggas upp till tolv våningar. I dagsläget är det den danska, norska och svenska marknaden som är mest aktuell. Byggsystemet fungerar på sådant sätt att moduler tillverkas på en produktionslinje och dessa moduler monteras sedan ihop till själva byggnaden. Tillverkningen av modulerna sker i en fabrik som Ventspils, Lettland.



Figur 1.1: Exempel på hotellbyggnad som är uppbyggd av många moduler (BAU-HOW, 2009)

1.2 Problemdefinition

I dagsläget använder man brandskyddsisoleringen Promatect H kring pelarna som finns i innerväggarna och de lägenhetsavskiljande väggarna. Detta fungerar bra med avseende på dess brandisolerande funktion. Dock vill man effektivisera produktionen samt se om man kan hitta en billigare brandskyddsisolering.

1.3 Syfte och mål

Syftet med examensarbete är att verifiera en ny typ av brandskydd på stålpelare, som ska användas inom industriellt byggande för flervåningshus. Pelarna där brandskyddet ska användas kommer att vara integrerade med byggnadens innerväggar och lägenhetsskiljande väggar. Målet som ska uppnås är att få fram en billig, effektiv och industrialiserad metod för att klä in stålpelarna med brandskyddet. För att få en uppfattning om det nya brandskyddets eventuella fördelar kommer detta jämföras med brandskydd som redan idag finns på marknaden.

1.4 Avgränsningar

Stålpelarna som ska brandskyddas förutsätts enbart användas då de är integrerade i innerväggar och i lägenhetsskiljande väggar. Stålpelarna i ytterväggarna kommer alltså inte att behandlas.

1.5 Metod och genomförande

Först görs en litteraturstudie som behandlar brand i en byggnad rent allmänt. Därefter fortsätter studien med en beskrivning av de vanligaste brandskyddsmetoderna av stålpelare. Även dimensionering av brandisoleringstjocklek, ekonomisk analys samt en utvärdering av för- och nackdelar görs.

Studien av den nya brandskyddslösningen påbörjas genom att ta reda på så mycket fakta som möjligt om materialet som ska användas. Detta sker i form av intervjuer, litteraturstudier etc. För att få fram brandskyddsmaterialets egenskaper görs teoretiska studier, men även praktiska tester utförs.

Resultatet av studierna på den nya brandskyddslösningen utvärderas slutligen och jämförs med befintliga brandskyddslösningar.

1.6 Felkällor

De produktblad som företagen för de olika brandskyddslösningarna har tagit fram kan vara lite osäkra. Huruvida brandskyddsisoleringarna är praktiskt testade framgår inte och dess pålitlighet kanske inte överrensstämmer med verkligheten.

2 Begrepp enligt Boverkets Byggregler

2.1 Allmänt

Om en brand uppstår i en oskyddad byggnad kan detta innebära förödande konsekvenser för både själva byggnaden, men också för människor och djur som vistas i den. För att undvika sådana katastrofer brandskyddar man en byggnad. Ofta består brandskyddet av förebyggande och skadebegränsande åtgärder. De förebyggande åtgärderna ska se till att det ska vara så svårt som möjligt för en brand att uppstå och sprida sig, medan de skadebegränsade åtgärderna ska se till att byggnaden håller ihop en viss tid, så att exempelvis utrymning kan ske på ett säkert sätt. De krav som ställs på en byggnad vad gäller brand är först och främst inriktade på säkerhet, med människan i fokus, såsom att en eventuell utrymning kan ske på ett säkert sätt. (Boverket, 2008)

2.2 Brandtekniska klasser för byggnader

I Boverkets Byggregler (BBR) anges krav för en byggnads brandbeständighet. Brandkraven beror på många olika faktorer, bl.a. våningsantal, planlösning, mängd brännbart material och vilken verksamhet som bedrivs i byggnaden. (Isaksson & Mårtensson mfl, 2005) Kraven beror också på vilka utrymningsmöjligheter som finns, exempelvis är en byggnad som innehåller ett flertal människor inte lika lätt att utrymma som en byggnad med ett fåtal människor. (Boverket, 2008)



Figur 2.1: Olika brandklasser beroende på en byggnads utformning (Norgips, 2007)

För att beskriva graden av brandskydd som erfordras delas byggnader in i tre olika klasser: Br1, Br2 och Br3. Br1 innebär brandsäkra byggnader, Br2 brandhårdiga byggnader och Br3 övriga byggnader. (Boverket, 2008)

Byggnadsklass Br1

En byggnad som kräver de högsta kraven på brandbeständighet befinner sig i Br1. En sådan byggnad medför stor risk för personsador då en brand uppstår. För byggnader i klass Br1 ställs höga krav på bärande och avskiljande konstruktioner. Även ytskikten, exempelvis gipsskivor, ställs det stora krav på. (Boverket, 2008)

En byggnad med tre eller fler våningar hänförs till klass Br1. En byggnad med två våningar ska utföras i Br1 om:

- Den är avsedd för sovande personer, såsom hotell. De som vistas i byggnaden förväntas inte ha god lokalk nedom.
- Den används av personer som inte med lätthet kan sätta sig själv i säkerhet, exempelvis ålderdomshem.
- Den har samlingslokal på andra våningen. (Boverket, 2008)

Byggnadsklass Br2

En byggnad som innebär att en brand medför måttlig risk för människor som vistas i den ska utföras i Br2. Även här finns vissa rekommendationer som reglerar huruvida byggnaden ska hänföras till Br2 eller inte. Följande byggnader med två våningsplan b r utföras i lägst Br2

- Byggnader som innehåller två eller flera bostadslägenheter och där vindsplanet  r tänkt att användas som bostads- eller arbetsrum.
- Byggnader med samlingslokaler i markplanet
- En byggnadsarea på mer än 200 m²
- Om man delar upp en byggnad i enheter där vardera enhet  r minst 200 m² och där enheterna inte har en avskiljande brandvägg med lägst klass REI- M60, där M står för mekanisk påverkan.
- Byggnader med ett våningsplan med v rdanl ggning. (Boverket, 2008)

Byggnadsklass Br3

De byggnader som ska utföras i Br3  r övriga byggnader, dvs. de som inte behandlats ovan.

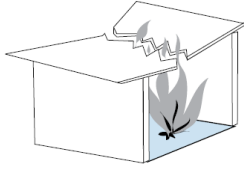
2.3 Brandtekniska klasser för byggnadsdelar

Bärande och avskiljande konstruktioner,  r två olika funktioner som byggnadsdelar kan indelas i när man talar om brandmotstånd. Detta innebär att exempelvis en pelare måste kunna bära en last, i en viss tid under en brand, för att kravet ska uppfyllas. Förutom bärande funktion kan det även ställas krav på att byggnadsdelarna ska vara avskiljande. Detta för att förhindra brandspridning från en brandcell till en annan. (Boverket, 2008)

Brandmotstånd hos byggnadsdelar beskrivs utifrån tre funktionskrav R, E, och I. Beteckningarna innehåller även en sifferbeteckning som anger under hur lång tid, i minuter, byggnadsdelen ska klara att stå emot en standardbrand utan att förlora sin funktion. Beteckningarna kan ibland ses kombinerade med varandra, exempelvis RE eller REI. Detta innebär att det ställs krav på både bärande och avskiljande funktion. (Boverket, 2008)

Bärande konstruktioner, R

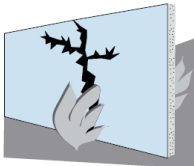
Då en brand uppstår i en byggnad ska de bärande konstruktionerna vara dimensionerade för att b ra lasten även under själva brandförloppet. Konstruktionen ska vara dimensionerad så att brott och instabilitet undviks vid brand. (Boverket, 2008)



Figur 2.2: Bärande konstruktioner, R (Gyproc, 2010)

Integritet, E

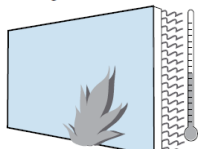
Med en byggnadsdels integritet menas att heta brandgaser och lågor ska hålla sig inom den givna brandcellen och inte sprida sig vidare till andra utrymmen via sprickor, hål eller andra öppningar i exempelvis en avskiljande vägg. (Boverket, 2008)



Figur 2.3: Integritet, E (Gyproc, 2010)

Isolerande funktion, I

Om det brinner på ena sidan av en byggnadsdel f r den oexponerade sidan av denna inte överskrida specificerade temperaturgränser. (Boverket, 2008)



Figur 2.4: Isolerande funktion, I (Gyproc, 2010)

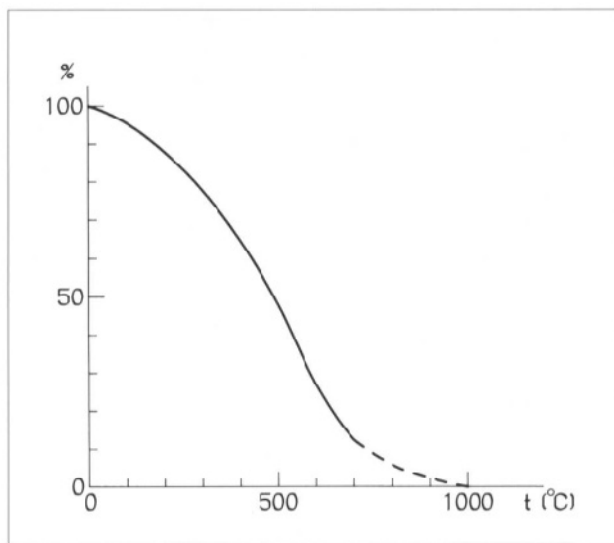
3 Branddimensionering

3.1 Allmänt

Stål, liksom andra material, försvagas då det utsätts för brand. En ståltemperatur på ca 450°C innebär att stålet kan utnyttjas till cirka 70 % av den totala bärförmågan. Det är vid detta skede som stålets hållfasthet och elasticitetsmodul börja reduceras så pass mycket att det påverkar stålets bärförmåga. Denna temperatur brukar därför kallas den kritiska temperaturen för stål. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

Givet är också att en konstruktion som är mindre utnyttjad tål högre temperaturer, vilket kan visas i figur 3.1. Utnyttjandegraden anges i procent och beror på kvoten mellan den dimensionerande lasten vid brand och själva konstruktionens bärförmåga i rumstemperatur. Det är med hjälp av detta diagram som stålets kritiska temperatur kan avläsas. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

Som man kan se i figur 3.1 så beror utnyttjandegraden på stålets temperatur. För att åstadkomma en hög utnyttjandegrad innebär detta att stålet måste skyddas så att en betydande temperaturökning inte kan ske. Detta kan göras på en mängd olika sätt: brandskyddsmålning, inbyggnad, skivinklädnad, sprutisolering, överdimensionering m.m. (Andersson & Axhag mfl, 1997)



Figur 3.1: Samband mellan utnyttjandegrad och dimensionerande ståltemperatur (Andersson & Axhag mfl, 1997)

Dimensionering av brandskydd av bärande konstruktioner kan ske genom två olika metoder. Antingen genom dimensionering med klassificerade produkter eller också genom beräkningar. De flesta företag som tillverkar brandisolering har även tagit fram tabeller och diagram för just sitt brandskydd. Dessa anvisningar används sedan

för att dimensionera brandisoleringen, genom så kallade klassificerade produkter. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

3.2 Dimensionering med klassificerade produkter

När man dimensionerar med hjälp av klassificerade produkter är brandskydden provade med en brand som motsvarar standardbrandkurvan, se avsnitt 3.3.1. Vid sådana provningar tar man inte hänsyn till avkylningsfasen. Proven utsätts för standardbranden olika länge beroende på hur länge konstruktionen ska klara branden, exempelvis 60 eller 90 min. Man kan tillägga att standardbranden i vissa fall kan skilja sig ganska mycket från en verklig brand, varför en konstruktion utsatt för en verklig brand inte alltid klarar att stå emot lika länge som för en standardbrand. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

Dimensioneringsgången enligt tillverkarens anvisningar sker inte helt av sig självt, utan vissa ingångsparametrar måste bestämmas för att få fram rätt resultat.

3.2.1 F/A-faktor

En konstruktionsdels F/A-faktor [m^{-1}] är en profilmfaktor som bestämmer hur lätt uppvärmningen av stålet sker. Den yta av konstruktionen som exponeras mot branden betecknas F. Ett större värde på F innebär ett större värmeflöde till konstruktionen.

A är tvärsnittsytan som kan värmas upp. Ju större A är desto mer värmeenergi krävs det för att värma upp stålkonstruktionen till en viss temperatur. Av detta resonemang kan man dra slutsatsen att ett litet värde på F/A innebär att det tar längre tid för konstruktionen att uppnå en viss temperatur, vilket är gynnsamt för konstruktionen vid brand. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

För en brandkonstruktion som är skyddad mot brand genom brandisolering tas värdet F fram som isoleringens inre omkrets.

3.3 Dimensionering genom beräkning

Den ovan nämnda dimensioneringsgången för brandisolering är inte alltid helt optimal. Den dimensioneringsmetod som tillverkarna tagit fram behöver inte gälla för alla brandfall. En beräkning, som dock är mer komplicerad, kan istället ge en mer exakt dimensionering beroende på förutsättningarna. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

För att beräkna ståltemperaturen hos ett givet tvärsnitt krävs vissa procedurer innan man når fram till resultatet. Till att börja med måste man ta fram det aktuella brandförloppet, som beror på utrymmets utformning och dess brandbelastning, dvs. hur mycket brännbart bränsle som finns tillgängligt. Med dessa ingångsdata kan man få fram gastemperaturen i lokalen som konstruktionen påverkas av genom en temperaturhöjning. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

3.3.1 Beräkning av gastemperaturen

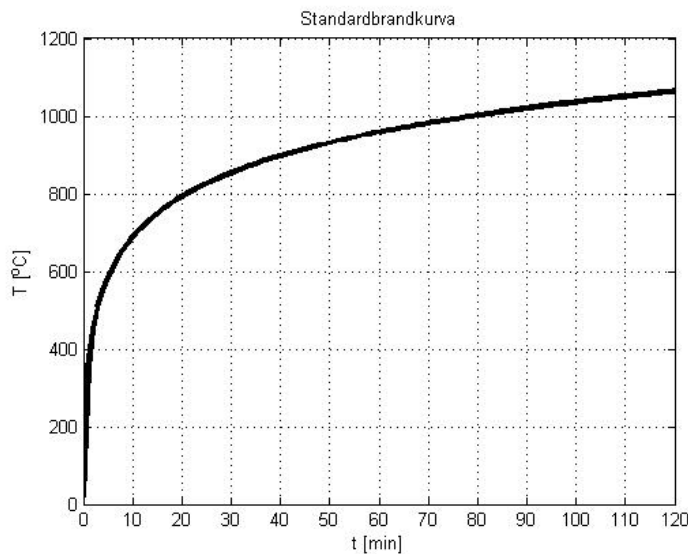
Gastemperaturen kan tas fram genom två olika metoder. Antingen genom den så kallade standardbrandkurvan eller genom en energibalansmetod. Här kommer enbart metoden med standardbrandkurvan att behandlas. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

För bärande konstruktioner används det idag ett klassificeringssystem som bygger på standardbrandkurvan. Detta system bygger på att en bärande konstruktion i exempelvis klass R60 ska kunna stå emot en standardbrand i minst 60 minuter. (SBI, 2009)

Gastemperaturen kan uttryckas matematiskt och följer då en standardiserad tidstemperaturkurva enligt figur 3.2. Uttrycket ser ut enligt följande:

$$T_g - T_0 = 345 \log_{10}(480 \cdot t + 1)$$

där $T_g =$ gastemperaturen vid tiden t [°C]
 $T_0 =$ gastemperaturen vid tiden $t = 0$, normalt 20 °C
 $t =$ tiden efter upphettningens början [h]



Figur 3.2: Standardbrandkurva

Här bör observeras att uttrycket enbart gäller för själva upphettningsfasen, avsvlningsfasen är alltså inte medräknad. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

3.3.2 Beräkning av ståltemperaturen

Då en stålkonstruktions temperatur höjs beror detta på konstruktionens omgivande temperatur. Värmeflödet från omgivningen till stålet beror främst på värmeövergångsmotståndet för luftskiktet och hur pass väl man isolerat konstruktionen. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

Det finns många olika metoder för att få fram en stålkonstruktions temperaturförlopp. En metod är den allmänna värmeledningsekvationen som på grund av omfattande beräkningar ofta löses numeriskt. På grund av beräkningarnas omfattning väljer man ofta istället att använda sig av förenklade metoder. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

Ett sätt är att man beräknar temperaturförloppet med en förenklad värmebalansberäkning. Förenklingar som görs är:

- Värmetransporten i stålkonstruktionen med tillhörande brandisoleringen antas ske endimensionellt.
- Temperaturgradienten över isoleringen ses som linjär.
- Brandisoleringens specifika värmekapacitet försummas.
- Temperaturen vid varje tidpunkt är likformigt fördelad över stålprofilens tvärsnitt. (Magnusson, Pettersson, & Thor, 1974)

Den värmemängd Q som tillförs en isolerad stålprofil vid brand ges av:

$$Q_{tillförd} = \frac{1}{1/\alpha + d_i/\lambda_i} F_s (T_g - T_s) \Delta t \quad [J/m]$$

där $d_i =$ brandisoleringens tjocklek [m]
 $\lambda_i =$ brandisoleringens värmeledningsförmåga [$W/m^\circ C$]
 $\alpha =$ värmeövergångskoefficient mellan brandgas och expanderad yta [$W/m^2^\circ C$]

$F_s =$ Brandisoleringens inre mantelyta per längdenhet av profilen [m]

$T_g =$ Brandgastemperatur vid tiden t [$^\circ C$]

$T_s =$ Ståltemperatur vid tiden t [$^\circ C$]

$\Delta t =$ tidsintervall [s]

För att öka stålprofilens temperatur ΔT_s krävs det en värmemängd som ges av:

$$Q_{ökning} = c_{ps} \cdot \Delta T_s \cdot A_s \cdot \rho_s \quad [J/m]$$

Där $c_{ps} =$ stålets specifika värmekapacitet [$J/kg^\circ C$]

$\Delta T_s =$ Stålprofilens temperaturökning [$^\circ C$]

$A_s =$ Stålprofilens volym per längdenhet [m^2]

$\rho_s =$ Densitet stålprofil [kg/m^3]

Genom att sätta $Q_{tillförd} = Q_{ökning}$ fås att ståltemperaturens temperaturökning ges av:

$$\Delta T_s = \frac{F_s \cdot (T_g - T_s) \cdot \Delta t}{\left(1/\alpha + d_i/\lambda_i\right) \cdot \rho_s \cdot c_{ps} \cdot A_s} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Värmeövergångsmotståndet $1/\alpha$ kan i förhållande till brandisoleringens värmemotstånd d_i/λ_i lätt försummas i ekvationen ovan. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

I dessa ekvationer har man alltså inte tagit hänsyn till att själva brandisoleringen har en specifik värmekapacitet, vilken skulle fördröja ståltemperaturhöjningen. Detta är motiverat så länge man talar om lätta isolermaterial där värmekapaciteten är liten i jämförelse med stålets värmekapacitet. När man dimensionerar stålkonstruktioner med tunga brandisoleringsmaterial, betong, fibersilikat etc., kan värmekapaciteten hos isoleringen spela en betydande roll. Man bör observera att det inte bara behöver vara värmekapaciteten som spelar in. Även mängden vatten i brandisoleringsmaterialet har en avgörande roll. Vid brand avgår nämligen vattnet som vattenånga, vilket kräver mycket energi. Detta leder i sin tur till att temperaturhöjningen i stålet fördröjs. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

3.4 Dimensionering för BAU-HOWs system

3.4.1 Brandtekniska klasser

Bärande pelare

Pelarna som används i BAU-HOWs moduler ska då en brand uppstår uppfylla vissa krav i bärlighet beroende på det antal våningar byggnaden består av. Kraven åskådliggörs i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Våningsberoende krav för bärförmåga på pelare

Antal våningar	Bärförmåga pelare
≤ 4	R60
≥ 5	R90

3.4.2 Kritisk temperatur för stålpelare

För BAU-HOW-systemet har man genom Eurocode 3 beräknat fram en utnyttjandegrad för olika pelare i en brandsituation och detta visar att utnyttjandegraden varierar mellan 60-70% i ren materialreduktion. En utnyttjandegrad på 60-70% motsvarar enligt Eurocode en kritisk ståltemperatur på cirka 525-550 °C. (Eurocode 3, 2004) Ingenjörsmässigt övervägande, gjort av Jörgen Thor, ger att man kan godta en kritisk ståltemperatur på 550 °C (Thor, 2010).

4 Beskrivning av olika brandskyddsmetoder

4.1 Allmänt

Det finns en mängd olika sätt för att skydda en stålkonstruktion mot brand. Oftast finns det standardlösningar som kan väljas beroende på konstruktionsdel. Vanliga typer av brandskydd kan vara att konstruktionsdelen byggs in i väggar, eller skyddas av andra brandtåliga material som appliceras kring konstruktionen. I detta avsnitt kommer brandskyddsmetoder som appliceras kring och i stålkonstruktionen att behandlas.

4.1.1 Fibersilikatskivor

Inom gruppen fibersilikatskivor finns det ett brandskyddsmaterial som kallas Promatect H. Dessa är uppbyggda som skivor och finns o många olika tjocklekar, från 6 mm och uppåt vilket innebär att det bara krävs ett skikt för att uppnå erforderligt brandskydd. (Tepro, 1998) Detta kan jämföras med exempelvis gipsskivor som ibland kräver flera lager för att uppnå erforderligt brandskydd. Skivorna är relativt hårda och detta betyder att det inte krävs några montageprofiler eller liknande för att fästa skivorna i konstruktionen. Det som krävs vid montage är fästdon för att sammanfoga skivorna och ansluta de till konstruktionsdelen. Eftersom skivorna monteras kant i kant som en låda sparar man det utrymme som annars skulle tagits upp av olika montageprofiler. (Promat, 2006)



Figur 4.1: 4-sidig montering av Promatect H (Tepro, 1993)

Brandskyddsmaterialet är stabilt vid höga temperaturer, vilket innebär att även tunna skivor har högt brandmotstånd. Brandskivorna är kalciumsilikatbaserade och klassificeras som obrännbart material, varvid de får en isolerande verkan på stålkonstruktioner. Att kunna använda sig av ett tunnare brandskyddsmaterial innebär ibland att både pelare och brandskyddet med lätthet får plats i en vägg. I detta sammanhang innebär ett tunt brandskydd även att pelaren kan placeras närmre rummet då den finns i en yttervägg. Detta leder till att den kalla sidan blir bättre isolerad och kondensproblem kan undvikas. (Tepro, 1993)

4.1.2 Brandskyddsfärg

Brandskyddsfärg är ett väl beprövat brandskyddsmaterial som används då man inte vill att tvärsnittet ska öka i storlek. Innan man applicerar brandskyddsfärgen ska stålkonstruktionen först blåstras och grundmålas. (Isaksson, Mårtensson, & Thelandersson, Byggkonstruktion, 2005) Brandskyddsfärgen påförs sedan i ett eller

flera skikt beroende på brandklass. I genomsnitt kan man räkna med att ett skikt  r 0,5-1 mm tjockt. Trots att man brandskyddat stålkonstruktionen framhävs ändå stålprofilen, d rfor lämpar metoden sig till synliga konstruktioner. Vill man att stålkonstruktionen ska ha en annan färg  n själva brandskyddsfärgen finns det en speciellt anpassad täckfärg, som är framtagen för att inte påverka brandskyddets funktion till det sämre. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

Vid vanliga temperaturer behöver man inte se att konstruktionen är brandskyddad, förutom att färgen är lite mer knottrig  n vanlig färg. Dock byter brandskyddsfärgen struktur då den utsätts för brand och det  r först då den utvecklar sina brandisolerande egenskaper, se figur 4.2. Vid upphettning sväller färgen upp och bildar ett isolerande skumskikt som blir några centimeter tjockt och som ser till att minska värmeflödet in till stålet. (Isaksson & Mårtensson mfl, 2005)



Figur 4.2: Brandskyddsfärg som sväller upp vid upphettning (Byggbasen, 2010)

Brandskyddsfärg kan appliceras på stålkonstruktionen antingen innan monteringen eller efter monteringen. Det sistnämnda är vanligast. Appliceringen sker i båda fallen med hjälp av pensel, roller eller med sprutmunstycke. (Isaksson & Mårtensson mfl, 2005)

Brandskyddsm lning är framtaget framförallt för att brandskydda i upp till 60 minuter. Även brandskydd i upp till 90 minuter g r att åstadkomma, men då krävs det en större godstjocklek hos konstruktionen. För att brandskyddsfärgen ska kunna utnyttjas maximalt måste det finnas utrymme för färgen att svälla. Det  r d rfor inte lämpligt att använda brandskyddsfärg till inbyggda konstruktioner, exempelvis i en innervägg. (Firesafe, 2009)

4.1.3 Sprutisolering

Sprutisolering av stålkonstruktioner tillhör vanligtvis en av de billigaste brandskyddsmetoderna. (Buchanan, 2001) Det förekommer två olik typer av sprutisolering på marknaden. Den ena är tryckluftssprutning med stenullsfiber och den andra  r fibersilikatbaserad puts. För att metoden där stenullsfiber används, ska hålla samman och inte smula sönder, används vattenlösliga icke-organiska bindemedel. För fibersilikaten gäller att den innehåller expanderat glimmermineral, ofta tillsammans med ett cementbaserat bindemedel. (Andersson & Axhag mfl, 1997)

Glimmermineral har goda värmeisolerande egenskaper och passar därför bra som brandskyddsmaterial. Den brandskyddande funktionen har en rent isolerande verkan. (Loberg, 1999) Förr i tiden innehöll sprutisoleringen asbest. Detta används dock inte längre pga. hälsoskäl. (Buchanan, 2001)

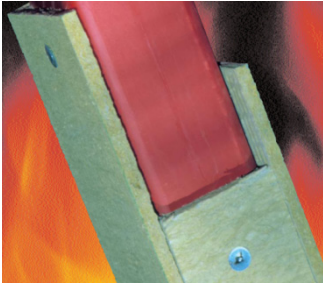


Figur 4.3: Sprutisolerade stålkonstruktion (Buchanan, 2001)

När man sprutisolerar en stålkonstruktion brukar man applicera isoleringen med en tjocklek på 5-50 mm beroende på vilket brandskydd man vill uppnå. (Andersson & Axhag mfl, 1997) Sprutisolering fäster enkelt på de flesta material utan att någon mekanisk fästeanordning krävs (WBR, 2009). Vid applicering av sprutisolering blir det ofta väldigt blött och kladdigt vilket medför att slutresultatet inte blir speciellt vackert. Därför är sprutisolering inte lämpligt att använda på konstruktioner där man vill framhäva profilen. En annan nackdel med sprutisolering är att den blir relativt mjuk, och detta måste beaktas, med diverse skyddsanordningar, om konstruktionen är placerad i ett utsatt läge. Ytterligare en nackdel är att sprutisolering med tiden åldras och blir sprött, vilket får det att falla av från konstruktionen. (Thelandersson, 2010) Om man jämför en pelare med en balk så är pelaren oftast mer utsatt gentemot balken, därför används sprutisolering som brandskydd i större utsträckning på balkar än på pelare. (Buchanan, 2001)

4.1.4 Stenullsskivor

För att brandskydda stålkonstruktioner kan även stenullsskivor användas. Stenullsskivor har mycket goda egenskaper vid brand, detta på grund av att stenullsfiber tål temperaturer som överstiger 1000°C. Den vanligaste metoden för att fästa skivorna på stålprofiler är att använda sig av svetsstift. Det fungerar så att stålstift svetsas fast på stålmaterialet, skivmaterialet trycks sedan fast på stiften och låses fast med hjälp av låsbrickor. (Isaksson & Mårtensson mfl, 2005) På grund av detta krävs alltså vissa förarbeten och en viss kompetens innan brandisoleringen kan sättas fast. Man kan lätt forma själva skivorna med hjälp av såg eller kniv.



Figur 4.4: En VKR brandskyddad med stenullsskivor (Rockwool, 2009)

Nedan visas fyra olika material som visar hur effektiv stenull är gentemot andra material vid brand se figur 4.5. (Rockwool, 2009)



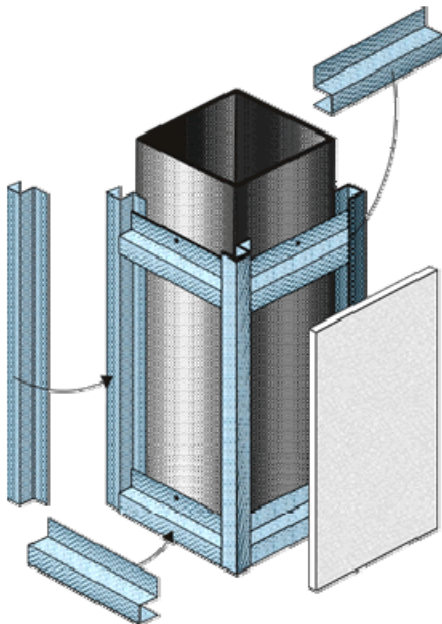
Figur 4.5: Fyra brandutsatta material som framhäver stenull som väldigt effektivt (Rockwool, 2009)

En stenullskiva har en hård ytstruktur, därför är det lätt att tro att den är bra att använda som ytskikt. Så är dock inte fallet. Trots att den är hård till ytan så är det direkt olämpligt att den används som ytskikt fritt i ett bostadsutrymme. Detta beror bland annat på att skivan kan avge dammpartiklar och att hårda stötar och slag kan slå bort delar av materialet. De delar av stenullsskivorna som blir synliga kläs normalt in med gips eller annat skivmaterial som man sedan kan måla som vanligt. (Kamstedt, 2009)

4.1.5 Gipsskivor

Gipsskivan är uppbyggd av gips med pappkartong på vardera sidan om detta. Gipsskivan ger ett bra brandskydd eftersom gipskristallerna innehåller mycket vatten. När gipsen upphettas vid brand bildas kalciumsulfat och vatten, vattnet upptar då en stor del av värmen och gör att gipsskivorna fungerar som brandskydd. (Nationalencyklopedin, 2009)

Det finns många typer av gipsskivor. En  r Gyproc Protect F, som  r en så kallad brandgipsskiva. Tjockleken på denna skiva  r 15,4 mm vilket  r lite tjockare än till exempelvis Gyproc Normal standardgipsskiva. Den största skillnaden är att Gyproc Protect F har något annorlunda sammansättning, nämligen glasfiberarmerad gips, vilket gör att det tar lite längre tid f r det kemiskt bundna vattnet att frigöras och avdunsta. När väl vattnet har fr ngats ut ur skivan fungerar återstående material som ett isoleringsskikt. En Gyproc Normal standardgipsskiva brukar efter hand som vattnet försvinner spricka upp och tillslut falla ner. Att använda Gyproc Protect F för att uppnå ett fullgott brandskydd ger mindre antal skivlager och i sin tur mindre arbetskostnader jämfört med andra gipsskivor. (Gyproc, 2009)



Figur 4.6: Inklädnad av st pelare (Gyproc 2009)



Figur 4.7: Pelarh rnprofil (Gyproc, 2009)

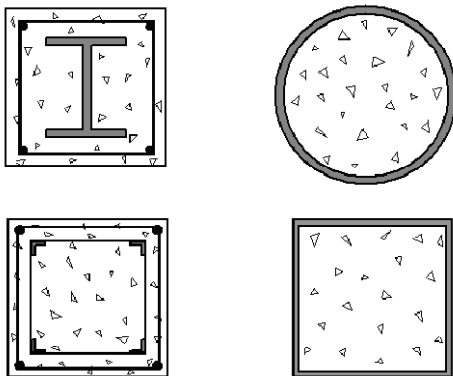
Om flera lager gips ska användas ska skarvarna överlappas. För att det första lagret med gipsskivor ska kunna fästas på pelaren används en typ av h rnprofil. Denna h rnprofil klistras fast på pelaren och sticker ut 25 mm, se figur 4.6 och 4.7 (Norgips, 2004)

4.1.6 St pelare i samverkan med betong

Genom kring- eller igjutning av st pelare isoleras denna mot brand samtidigt som betongen ger en markant ökad bärförmåga. Det g r även att komplettera med en stång eller armering inne i betongen för att ytterligare stärka pelarens bärförmåga och brandskydd. En stor fördel med samverkanspelare  r att man inte behöver brandskydda pelarens utsida, då man talar om igjutning, och detta innebär att pelaren har kvar sitt ursprungliga utseende. Betongen i pelaren kan fungera på olika sätt. Det ena är att betongen kan ta upp värmen från stålet, och detta innebär att temperaturhöjningen i st pelaren inte sker lika snabbt. Metoden kan innebära en

temperatursänkning i stålet mellan 50 till 200°C. Den andra positiva effekten av samverkanspelare är att bärförmågan ökar. (Buchanan, 2001)

Om man använder en VKR-pelare eller liknande, se figur 4.8, fungerar själva profilen som gjutform vilket är en fördel eftersom man slipper gjutformar. Betongen är även billig i förhållande till vilka egenskaper som uppstår i form av bärförmåga och brandskydd. (Thor, 2009)



Figur 4.8: Olika typer av samverkans pelare

Att gjuta betong kring en pelare kan också inkluderas i begreppet samverkanspelare om betongen hjälper till att ta last. Vanligast är då stålpelare av H-profil eftersom man då får en stor betongvolym mellan profilens flänsar. Att gjuta kring en VKR pelare innebär att betongvolymen blir begränsad såvida man inte samtidigt gjuter i profilen. (Thor, 2009)

4.2 Dimensionering av isoleringstjocklek

I detta avsnitt dimensioneras brandskyddsisolering som skulle kunna vara lämpliga för BAU-HOWs stålpelare. Brandskyddsmetoder som direkt kan uteslutas, enligt beskrivningen av de olika metoderna ovan, kommer inte att behandlas och till dessa hör sprutisolering och brandskyddsfärg. Varför dessa inte passar i BAU-HOWs system redogörs för i utvärderingen avsnitt 4.4. Isoleringstjockleken dimensioneras för både brandklass R60 och R90, eftersom det är dessa klasser som förekommer i BAU-HOWs system beroende på antal våningar i byggnaden, se avsnitt 3.4.1. Dimensionering för de olika brandskydden kommer alla att göras för en VKR 100x100x10 pelare och med 3-sidig inklädnad. På den fjärde sidan kommer en 6 mm Promatect H-skiva att fästas, då man talar om inklädnad med skivor. Anledningen till att det enbart används en 6 mm Promatect H-skiva här är att det inte finns plats till tjockare brandskydd än detta, vilket förklaras i avsnitt 5.2. Pelarna är inbyggda i innerväggarna, men de kommer sticka ut något i rummet, vilket gör att det blir 3-sidig exponering av branden. Dimensioneringen för de olika metoderna kommer att ske för samma typ av pelare, för att kunna göra en rättvis jämförelse. De isoleringstyper som isoleringstjockleken bestäms för är fibersilikatskivor, stenullsskivor och gipsskivor.

En kontroll huruvida man kan sänka ståltemperaturen genom samverkanspelare kommer också att göras. För att visa hur godstjockleken påverkar hur tjockt brandskydd som behövs kommer även en VKR 100x100x5 att kontrolleras.

4.2.1 Fibersilikatskivor

För att bestämma isoleringstjockleken används dimensionering för klassificerade produkter, se avsnitt 3.2. Den typ av fibersilikatskivor som används i beräkningarna är Promatect H som tillverkas av Cembrit Tepro AB. Dimensioneringen görs med hjälp av tabeller som finns på Cembrit Tepro AB:s hemsida. Tabellen som beräkningarna utgår från är framtagen med en kritisk ståltemperatur på 500°C. I vårt fall är den kritiska ståltemperaturen 550 °C vilket innebär att man hamnar på den säkra sidan.

Beräkning av F/A-faktorn:

$$F = 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ m}$$

$$A = 0,00349 \text{ m}^2 \quad \text{enligt (Isaksson \& Mårtensson, 2006)}$$

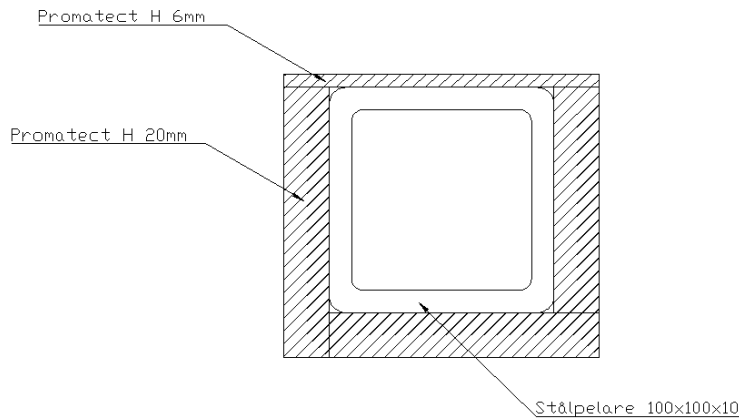
$$\frac{F}{A} = \frac{0,3}{0,00349} = 86 \text{ m}^{-1}$$

Med hjälp av tabellerna på hemsidan kan man genom avläsning få fram vilken tjocklek man behöver ha på Promatect H för den typ av pelare som studeras, VKR 100x100x10. För tabell, se bilaga 1.

Avläsningen ger:

<u>Brandklass</u>	<u>Isoleringstjocklek</u>
R60	12 mm
R90	20 mm

Figur 4.9 visar hur Promatect H isoleringen kommer att kläs runt pelaren. För de olika brandklasserna R60 och R90 kommer skivorna kläs lika, fast med olika tjocklek, och sedan fästas med någon form av fästdon. (Promat, 2006)



Figur 4.9: VKR-profilen inklädd i Promatect H, R90

Om en VKR 100x100x5-pelare används, det vill säga en pelare med en mindre godstjocklek, kommer F/A-faktorn att öka och detta leder i sin tur till att även isoleringstjockleken kan komma att öka. Om dimensioneringen görs som ovan blir isoleringstjocklekarna följande:

<u>Brandklass</u>	<u>Isoleringstjocklek</u>
R60	20 mm
R90	30 mm

4.2.2 Stenullsskivor

Den typ av stenullsskivor som beräkningarna görs på är Conlith 150 som är tillverkade av Rockwool. Beräkningen av isoleringstjocklek görs med hjälp av dimensionering av klassificerade produkter, se avsnitt 3.2. För att ta fram isoleringstjockleken behövs den kritiska ståltemperaturen och F/A-faktorn. Med dessa värden kan man läsa av isoleringens tjocklek i figur, se bilaga 1.

Den kritiska ståltemperaturen för BAU-HOWs system är 550 °C.

Beräkning av F/A-faktorn:

$$F = 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ m}$$

$$A = 0,00349 \text{ m}^2$$

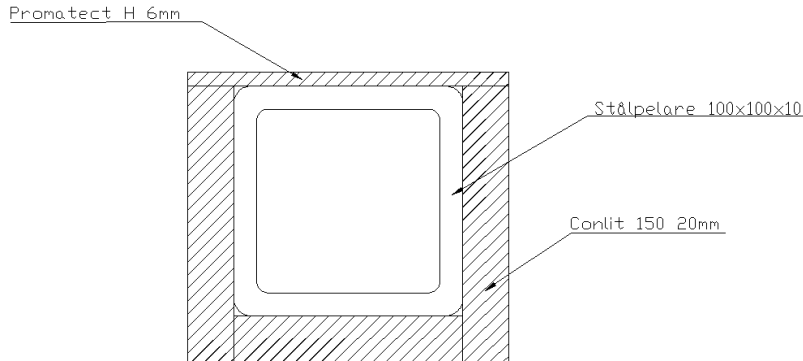
enligt (Isaksson & Mårtensson, 2006)

$$\frac{F}{A} = \frac{0,3}{0,00349} = 86 \text{ m}^{-1}$$

Nu kan avläsning göras i figur, se bilaga 1.

<u>Brandklass</u>	<u>Isoleringstjocklek</u>
R60	15 mm
R90	20 mm

Figur 4.10 visar hur man med Conlit 150 brandskyddar en VKR-profil.



Figur 4.10: Pelare inklädd i Conlit 150, R90

Om en VKR 100x100x5-pelare används, dvs en pelare med en mindre godstjocklek kommer F/A-faktorn att öka och detta leder i sin tur till att även isoleringstjockleken kan komma att öka. Om dimensioneringen görs som ovan blir isoleringstjocklekarna följande:

<u>Brandklass</u>	<u>Isoleringstjocklek</u>
R60	15 mm
R90	30 mm

4.2.3 Gipsskiva

Dimensioneringen görs med hjälp av klassificerade produkter, se avsnitt 3.2. Den produkt som beräkningarna är gjorda på är Gyproc Protect F som tillverkas av Gyproc. Isoleringstjockleken kan läsas ur diagram, se Bilaga 2. För att kunna läsa ur diagrammen behövs F/A-faktorn och den kritiska ståltemperaturen.

Den kritiska ståltemperaturen för BAU-HOWs system är 550 °C.

Beräkning av F/A-faktorn:

$$F = 2 \cdot (0,1 + 0,005) + (0,1 + 0,025 + 0,025) = 0,36 \text{ m}$$
$$A = 0,00349 \text{ m}^2 \quad \text{enligt (Isaksson \& Mårtensson, 2006)}$$

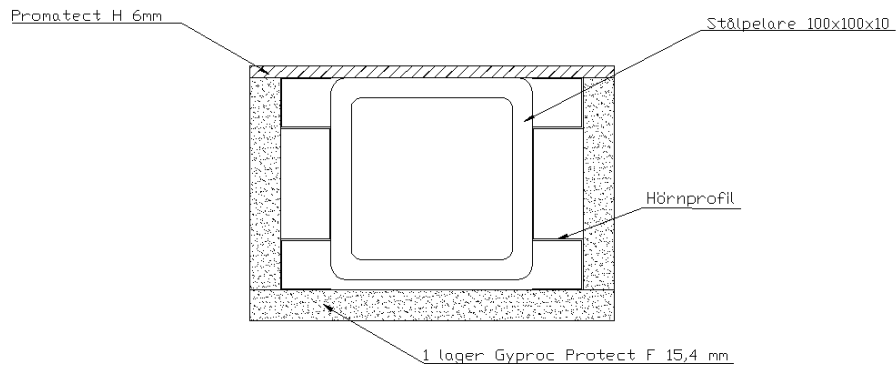
$$\frac{F}{A} = \frac{0,36}{0,00349} = 103 \text{ m}^{-1}$$

Avläsning av isoleringstjocklek för de olika brandklasserna görs i diagram, se bilaga 2

R60

Efter 60 minuter är ståltemperaturen 330 °C vid inklädnad med 1 lager Gyproc Protect F. Denna är lägre än den kritiska ståltemperaturen och uppfyller alltså kraven.

Pelaren kommer att se ut som figur 4.11 med 1 lager Protect F och tillhörande pelarhornprofil.

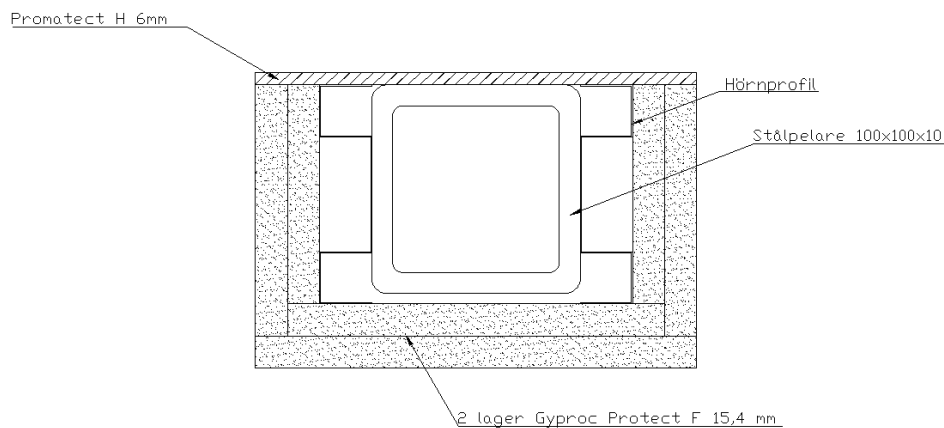


Figur 4.11: Dimensionerad pelare med Protect F enligt R60

R90

Ståltemperaturen efter 90 minuter är 560°C vid inklädnad med 1 lager Protect F, vilket inte är godkänt då ståltemperaturen överstiger den kritiska ståltemperaturen. Avläsningen upprepas på kurvan för 2 lager Protect F och då fås en ståltemperatur på 250°C, vilket uppfyller kravet.

Pelaren kommer att se ut som figur 4.12 med 2 lager Protect F och tillhörande pelarhornprofil.



Figur 4.12: Dimensionerad pelare med Protect F enligt R90

Om en VKR 100x100x5-pelare används, dvs en pelare med en mindre godstjocklek kommer F/A-faktorn att öka och detta leder i sin tur till att även isoleringstjockleken kan komma att öka. Om dimensioneringen görs som ovan blir isoleringstjocklekarna följande:

<u>Brandklass</u>	<u>Isoleringstjocklek</u>
R60	1 lager
R90	2 lager

4.2.4 Stålpelare i samverkan med betong

Genom tabeller, se bilaga 3, som Svecon sammanställt kan man se att samverkande VKR-pelare måste ha ett minsta mått 260x260 för att uppfylla brandklass R60 vid igjutning i pelaren, vid en utnyttjandegrad på 50 %. För BAU-HOWs system ligger som tidigare nämnts utnyttjandegraden mellan 45-55%. Alltså funkar denna tabell bra att använda sig av. Man kan lätt se att ett tvärsnitt runt 100x100 fyllt med betong inte kommer att räcka till för att få tillräckligt brandskydd. På grund av detta behöver inte denna typ av brandskydd dimensioneras och kostnadsberäknas. (Svecon Svensson Construction AB, 2003)

Samverkanspelare innebär även, som tidigare nämnts att man kan gjuta kring stålpelaren. Enligt beräkningar som Tekn. Dr Jörgen Thor har gjort krävs det ett betonglager på cirka 50 mm för att en VKR 100x100x10 ska uppnå tillräckligt brandskydd i 90 minuter vid 4-sidig brandbelastning. För att en VKR 100x100x5 ska uppnå tillräckligt brandskydd under samma förutsättningar krävs det istället ett utanpåliggande betonglager på cirka 60 mm betong. (Thor, 2009)

4.3 Ekonomisk analys

En ekonomisk analys görs för de brandskydd som möjligen kan tillämpas i BAU-HOWs system. Kostnaden för att klä in en VKR 100x100x10 pelare med aktuell brandskydd beräknas. Pelarna kommer att antas vara 3m höga. Beräkningen görs med 3-sidig inklädnad med respektive brandskydd och på den fjärde sidan kommer en 6 mm Promatect H-skiva att fästas. För att göra denna ekonomiska analys kommer kostnaderna bestå av materialkostnader och montagekostnader. Kostnaden för montaget är cirka 7€/h och med dagens växelkurs är 1€ ≈ 10 kr. Den ekonomiska analysen görs för de båda brandklasserna, R60 och R90, som förekommer i BAU-HOWs system. Öresutjämnningen kommer att avrundas till närmaste helkrona.

4.3.1 Fibersilikatskivor

Det är Beijer Byggmaterials prisuppgifter som används vid den ekonomiska analysen av Promatect H. Kostnaden för montaget har fått fram genom Wikells Byggberäkningar AB.

Priser på Promatect H:

<u>Tjocklek</u>	<u>Pris/m²</u>
6 mm	130 kr
12 mm	313 kr
20 mm	500 kr

Priser på skjutdyckert:

<u>Typ</u>	<u>Pris/st</u>
------------	----------------

Risicanalys och verifiering av brandskydd på stålpelare

28x1,5	0,1 kr
50x1,5	0,1 kr

R60

För denna brandklass behöver Promatect H-skivorna vara 12 mm tjocka på 3 sidor och 6 mm tjock på den fjärde.

Beräkning av den area som måste användas runt pelaren för att ge ett fullgott brandskydd:

$$A_{\text{Promatect H 12 mm}} = 0,324 \cdot 3 = 0,972 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Promatect H 6 mm}} = 0,124 \cdot 3 = 0,372 \text{ m}^2$$

Antal skjutdyckert:

<u>Typ</u>	<u>Antal</u>
28x1,5	124 st

Materialkostnad:

$$\text{Promatect H 12 mm} \rightarrow 313 \cdot 0,972 = 304 \text{ kr}$$

$$\text{Promatect H 6 mm} \rightarrow 130 \cdot 0,372 = 48 \text{ kr}$$

$$\text{Skjutdyckert 28x1,5} \rightarrow 124 \cdot 0,1 = 12 \text{ kr}$$

Montagekostnad:

Tiden det tar att brandisolera för R60 är 0,9 h/pelare (Lilliequist, 2009).

$$0,9 \cdot 7 \cdot 10 = 63 \text{ kr}$$

Total kostnad:

$$304 + 48 + 12 + 63 = 427 \text{ kr}$$

R90

Beräkningen görs på samma sätt som ovan.

$$A_{\text{Promatect H 20 mm}} = 0,34 \cdot 3 = 1,02 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Promatect H 6 mm}} = 0,124 \cdot 3 = 0,372 \text{ m}^2$$

Antal skruvdyckert:

<u>Typ</u>	<u>Antal</u>
28x1,5	62 st
50x1,5	62 st

Materialkostnad:

$$\text{Promatect H 12 mm} \rightarrow 500 \cdot 1,02 = 510 \text{ kr}$$

$$\text{Promatect H 6 mm} \rightarrow 130 \cdot 0,372 = 48 \text{ kr}$$

$$\text{Skjutdyckert 28x1,5} \rightarrow 62 \cdot 0,1 = 6 \text{ kr}$$

$$\text{Skjutdyckert 50x1,5} \rightarrow 62 \cdot 0,1 = 6 \text{ kr}$$

Montagekostnad:

Tiden det tar att brandisolera för R90 är 1,05 h/pelare (Lilliequist, 2009).

$$1,05 \cdot 7 \cdot 10 = 74 \text{ kr}$$

Total kostnad:

$$510 + 48 + 6 + 6 + 74 = 644 \text{ kr}$$

4.3.2 Stenullsskivor

Den typ av stenullsskiva som används är Conlit 150. Prisuppgifter har tagits fram genom kontakt med Rockwool AB (Larsson, 2009). Den ekonomiska analysen görs för både brandklass R60 och R90. Beräkningen görs på en VKR-pelare som brandisoleras 3-sidigt med Conlit 150 och den fjärde sidan med 6 mm Promatect H.

Pris Conlit 150:

<u>Tjocklek</u>	<u>Pris/m²</u>
15 mm	55 kr
20 mm	72 kr

Pris på Promatect H 6mm:

<u>Tjocklek</u>	<u>Pris/m²</u>
6 mm	130 kr

Pris på svetsspik:

<u>Typ</u>	<u>Pris/st</u>
Svetsspik	1 kr

R60

Beräkning av den invändiga arean för en 3-sidor inklädd VKR-pelare med Conlit 150, samt area för en sida Promatect H 6 mm. I tidigare avsnitt har vid brandklass R60 räknats fram att 15 mm Conlit 150 behövs.

$$A_{conlit\ 150} = (2 \cdot 0,115 + 0,1) \cdot 3 = 0,99 \text{ m}^2$$

$$A_{Promatect\ H\ 6mm} = 0,13 \cdot 3 = 0,39 \text{ m}^2$$

Montagekostnad:

Tiden det tar att brandisolera med Conlit 150 för R60 är 1,0 h/pelare (Larsson, 2009).

$$1,0 \cdot 7 \cdot 10 = 70 \text{ kr}$$

Materialkostnad:

$$\text{Conlit 150, 15 mm} \rightarrow 0,99 \cdot 55 + 0,39 \cdot 130 = 122 \text{ kr}$$

$$\text{Svetsspik, 64 st} \rightarrow 64 \cdot 1 = 64 \text{ kr}$$

Total kostnad:

$$122 + 70 + 64 = 256 \text{ kr}$$

R90

För R90 beräknas den totala kostnaden precis som för R60 kravet ovan, fast nu har Conlit 150 en tjocklek på 20 mm istället.

$$A_{conlit\ 150} = (2 \cdot 0,12 + 0,1) \cdot 3 = 1,02 \text{ m}^2$$

$$A_{Promatect\ H\ 6mm} = 0,14 \cdot 3 = 0,42 \text{ m}^2$$

Montagekostnad:

Tiden det tar att brandisolera med Conlit 150 för R90 är 1,25 h/pelare (Larsson, 2009).

$$1,25 \cdot 7 \cdot 10 = 88 \text{ kr}$$

Materialkostnad:

$$\text{Conlit 150, 20 mm} \rightarrow 1,02 \cdot 72 + 0,42 \cdot 130 = 128 \text{ kr}$$

$$\text{Svetsspik, 64 st} \rightarrow 64 \cdot 1 = 64 \text{ kr}$$

Total kostnad:

$$128 + 88 + 64 = 280 \text{ kr}$$

4.3.3 Gipsskiva

Gyproc Protect F är den brandgipsskiva som analyseras, med tillhörande Gyproc Pelarhornprofil. Prisuppgifterna är hämtade från Beijer Byggnadsmaterial .

Pris på Gyproc Protect F:

<u>Tjocklek</u>	<u>Pris/m²</u>
15,4 mm	85 kr

Pris Gyproc Pelarhornprofil:

<u>Dimension</u>	<u>Pris/m</u>
25x70 mm	44 kr

Pris på Promatect H 6mm:

<u>Tjocklek</u>	<u>Pris/m²</u>
6 mm	130 kr

Priser på gipsskruv:

<u>Typ</u>	<u>Pris/st</u>
3,25x25	0,2 kr
3,5x41	0,2 kr

Pris på skjutdyckert:

<u>Typ</u>	<u>Pris/st</u>
28x1,5	0,1 kr

Beräkning av total kostnad för de båda brandklasserna

R60

För denna brandklass behövs 1 lager Gyproc Protect F.

Beräkning av den area brandskyddsisolering som måste användas runt pelaren för att ge ett fullgott brandskydd. Även den totala mängden pelarhornprofiler tas fram.

$$A_{Gyproc\ Protect\ F} = (2 \cdot 0,105 + 0,1808) \cdot 3 = 1,75\ m^2$$

$$A_{Promatect\ H\ 6\ mm} = 0,1808 \cdot 3 = 0,54\ m^2$$

$$L_{pelarhornprofil} = 4 \cdot 3 = 12\ m$$

Antal skjutdyckert:

<u>Typ</u>	<u>Antal</u>
28x1,5	62 st

Antal gipsskruv:

<u>Typ</u>	<u>Antal</u>
3,25x25	96 st

Materialkostnad:

$$\text{Gyproc Protect F} \rightarrow 85 \cdot 1,75 = 149\ \text{kr}$$

$$\text{Promatect H 6 mm} \rightarrow 130 \cdot 0,54 = 70\ \text{kr}$$

$$\text{Gyproc Pelarhornprofil} \rightarrow 44 \cdot 12 = 528\ \text{kr}$$

$$\text{Skjutdyckert 28x1,5} \rightarrow 62 \cdot 0,1 = 6\ \text{kr}$$

$$\text{Gipsskruv 3,25x25} \rightarrow 96 \cdot 0,2 = 19\ \text{kr}$$

Montagekostnad:

Tiden det tar att brandisolera för R60 är 1,6 h/pelare (Lilliequist, 2009).

$$1,6 \cdot 7 \cdot 10 = 112\ \text{kr}$$

Total kostnad:

$$149 + 70 + 528 + 6 + 19 + 112 = 884\ \text{kr}$$

R90

Beräkningen görs på samma sätt som ovan fast med 2 lager Gyproc Protect F.

$$A_{Gyproc\ Protect\ F} = (2 \cdot 0,105 + 0,1808 + 2 \cdot 0,1204 + 0,2116) \cdot 3 = 2,53\ m^2$$

$$A_{Promatect\ H\ 6\ mm} = 0,2116 \cdot 3 = 0,63\ m^2$$

$$L_{pelarhornprofil} = 4 \cdot 3 = 12\ m$$

Antal skjutdyckert:

<u>Typ</u>	<u>Antal</u>
28x1,5	62 st

Antal gipsskruv:

Typ	Antal
3,25x25	96 st
3,5x41	96 st

Materialkostnad:

Gyproc Protect F $\rightarrow 85 \cdot 2,53 = 215$ kr
 Promatect H 6 mm $\rightarrow 130 \cdot 0,63 = 82$ kr
 Gyproc Pelarhornprofil $\rightarrow 44 \cdot 12 = 528$ kr
 Skjutdyckert 28x1,5 $\rightarrow 62 \cdot 0,1 = 6$ kr
 Gipsskruv 3,25x25 $\rightarrow 96 \cdot 0,2 = 19$ kr
 Gipsskruv 3,5x41 $\rightarrow 96 \cdot 0,2 = 19$ kr

Montagekostnad:

Tiden det tar att brandisolera för R90 är 1,95 h/pelare (Lilliequist, 2009).

$$1,95 \cdot 7 \cdot 10 = 137 \text{ kr}$$

Total kostnad:

$$215 + 82 + 528 + 6 + 19 + 19 + 137 = 1006 \text{ kr}$$

4.3.4 Sammanfattning av isoleringstjocklekar och kostnader

För att få en överblick av ovan gjorda beräkningar sammanställs här en tabell som visar kostnader och isoleringstjocklek för de två olika brandklasserna.

Tabell 4.1: Sammanställning av isoleringstjocklek och kostnader.

Brandskydd för VKR 100x100x10	R60		R90	
	Tjocklek	Pris/pelare	Tjocklek	Pris/pelare
Fibersilikatskiva	12 mm	427 kr	20 mm	644 kr
Stenullsskiva	15 mm	256 kr	20 mm	280 kr
Brandgipsskiva	1 lager	884 kr	2 lager	1006 kr

4.4 Utvärdering av brandskydd

I detta avsnitt görs en utvärdering av de brandskydd som beskrevs tidigare i avsnitt 4. Utvärderingen behandlar för- och nackdelar rent generellt. I analysen studeras det även hur väl brandskydden som tidigare dimensionerats passar i BAU-HOWs system vid brandklass R90. Utvärderingen behandlar främst:

- Infästning, det vill säga hur lätt man fäster materialet på konstruktionen.
- Mängd material som behövs
- Ekonomi
- Hur stort utrymme brandskyddet kräver.

Här följer ett avsnitt med generella för- och nackdelar för respektive brandskyddsmaterial.

4.4.1 Fibersilikatskivor, Promatect H

Fördelar:

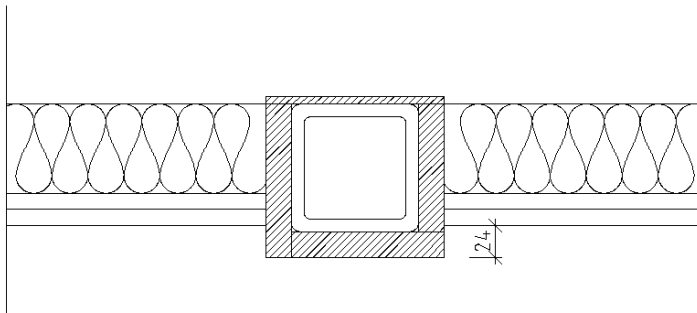
- Dess enkelhet – eftersom det tillverkas i många olika tjocklekar, från 6 mm och uppåt, krävs det bara ett lager för att uppnå fullgott brandskydd. Detta sparar tid.
- Krävs inga monteringsanordningar – fibersilikatskivor är ett hårt material vilket innebär att man kan fästa dessa i varandra, kant till kant – fixering.
- Tar inte upp lika mycket utrymme som de brandskyddsmaterial som kräver monteringsanordningar
- Lätt att ytbehandla.

Nackdelar:

- Dyrt material

Användning av Promatect H för pelarna i BAU-HOWs innerväggar och lägenhetsavskiljande väggar:

- 644 kr för att klä in en VKR 100x100 3-sidigt, med Promatect H 6 mm på baksidan.
- Kräver bara ett lager - minimerar arbetstiden det tar för montering.
- Skivorna fästs i varandra direkt mot pelaren och kräver därför inga monteringsanordningar – sänker både kostnader och sparar utrymme.
- Sticker ut 24 mm i rummet där man vistas, se figur 4.14.
- Går att ytbehandla, vilket är till fördel då pelaren kommer sticka ut i rummet.



Figur 4.13: Brandskyddad pelare i vägg

4.4.2 Brandskyddsfärg

Fördelar:

- Konstruktionen behåller sin naturliga form.
- Tvärsnittet ökar inte i storlek – Tjockleken på den applicerade färgen brukar vanligtvis hamna kring 0,5 – 1 mm.

Nackdelar:

- Kräver förarbete – förarbete i form av blästring och grundmålning krävs, vilket leder till ökade kostnader.
- Inte lämplig att använda för pelare som ska byggas in i en inner- eller yttervägg – eftersom brandskyddsfärg expanderar vid upphettning så måste det finnas utrymme för denna expansion att fortgå utan hinder.
- Enbart brandskyddsfärg som brandisolering fungerar bra upp till R60, sedan behöver man exempelvis öka godstjockleken för att klara högre brandkrav.

Användning av Brandskyddsfärg för pelarna i BAU-HOW's innerväggar:

- Brandskyddsfärg kan med en gång uteslutas som en alternativ brandskyddsmetod. Som tidigare nämnts så krävs det att brandskyddsfärgen kan expandera vid upphettning för att fungera till fullo. Pelarna är som sagt inbyggda i innerväggarna och detta hindrar färgen från att expandera. På grund av detta är brandskyddsfärg olämpligt som brandskyddsisolering på BAU-HOWs stålpelare.

4.4.3 Sprutisolering

Fördelar:

- Ett av det billigaste brandskyddsmaterialet
- Man kan applicera isoleringen med en tjocklek på 5-50 mm.
- Fäster vid alla ytor utan mekanisk fästning.
- Inget nämnvärt materialspill.
- Inga skarvar uppstår.

Nackdelar:

- Blöt och kladdig metod.
- Skadas lätt
- Bättre till balkar än pelare – eftersom pelare ofta är mer utsatta och skadas lättare än balkar.
- Inget vackert slutresultat.

Användning av sprutisolering för pelarna i BAU-HOWs innerväggar och lägenhetsavskiljande väggar:

- Billiga materialkostnader.
- Eftersom en del av pelarna i innerväggarna kommer sticka ut i rummet krävs det att det bildas en hård yta som med lite lättare arbete ska kunna göras estetiskt tilltalande, exempelvis genom spackel. Sprutisolering ger en mjuk yta som slutresultat, vilket leder till att den måste skyddas med någon slags anordning, exempelvis skivmaterial, för att inte skadas under brukstiden. Detta skulle ta onödigt mycket utrymme och kräva onödigt mycket arbetskraft.
- Är att föredra till balkar. I analysen om BAU-HOW's system är det enbart pelarna som analyseras, varvid sprutisoleringen kan ses som olämpligt.

4.4.4 Stenullsskivor, Conlit 150

Fördelar:

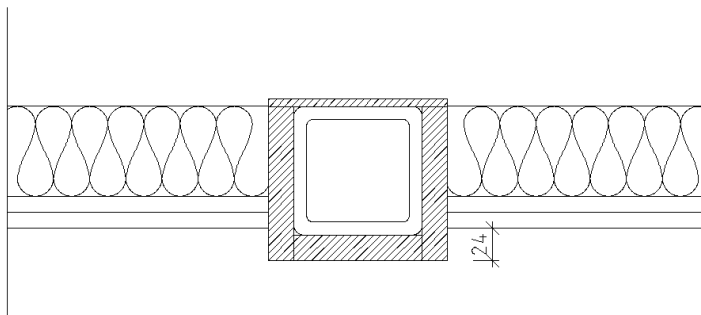
- Om man enbart studerar materialkostnaderna så är dessa relativt gynsamma.
- Har kvar sina brandskyddande egenskaper i mer än 2 h, d.v.s. när temperaturen stigit en bit över 1000 °C.
- Lätt att bearbeta – kan skäras med kniv eller såg.
- Tar lite utrymme – inga monteringsanordningar som tar plats krävs.

Nackdelar:

- Kräver förarbete – svetspinnar måste svetsas fast på stålpelaren innan isoleringen sätts fast.
- Kräver utanpåliggande material – de delar som sticker in i rummet måste skyddas, varvid det sticker ut längre i rummet.
- Dammar.
- Går sönder vid stötar och slag.

Användning av stenullsskivor för pelarna i BAU-HOWs innerväggar och lägenhetsavskiljande väggar:

- 280 kr för att klä in en VKR 100x100 3-sidigt, med Promatect H 6 mm på baksidan.
- Kräver bara ett lager - minimerar arbetstiden det tar för montering.
- Kräver monteringsanordningar – brandisoleringen fästs med svetspinnar som svetsas fast på pelaren innan montering av brandisoleringen. Detta bidrar till ökade kostnader i form av material och arbetstid.
- Sticker ut 24 mm i rummet där man vistas, se figur 4.15.
- Den del som sticker ut i rummet måste kläs in med skivmaterial – kräver både tid och ökade kostnader.



Figur 4.14: Brandskyddad pelare i vägg

4.4.5 Gipsskivor, Gyproc Protect F

Fördelar:

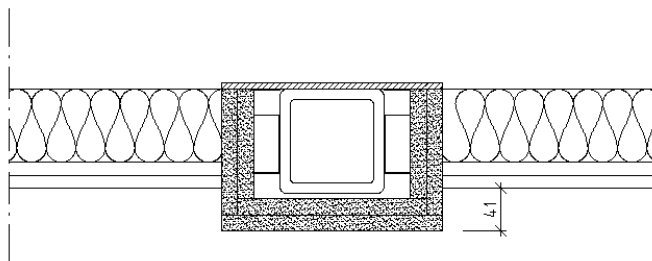
- Kan fås formatsågat så att det är anpassat efter stålkonstruktionen.
- Faller inte sönder, trots att det kemiskt bundna vattnet frigiorts.

Nackdelar:

- Dyrt brandskydd
- På grund av att gips är så pass mjukt så går det inte att skarva ihop gipsskivorna i varandra, därför krävs speciella monteringsanordningar. Monteringsdetaljer såsom hörnprofiler tar tid att sätta dit, såga till rätt längd osv.
- Monteringsanordningar gör att det bildas ett utrymme mellan stålprofil och gipslagret, vilket leder till att stålpelaren kommer att ta större plats.
- För att uppnå brandkravet R90 krävs det 2 lager gipsskivor, vilket innebär att monteringen tar längre tid vilket också ökar kostnaderna.
- Känsligt för stötar och slag.

Användning av Gyproc Protect F för pelarna i BAU-HOWs innerväggar och lägenhetsavskiljande väggar:

- 1006 kr för att klä in en VKR 100x100 3-sidigt, med Promatect H 6 mm på baksidan.
- Kräver monteringsanordningar – gör att monteringen av brandskyddet tar tid och ökar i kostnad.
- Tar mycket utrymme – detta på grund av monteringsanordningarna som tar plast.
- Sticker ut 41 mm i rummet där man vistas, se figur 4.13
- Går att ytbehandla, vilket är till fördel då pelaren kommer sticka ut i rummet.



Figur 4.15: Brandskyddad pelare i vägg

4.4.6 Stålpelare i samverkan med betong

Fördelar:

- Ger ökad bärförmåga.
- Konstruktionen har kvar sitt ursprungliga utseende.
- Låg kostnad i förhållande till konstruktionens nya egenskaper.

Nackdelar:

- Kräver ett större tvärsnitt, hos en VKR, minst 260x260 mm för att fungera som brandskydd, vid ingjutning i pelaren.

Användning av samverkanspelare för pelarna i BAU-HOWs innerväggar och lägenhetsavskiljande väggar:

- Som tidigare nämnts är samverkanspelare direkt opassande i BAU-HOWs system då betongen gjuts inuti pelaren. Detta beror som sagt på att tvärsnitten är så pass små att den lilla betongmängd som skulle fylla stålpelarna inte skulle räcka till att ta upp så mycket energi som krävs för att en temperatursänkning i stålet ska kunna ske.
- Vid gjutning kring pelaren krävs ett betonglager på cirka 50 mm för att uppnå tillräckligt brandskydd – Detta skulle innebära att pelaren hade stuckit ut väldigt mycket i rummet.

En samverkanspelare kan på grund av detta ses som olämplig i BAU-HOWs system.

5 Den nya brandskyddsisoleringen

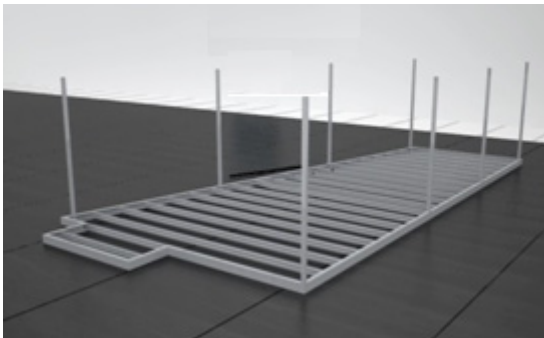
För att få en förståelse om hur den nya brandskyddsisoleringen är tänkt att fungera i BAU-HOWs process görs en kortfattad beskrivning av processen i detta avsnitt. Även en beskrivning av själva brandskyddsisoleringen görs.

5.1 BAU-HOWs process

BAU-HOWs process innebär att man använder sig av en standardiserad tillverkningsmetod för att tillverka moduler, där många moduler tillsammans bildar en hel byggnad. Detta betyder dock inte att slutprodukterna ser lika ut. Beställaren kan i stort sett välja helt själv hur han vill att slutresultatet ska se ut.

Modulerna tillverkas på löpande band i en fabrik som finns i Ventspils, Lettland. Fabrikens storlek är cirka 23000 m² och innehåller ett monteringsband som är cirka 200 meter långt, s.k. BAUS line. BAUS line består av olika stationer där varje station har en speciell uppgift. En station gjuter bjälklaget, medan en annan monterar väggar etc. När modulen har gått igenom alla stationer och den slutligen är färdig ska den transporteras. Modulerna lyfts då, med lyftkran, upp på lastbilar som fraktar modulerna vidare till lastfartyg, som är den billigaste och bästa metoden för att frakta modulerna vidare till de städer där de slutligen ska användas. Innan modulerna lämnar fabriken ska de plastas in med en typ av krympplast, för att skydda modulerna från diverse klimatpåfrestningar under transport.

Innan modulerna börja monteras på BAUS line tillverkar man en stålstomme. Stålstommen består av en bjälklagsram, uppbyggd av u-balkar, där betongbjälklaget sedan gjuts, samt bärande stålpelare, se figur 5.1. Det är just dessa stålpelare som är aktuella för en ny typ brandskyddsisolering.



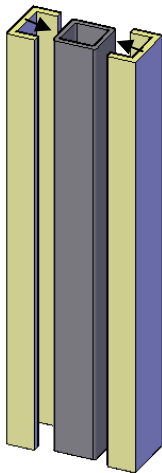
Figur 5.1: Stålstomme (BAU-HOW, 2010)

5.2 Grundtanken kring den nya brandskyddsisoleringen

Tanken med den nya brandskyddsmetoden för stålpelarna är bland annat att minska både materialkostnader och montagetid, samtidigt som byggnadsdelen ska behålla sina brandskyddande egenskaper.

I nuläget används, som tidigare nämnts, Promatect H för att brandskydda stålpelarna i rumsavskiljande och i lägenhetsavskiljande väggar. Då skivmaterial används kan det vara svårt att hantera eventuella avvikelser som kan finnas för en stålpelare, exempelvis att den inte är helt rak eller att den inte har exakt samma tvärsnittsmått längs hela dess längd. Då eventuella deformationer uppstår på en skivinkl dd stålpelare kan skivmaterialet i vanliga fall att skadas. F r de brandisolerade stålpelarna i BAU-HOWs system slipper man dock detta eftersom man lagt till med ett luftgap mellan pelare och Promatect-låda. Grundtanken, för att förbättra ekonomi,  ka toleranser med avseende på avvikelser och deformationer hos stålpelaren och en enklare hantering, var därför att man på något sätt skulle kunna gjuta något brandsäkert material direkt på stålpelaren, lämpligtvis någon form av gipsmassa. En massa som gjuts direkt runt en stålpelare borde följa stålpelarens deformationer etc. bättre än skivor och sedan gå tillbaka tillsammans med stålpelaren då lasten tas bort.

En liknande metod finns redan idag på marknaden, denna metod innebär dock inte att man gjuter direkt kring pelaren. Istället tillverkas färdiga gipselement som i två delar omsluter exempelvis en VKR-pelare och därmed brandisolerar stålkonstruktionen, se figur 5.2. F r typgodkännande och varuinformation av dessa gipselement, se bilaga 7. Tillverkningen av färdiga element  r ganska primitiv och tar tid, vilket leder till höga tillverkningskostnader.

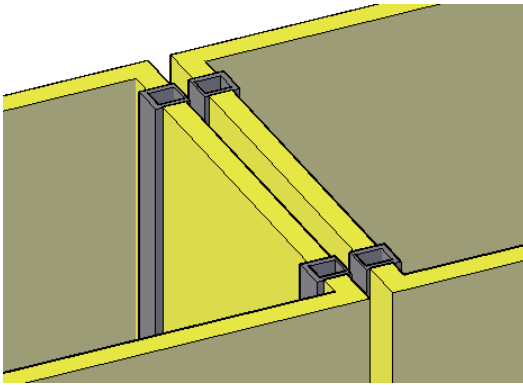


Figur 5.2: Pelare inklädd med brandgipselement

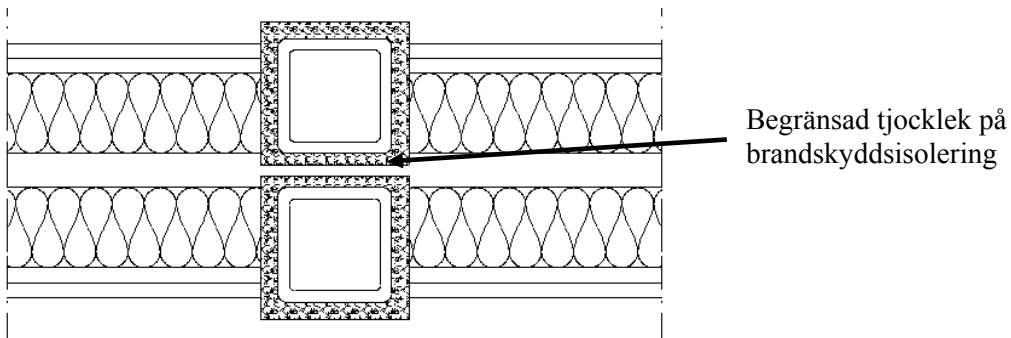
Genom att använda sig av samma beståndsdelar som används för att tillverka de färdiga gipselementen, skulle man istället kunna gjuta direkt kring stålpelaren, genom att först förse denna med en typ av gjutform. Detta skulle ske genom att ta fram en rationell tillverkningsmetod inom BAU-HOW som är anpassad till gjutning kring stålpelarna, vilken skulle minska kostnaderna avsevärt. Även lagerhanteringen skulle bli enklare eftersom man istället bara behöver lagra en sorts gipsmassa, inklusive gjutformar, istället för att lagra flera olika skivor med tillhörande infästningar och så vidare.

Brandgipsmassan fungerar på likande sätt som gipsskivor då de utsätts för en brand, detta förklaras i avsnitt 4.1.5.

De pelare som är aktuella för den nya brandskyddsisoleringen  r placerade längs modur nderna i innerväggar eller lägenhetsavskiljande väggar, se figur 5.3. Utrymmet mellan modulerna  r begränsat varvid även tjockleken på brandskyddsisoleringen blir begränsad, se figur 5.4, och f r maximalt uppgå till 10 mm. Anledningen till att man vill begränsa tjockleken på brandskyddsisoleringen just här  r att man vill undvika att modulerna kolliderar med varandra vid montage. Montaget kräver även ett visst spelrum mellan modulerna eftersom pelarna kan vara något böjda. Utrymmet mellan modulerna beror alltså mest på att man vill uppnå ett säkrare montage, men det  r även positivt ur ett akustiskt perspektiv. Att pelarna i de olika modulerna inte har kontakt med varandra leder till att stomljud inte kan vandra från en modul till en annan.



Figur 5.3: Moduler ihopsatta



5.4: Visar vart det begränsade utrymmet finns

Rent brandtekniskt skulle det inte behövas någon brandskyddsisolering på de sidor av pelarna som m ts eftersom väggen där pelarna  r inbyggda i sig själv  r brandisolerande. Valet att gjuta ett kontinuerligt lager kring hela stålpelaren beror på att massan kommer sitta mycket bättre då gentemot att bara gjuta kring tre utav pelarsidorna. Dessutom ger det en extra säkerhet med brandskydd på den fjärde sidan.

5.3 Alternativa metoder för gjutning kring stålpelare

Det finns två alternativa metoder som kommer att analyseras med avseende på hur själva gjutningen kring stålpelaren kan gå till. Den ena metoden innebär att stålpelarna gjuts in med brandskyddet innan dess att de svetsas fast på bjälklagsramen i figur 5.1. Den andra metoden innebär att stålpelarna först svetsas fast på bjälklagsramen och därefter gjuts in med brandskyddet.

Metoden där stålpelarna brandskyddas efter att de svetsats fast kring stålramen skulle innebära att gjutningen sker på en stående pelare. Detta innebär i sin tur att brandgipsmassan måste hållas i ovanifrån, och alltså fylla upp gjutformen kring en 3-meters pelare. De komplikationer som skulle kunna uppstå med denna metod är att brandgipsmassan inte är tillräckligt flyktig och inte kommer breda ut sig kring hela stålpelaren. På grund av den höga gjutformen och därmed den höga fallhöjden för gipsmassan kan luftbubblor uppstå under gjutningen. Luftbubblor och hålrum skulle sänka brandgipsmassans brandskyddande egenskaper. En fördel med denna metod är att man slipper hantera redan brandskyddade stålpelare, vilket skulle behöva ske med stor försiktighet då brandskyddet inte får skadas. En annan fördel är att härdningen av brandgipsmassan kan ske under tiden som betongbjälklaget härdar. Någon extra tid för brandgipsmassans härdning behövs alltså inte. Ytterligare en fördel är att det är lättare att komma åt att svetsa om brandskyddet ej sitter på då pelaren monteras.

Vid den andra metoden, det vill säga gjutning före ditsvetsning av stålpelare, skulle vissa problem som kan uppstå vid den första metoden kunna undvikas. Om stålpelaren inte är fastsvetsad innebär detta att gjutningen skulle kunna ske då pelaren är liggande. Fallhöjden hos brandgipsmassan blir då inte lika hög och luftbubblor och hålrum uppstår med all sannolikhet inte lika lätt. En nackdel med denna metod är att brandgipsmassan måste härda innan stålpelarna svetsas på stålramen, vilket kan kräva onödig tid. Andra problem som kan uppstå är både själva lyftet och själva svetsningen då stålpelaren ska sättas fast. Eftersom stålpelaren är kringgjuten med brandgipsmassa gäller det att lyftet sker med stor försiktighet, eftersom en eventuell skada minskar dess brandskyddande egenskaper och leder till onödigt arbete i form av reparationer. Problem kommer även att uppstå då stålpelaren ska svetsas fast i stålramen. Eftersom pelaren är kringgjuten med brandgipsmassa kommer det inte bli lika lätt att komma åt för svetsning som om när en fri pelare ska sättas fast.

Den effektivaste metoden för BAU-HOWs produktion är, med ovan förda diskussion, den första metoden, det vill säga att stålpelarna gjuts då de sitter fast på stålramen. Skulle metoden fungera skulle den både spara tid och inte skapa lika många osäkerhetsmoment. Det kan även tilläggas att logistiken skulle vara effektivare med denna metod. Man slipper lagerföra de färdiggjutna stålpelarna under tiden som de härdar. Detta skulle ta stor plats eftersom många stålpelare måste gjas samtidigt och nygjutna stålpelare inte kan staplas tätt intill varandra. För denna metod gäller att analysera huruvida den stora fallhöjden av brandgipsmassan påverkar slutresultatet. Skulle det visa sig att det inte går att gjuta stålpelarna med denna metod får den andra metoden analyseras mera.

5.4 Riskanalys

En riskanalys har gjorts för att ta fram möjliga risker som kan uppstå under tillverkningen och användandet av brandskyddet på pelarna i BAU-HOWs system. Riskanalysen togs fram under en Workshop där inolverade i projektet från BAU-HOW var närvarande. Utifrån denna riskanalys kommer studier och laborationer göras för att kunna stärka respektive bortse från riskerna som kan uppstå under processens gång.

Brandgipsmassans gjutegenskaper

Innan tillverkning av gjutform sker måste den färdigblandade brandgipsmassans konsistens kontrolleras. Detta för att s kerhetst lla hurvida tät gjutformen måste vara.  r konsistensen väldigt rinnig måste gjutformen vara nästan helt tät, medan en tjockare och mer trögflytande konsistens bidrar till en inte lika tät och därmed en inte lika noggrann gjutform.

Tillverkning av gjutform

Eftersom tjockleken på brandskyddet inte kommer vara samma runt om hela pelaren så måste en gjutform tillverkas som tar hänsyn till detta. Utan någon form av fixtur kommer inte önskade tjocklekar att kunna uppnås eftersom både gjutform och stålpelare kan flyttas i sidled då brandgipsmassan h lls i.

Blandning av brandgipsmassa

H r bör läggas fokus på om det behövs några specialverktyg för att blanda brandgipsmassan och hur lätt den  r att blanda till en jämn konsistens. Om man blandar ihop brandgipsmassa till exempelvis 5 stålpelare, måste då denna brandgipsmassa användas med en gång eller kan man blanda större satser som varar en längre tid? Kanske brandgipsmassan rent av måste användas fortlöpande som den blandas för att inte hinna h rda.

Arbetsmiljö

Eftersom brandgipsmassan ska användas direkt i fabriken måste man kontrollera hur denna kan påverka arbetsmiljön. Behövs det någon form av skyddsutrustning för blandning och gjutning på stålpelarna, som exempelvis måste skydda mot hudkontakt, inhalering av dammpartiklar och så vidare? Kan det uppstå några farliga arbetsmoment under själva gjutningsmomentet?

Gjutning

Under gjutning kan det uppstå problem som luftbubblor och hålrum, vilka skulle sänka brandgipsmassans brandskyddande egenskaper, men också dess hållfasthet. Det gäller att under en provgjutning kontrollera huruvida det uppstår luftbubblor och hålrum eller ej. En annan risk som kan uppstå under gjutningen  r att brandgipsmassan  r så pass trögflytande att den inte flyter ut kring hela stålpelaren. Eftersom den nya brandskyddsmetoden enbart är aktuell för stålpelarna i BAU-HOWs innerväggar och i de lägenhetsavskiljande väggarna, det vill säga där två moduler m ts så finns det alltså begränsat med utrymme mellan modulerna. För att

brandgipsmassan ska sitta fast ordentligt kring stålpelaren gäller det att det gjuts runt om denna. Det skikt som finns på ”baksidan” av pelare har ingen funktion rent brandtekniskt, utan mer ur ett h llfasthetsperspektiv. Detta skikt f r maximalt vara 10 mm och därav kan komplikationer uppst a vid gjutning. Så frågan  r om det g r att gjuta ett så pass tunt skikt och att gipsmassan fortfarande sitter kvar efter att gjutformen tas bort.

Avl gsning av form

Prover måste göras för att kontrollera vilken härdningstid som krävs innan gjutformen kan plockas bort.  r denna f r lång kan det sinka produktionstakten f r BAU-HOW.

En kontroll måste göras för att se hur pass lätt det  r att avlägsna gjutformen då brandgipsmassan härdat klart. Det gäller att brandgipsmassan inte fastnar på gjutformen och därmed förstörs då denna avlägnas. Förmodligen måste gjutformen smörjas in med någon typ av formolja innan gjutningen påbörjas.

Lyfta färdiggjutna stålpelare på plats

Om brandgipsmassan gjuts på innan pelaren svetsas fast på stålramen måste pelaren lyftas på plats och detta lyft kan göra att p gjutningen skadas av antingen stötar eller genom deformationer. Måste gjutningen ske på detta sätt måste detta analyseras.

Fastsvetsning av färdiggjutna stålpelare

Då en f rdiggjuten pelare ska svetsas fast måste en kontroll göras så att inte brandskyddet tar skada vid svetsning. En tänkbar faktor som kan skada pelaren  r värmen som förekommer vid svetsning.

Deformationer

En stålpelare ingjuten i brandgipsmassa kan inte deformeras lika mycket som en ren stålpelare eftersom brandskyddsisoleringen då kan ta skada. Deformationer i stålpelarna kommer kunna uppst a då modulerna transporteras. Det  r även svårt att placera stålpelarna helt vertikalt då de sätts fast i stålramen. Detta beror på den mänskliga faktorn, men också på grund av att en stålpelare inte alltid tillverkas helt raka. På grund av detta kommer den övre pelar nden ibland behöva förskjutas cirka 10 mm sidled för att taket ska kunna passas in. Kommer en sådan förskjutning att kunna ske utan att brandskyddsisoleringen skadas?

Klimatp frestningar

Brandgipsmassan kommer utsättas för många olika klimatförhållanden, framför allt under transport. En risk med detta  r att hållfastheten skulle kunna minska då det utsätts för höga relativa fuktigheter eller låga temperaturer. För att utreda detta bör någon form av klimattest utföras på brandgipsmassan.

Brukstiden

Givetvis finns det en risk att brandskyddsmassan kommer utsättas för stötar och slag under tillverkningen, men även under brukstiden av byggnaderna, eftersom pelarna kommer sticka in en bit i rummen. Hur känslig  r brandgipsmassan f r stötar och slag och framförallt hur lätt  r den att laga då en skada uppstått.

6 Dimensionering av det nya brandskyddet

6.1 Erforderligt brandskyddstjocklek vid 3-sidig brand

Det nya brandskyddet jämförs med de befintliga brandskydden som beskrivits tidigare. Beräkningarna görs för en VKR 100x100x10 samt en VKR 100x100x5 där pelarna antas vara utsatta för brand på tre av de fyra sidorna. Brandskyddsisoleringen skyddar pelaren runt om. Dock består baksidan av en mindre tjocklek, av samma anledning som beskrevs i avsnitt 5.2. Tekn. Dr Jörgen Thor har med hjälp av rapport från SP, Provnings- och Forskningsinstitut, tagit fram F/A-diagram som anger vilken tjocklek på brandskyddet som behövs då den kritiska ståltemperaturen är 500 °C, se bilaga 4. Den kritiska ståltemperaturen som tidigare togs fram var 550 °C, dock kommer man nu att hamna på den säkra sidan.

Beräkningen av isoleringstjocklek görs med hjälp av dimensionering av klassificerade produkter, se avsnitt 3.2.

VKR 100x100x10

Beräkning av F/A-faktorn:

$$F = 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ m}$$

$$A = 0,00349 \text{ m}^2$$

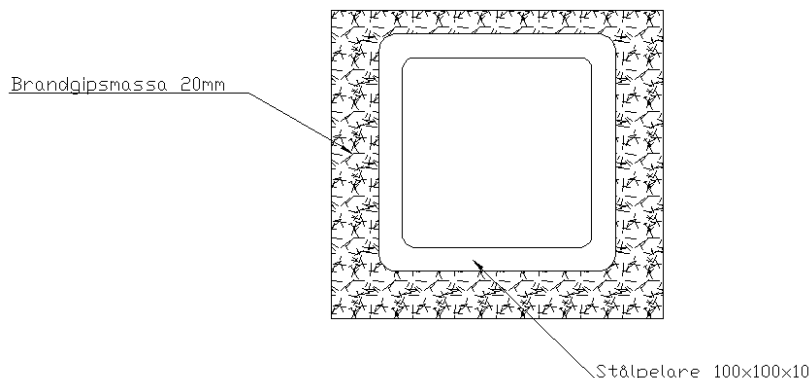
enligt (Isaksson & Mårtensson, 2006)

$$\frac{F}{A} = \frac{0,3}{0,00349} = 86 \text{ m}^{-1}$$

Nu kan avläsning göras i diagram, se bilaga 4.

<u>Brandklass</u>	<u>Isoleringstjocklek</u>
R60	15 mm
R90	20 mm

Figur 6.1 visar hur man med brandgipsmassa brandskyddar en VKR-profil.



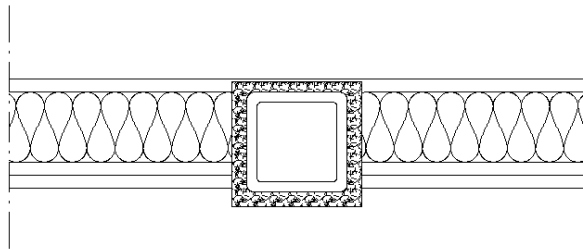
Figur 6.1: Pelare ingjuten med brandgipsmassa runt om, R90

Om en VKR 100x100x5-pelare används, dvs. en pelare med en mindre godstjocklek kommer F/A-faktorn att öka och detta leder i sin tur till att även isoleringstjockleken kan komma att öka. Om dimensioneringen görs som ovan blir isoleringstjocklekarna följande:

<u>Brandklass</u>	<u>Isoleringstjocklek</u>
R60	15 mm
R90	25 mm

6.2 Erforderligt brandskyddstjocklek för BAU-HOWs fall

När tjockleken på brandskyddet ovan räknades fram antogs pelaren vara brandutsatt från 3-sidor. Detta beskriver inte riktigt det verkliga fallet eftersom pelarna i BAU-HOWs- system till stor del är inbyggda i väggen. Den ovan gjorda 3-sidiga dimensioneringen är utförd för att en enklare jämförelse med de befintliga brandskydden skall kunna göras. För att få fram ett mer verkligt fall, som tar hänsyn till att pelaren är integrerad i väggen, har en branddimensionering gjorts för just detta fall. Denna mer avancerade beräkning har utförts av Tekn. Doktor Jörgen Thor.



Figur 6.2: Pelare inbyggd i vägg

Beräkningen är utförd på en VKR 100x100x10-pelare, där tre av pelarsidorna består av ett 15 mm tjockt lager brandgipsmassa och den fjärde pelarsidan 10 mm med pelaren inbyggd i väggen, se figur 6.2. Beräkningarna visar att efter två timmars brand ligger ståltemperaturen på ca 550°C i medeltal vilket innebär att bärförmågan i stort sett uppgår till R120, för resultat av beräkning, se bilaga 5. För att uppfylla BAU-HOWs krav på R90 med en brandskyddstjocklek på 15 mm kan man genom liknande beräkning få fram att ståltemperaturen kommer ligga på ca 350 °C. I och med denna relativt låga temperatur i stålet gentemot vad stålpelaren klarar av skulle man kunna minska tjockleken på brandskyddet, men detta kommer inte göras eftersom brandgipsmassan har bättre hållfasthet då den är lite tjockare. (Thor, 2010)

7 Provning av det nya brandskyddet

Här beskrivs relevanta provningar av brandgipsmassan, med avseende på BAU-HOWs tillämpningar. För att kontrollera brandgipsmassans gjutegenskaper görs en provgjutning och därefter tester som kontrollerar deformationsegenskaper, hållfasthet, akustikegenskaper samt hur den påverkas av olika klimat.

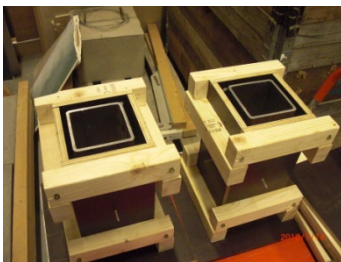
7.1 Provgjutning

En provgjutning gjordes för att kontrollera brandgipsmassans egenskaper under själva gjutningen.

7.1.1 Framtagning av gjutningsmetod

För att veta hur provgjutning ska gå till på en 3-meters pelare togs först fram en gjutningsmetod för pelare i mindre skala. Brandgipsmassan består av brandgipspulver och vatten. Det är därför viktigt att få fram rätt proportioner vatten och brandgipspulver för ändamålet. Eftersom brandgipsmassan ska gjas mellan stålpelare och gjutform krävs att den varken blir för rinnig eller för tjock. Konsistensen ska vara sådan att brandgipsmassan lätt rinner ner och fördelar sig kring stålpelaren, samtidigt som den inte får vara så rinnig att den kan leta sig ut genom springor i gjutformen. Proportionerna som användes vid den första provblandningen var 1 del gipspulver och 0,7 delar vatten angivet i kg. För att få en jämn och fin brandgipsmassa utan klumpar krävdes det att blandningen pågick i cirka 5 minuter. Blandningstiden varierar givetvis beroende på vilka volymer man talar om. När själva brandgipsmassan är färdigblandad bör den gjas inom 30 minuter, eller hela tiden vara i rörelse för att inte härda.

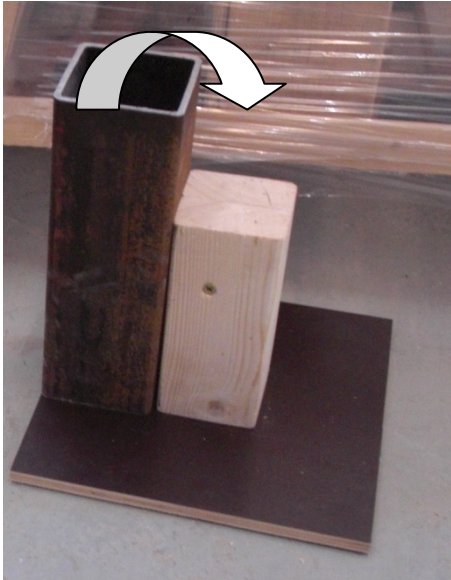
Brandgipsmassan skall gjas utanpå en stålpelare. För detta krävs en gjutform som omsluter stålpelaren och denna tillverkades av formplywood och regler för att hålla ihop formen, se figur 7.1. Gjutformen konstruerades så att brandgipslagret skulle bli 15 mm på tre av sidorna och endast 10 mm på den fjärde. Detta är en kritisk punkt och det som måste kontrolleras här är om det går att gja ett så tunt lager som 10 mm.



Figur 7.1: Gjutform av formplywood

För att stålpelaren inte ska förflytta sig då brandgipsmassan hälls i gjutformen måste denna fixeras. Detta gjordes genom att fästa en träpelare, som precis passar i stålpelaren, i den undre plattan av gjutformen, se figur 7.2. För att försäkra sig om att

brandgipsmassan inte fastnar i gjutformen då denna skall tas bort försågs denna med formolja, som applicerades med en vanlig m larpensel före gjutning.



Figur 7.2: Fixtur f r centrering av stålpelare

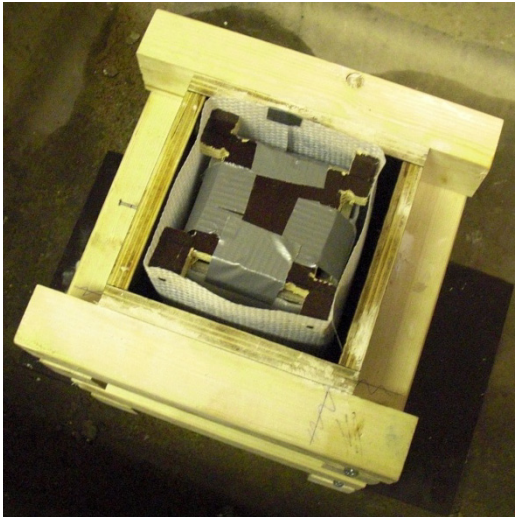
När allt förarbete är klart ska brandgipsmassan gjudas utanpå stålpelaren och blandningen av brandgipsmassan h lls genom öppningen som bildas mellan stålpelare och gjutform. Under tiden som brandgipsmassan hälldes i gjutformen vibrerades denna med en vibratorstav för att undvika att eventuella luftfickor uppstod. Brandgipsmassan rann lätt ner mellan pelare och gjutform och några större läckage ut ur gjutformen kunde inte observeras.

Efter avslutad gjudning fick den f rdiggjudna pelaren h rda och efter cirka 6 timmar plockades gjutformen bort. Formen var inga problem att avlägsna från pelaren och resultatet blev väldigt bra. En jämna och fin yta kunde ses, dock var massan fortfarande något mjuk, fast inte värre än att brandgipsmassan h ll ihop. Efter ytterligare ett halvt dygn kunde man höra ett metalliskt ljud då man knackade på brandgipsmassan, vilket bevisade att den härdat ytterligare. Den tunna sidan, som hade en tjocklek på 10 mm hade samma struktur som de övriga sidorna, vilket påvisade att ett sådant tunt lager inte är några problem att få till.

Av resultatet att döma kan även denna gjudningsmetod komma att fungera för en fullskalig pelargjudning. Proportionerna vatten och brandgipspulver kommer alltså även i forts tningen vara 0,7 delar vatten och 1 del brandgipspulver, angivet i kg.

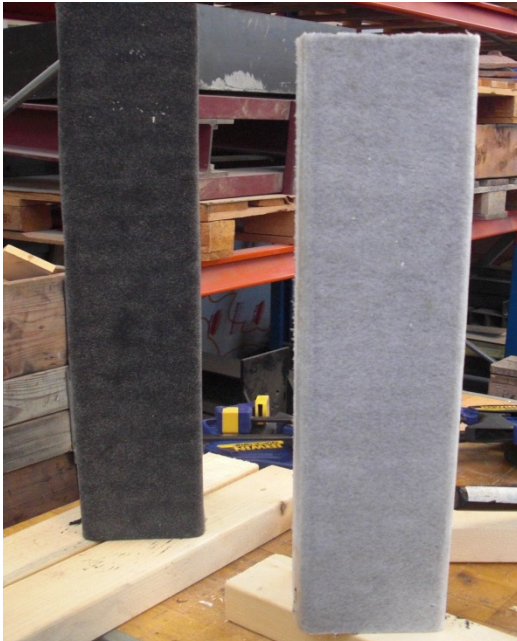
Även en provgjudning innehållande armering, i form av glasfiberväv, skulle göras för att  ka brandgipsmassans hållfasthet. För att armeringen skall ha någon funktion krävs det att den placeras i mitten av brandgipslagrets tjocklek och att man sedan håller i brandgipsmassan på båda sidor om glasfiberväven, se figur 7.3. Denna

procedur var dock väldigt svår att få till. Resultatet blev att glasfiberväven mjuknade och flyttades då brandgipsmassan hälldes i. Särskilt dåligt resultat blev det på den sida där brandgipslagret bara skulle vara 10 mm. Den fortsatta gjutningen gjordes därför utan glasfiberväv där kontroller av brandgipsmassans hållfasthet görs. Skulle det visa sig att en extra armering är nödvändig kommer gjutningsmetoden och sättet att fästa glasfiberväven på studeras mer noggrant.



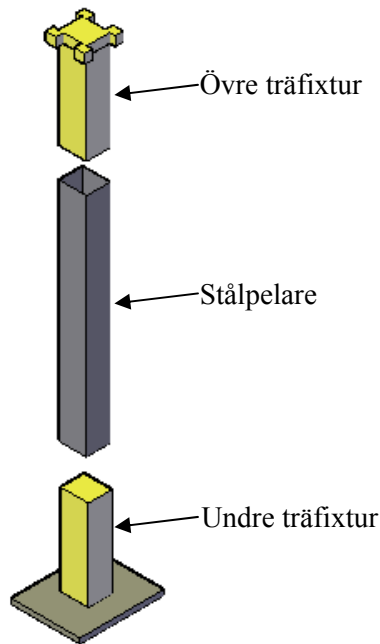
Figur 7.3: Placering av glasfiberväv

För framtida akustiktest gjordes även provgjutningar genom att gjuta in ett dämpningsmaterial kring pelaren. De två varianter av akustikdämpare som kontrolleras är foamplast och asfaltpapp. Själva gjutningen följde metodiken som beskrevs ovan, fast med skillnaden att stålpelaren först kläddes in med foamplast respektive asfaltpapp innan gjutning, se figur 7.4. Foamplasten sattes fast, i ett lager, på pelaren med hjälp av epoxylim. För att få en så liten skarv som möjligt placerades ändarna med någon millimeters överlapp. Liknande metod användes för att klä in pelaren med asfaltpapp, dock ersattes epoxylimmet med asfaltlim som penslades på pelaren innan asfaltpappen sattes fast. Pelaren med foamplast kunde gjutas nästan direkt efter att foamplasten limmats dit eftersom limmets torktid bara är någon timme. Pelaren med asfaltpapp fick dock vänta ett dygn innan gjutning. Även denna gjutning fungerade bra och brandgipsmassan satt fast bra kring båda pelartyperna.



Figur 7.4: T.v. pelare inklädd med asfaltpapp. T.h. pelare inklädd med foamplast

En metod för att gjuta småskaliga pelare har nu tagits fram med ett bra gjutresultat. För BAU-HOW kommer pelarna ha en höjd på cirka 3 meter. Därför är det viktigt att även kontrollera huruvida det är möjligt att använda samma gjutningsmetod för en sådan pelare. Själva gjutformen tillverkades på samma sätt som för de småskaliga pelarna, dock blev själva fixturen något annorlunda för detta fall. För att brandgipsmassan ska få samma tjocklek längs hela pelaren gäller det att den fixeras i både den nedre och den övre änden så att den inte flyttas då man håller i brandgipsmassan. Detta löstes genom att tillverka en konstruktion enligt figur 7.5. I underkant fixeras stålpelaren med en träfixtur med stålpelarens innermått som står på en bottenplatta där stålpelaren träs på. Likaså fixeras stålpelarens övre ände med en träfixtur som trycks ner i denna. För att gjutformen ska komma på rätt avstånd från pelaren skruvas formplywood-skivorna dikt an mot den övre träfixturen. Formen på den övre fixturen leder till att man fortfarande har möjlighet att hålla ner brandgipsmassan trots att formplywooden skruvats direkt mot denna. Det färdiga gjutformskomplexet åskådliggörs i figur 7.6.



Figur 7.5: Fixering av pelare



Figur 7.6: Gjutform till 3-meters pelare

För att gjuta runt en 3-meters pelare med 15 mm tjockt brandgipsskikt på tre av sidorna och 10 mm på den fjärde sidan krävdes det cirka 0,019 m³ färdigblandad brandgipsmassa. 0,019 m³ färdigblandad massa innebär cirka 19 kg brandgipspulver och 13 liter vatten. F r dessa stora mängder valdes en blandningsapparat där stora volymer kan blandas, se figur 7.7.



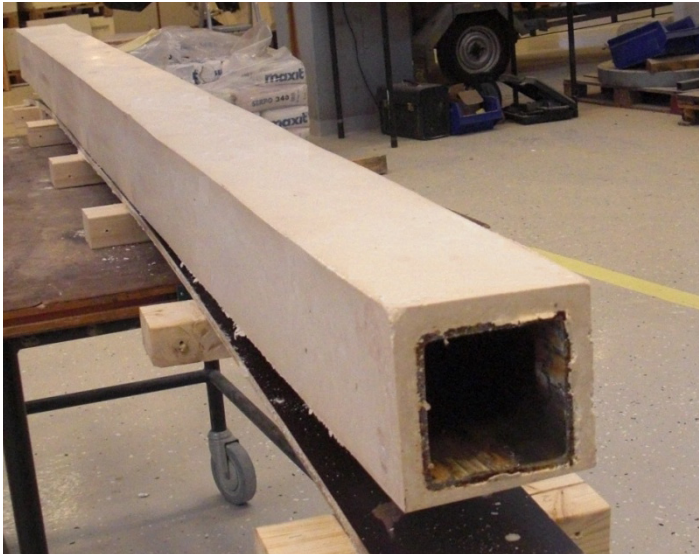
Figur 7.7: Maskin för blandning av brandgipsmassa

Kärllet i figur 7.7 fylldes först med vatten och sedan hällades allt brandgipspulver i på en gång. Det som observerades var att dessa stora mängder klumpade sig en del. Genom att istället hälla i en mindre mängd brandgipspulver åt gången kan klumpar undvikas och istället kan en jämn och fin brandgipsmassa fås.

Själva gjutningen följde samma metodik som för de småskaliga pelarna. Brandgipsmassan hällades i ovanifrån då pelaren var stående, enligt figur 7.5. Under gjutningens gång användes en vibratorstav som vibrerades på utsidan av formen, för att undvika eventuella luftfickor.

Efter cirka 2 dygn plockades gjutformen bort. Inte heller denna gång var det några problem att avlägsna formplywooden. Dock uppstod det ett problem då träfixturen skulle plockas bort. På grund av att pelaren är så hög som 3 meter uppstår det ett tryck längst ner i gjutformen. Det är då oundvikligt att en liten del av brandgipsmassan trycks in innanför stålpelaren och suggs upp av träfixturen, vilket gör att denna sväller och därmed kilas fast i stålpelaren. Detta kommer undvikas i BAU-HOWs system eftersom en mer effektiv fixtur kommer att tas fram, av ett material som inte kan svälla vid uppfuktning.

Resultatet av den ingjutna stålpelaren blev väldigt bra, vilket visas i figur 7.8.



Figur 7.8: Stålpelare brandskyddad med brandgipsmassa.

Nu har gjutningsmetodikerna alltså tagit fram för ingjutning av en stående 3-meters pelare. Det visade sig att gjutning på en stående pelare fungerar bra. Detta motsvarar alltså det fall då stålpelarna, i BAU-HOWs tillverkning, gjuts efter det att de svetsats fast på modulens stålram. Tidigare diskuterades även att gjutningen skulle kunna ske liggande, det vill säga innan stålpelarna svetsats fast i bjälklagsramen. Dock är

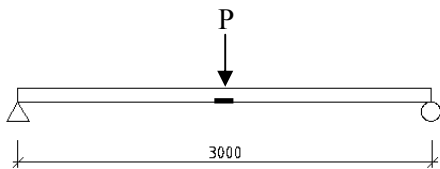
fördelarna större med stående gjutning och eftersom detta fungerade bra, utan några komplikationer, kommer liggande gjutning att uteslutas. Nu återstår att göra tester som verifierar att brandgipsmassan uppfyller sin funktion.

7.2 Deformationstest

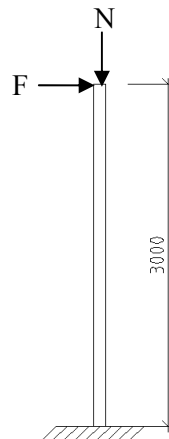
Här kommer de laster som kan komma att påverka stålpelarna i BAU-HOWs moduler och därmed brandgipsmassan, att behandlas. Sannolika laster och utböjningar tas fram och dessa testas genom ett praktiskt deformationstest. Deformationstestet utförs på en 3-meters VKR-pelare 100x100x5 mm som är ingjuten med brandgipsmassa, med 15 mm på tre av sidorna och 10 mm på den fjärde.

7.2.1 Beskrivning av testet och dess utförande

För att kontrollera hur stor deformation en ingjuten pelare kan utsättas för, innan gipsmassan tar skada, utfördes ett deformationstest på en 3 meter fritt upplagd balk, se figur 7.9. Anledningen till att deformationstestet inte ser ut som i det verkliga fallet, figur 7.10, beror på att det är mer komplicerat att utföra ett sådant deformationstest. Både förberedelserna och själva testet går mycket enklare att utföra på en fritt upplagd balk.



Figur 7.9: Fritt upplagd balk



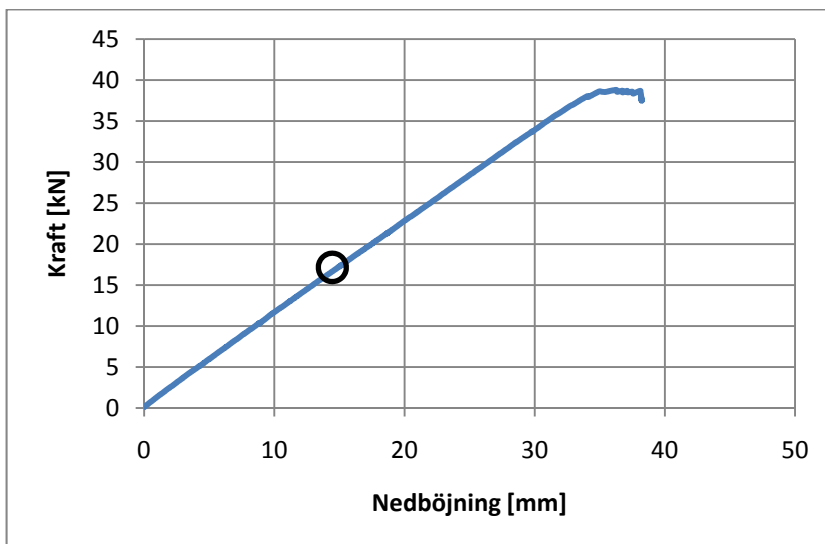
Figur 7.10: Fast inspänd pelare

När belastningen läggs på dokumenteras den aktuella kraften P och dess tillhörande nedböjning v kontinuerligt. Då gipsmassan spricker så pass mycket att den inte längre ser funktionell ut avbryts testet. Det område som observeras mest noggrant kommer att vara mitt på balkens undersida, där gipsmassan utsätts för de största dragspänningarna. Provanordningen och den belastade balken visas i figur 7.11.

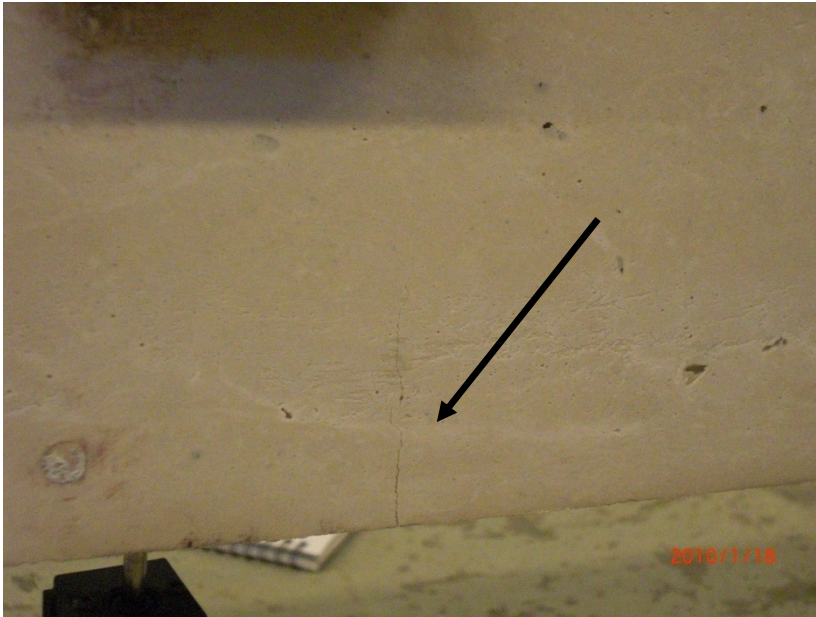


Figur 7.11: Fritt upplagd balk vid deformationstestet

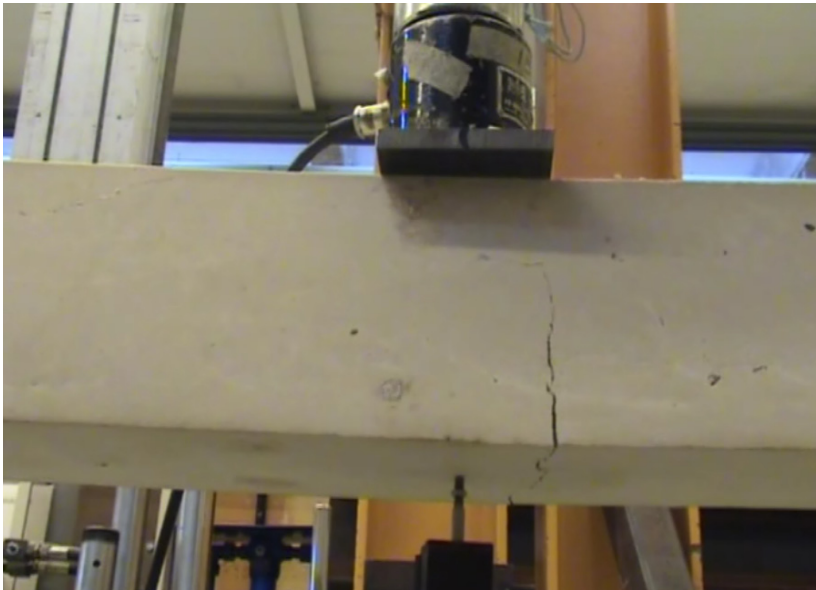
Resultatet av deformationstestet redovisas i figur 7.12, som visar nedböjningen av balken som funktion av den pålagda kraften. Genom okulär kontroll under pågående test observerades att sprickor började bildas då den verkande kraften var cirka 17,5 kN och vid detta tillfälle var nedböjningen cirka 15 mm. Figur 7.13 visar den först uppkomna sprickan i brandgipsmassan och figur 7.14 visar hur sprickorna har utvecklats då stålet börjat flyta.



Figur 7.12: Deformationskurva med avseende på kraft och nedböjning



Figur 7.13: Första observerade sprickan

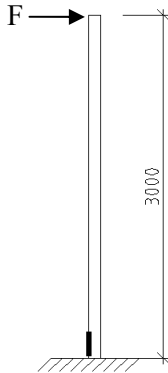


Figur 7.14: Balkens utseende då stålet flyter

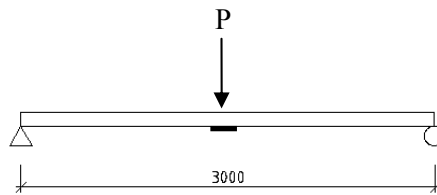
Det kan påpekas att sprickorna går tillbaka då lasten tas bort, det vill säga att brandgipsmassan behåller sin brandtekniska funktion trots att den utsatts för tillfälliga deformationer.

7.2.2 Beräkningar baserade på mätdata från deformationstest

Nedan beräknas töjningskapaciteten hos brandgipsmassan på en fast inspänd pelare, se figur, 7.15. Beräkningar görs först på en fritt upplagd balk, se figur 7.16, den balk deformationstestet utfördes på. Den maximala töjningen som den fritt upplagda stålbalcken kan utsättas för innan gipsmassan spricker bestäms på basis av försöken.



Figur 7.15: Fast inspänd pelare



Figur 7.16: Fritt upplagd balk

Fritt upplagd balk

Med hjälp av den maximala kraften P som uppstår precis innan sprickorna uppstår kan momentet M_{mitt} räknas ut genom:

$$M_{mitt} = \frac{PL}{4} = \frac{17,5 \cdot 10^3 \cdot 3}{4} = 13,1 \text{ kNm}$$

Med hjälp av momentet, M_{mitt} och böjmotståndet W kan spänningen i mittsnittet tas fram:

$$\sigma = \frac{M_{mitt}}{W} = \frac{M_{mitt}}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{13,1 \cdot 10^3}{2,79 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{0,1}{2} = 234,8 \text{ MPa}$$

Den maximala töjningen i underkant av balkmitt innan gipsmassan spricker ges av:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma}{E} = \frac{234,8 \cdot 10^6}{210 \cdot 10^9} = 1,12 \cdot 10^{-3} = 1,12 \text{ ‰}$$

Fast inspänd pelare

Den största töjningen i stålet då en fast inspänd pelare belastas med en horisontell last i den fria änden kommer att uppstå längst ner vid inspänningen, se fetmarkering figur 7.15. På grund av detta är det även här brandgipsmassan kommer att utsättas för den största töjningen.

Här kommer att beräknas maximal utböjning, v_{max} och maximal kraft, P som brandskyddsgipsmassan håller för.

$$v_{max} = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$P = \frac{M}{L}$$

Maximal spänning ges av:

$$\sigma = E\varepsilon_{max} = 210 \cdot 10^9 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3} = 235,2 \text{ MPa}$$

Momentet ges av:

$$M = \frac{2\sigma I}{h} = \frac{2 \cdot 235,2 \cdot 10^6 \cdot 2,79 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 13,12 \text{ kNm}$$

Beräkning av maximal kraft:

$$P = \frac{M}{L} = \frac{13,12 \cdot 10^3}{3} = 4,37 \text{ kN}$$

Beräkning maximal utböjning fast inspänd pelare:

$$v_{max} = \frac{PL^3}{3EI} = \frac{4,37 \cdot 10^3 \cdot 3^3}{3 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,79 \cdot 10^{-6}} = 0,067 \text{ m} = 67 \text{ mm}$$

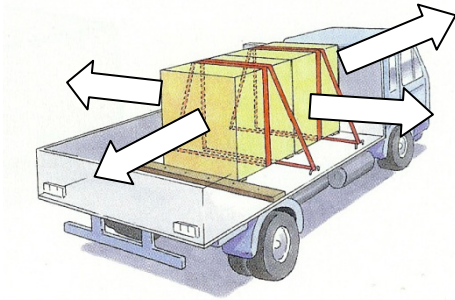
Dessa beräkningar kommer att jämföras i två olika situationer. Den första situationen innebär att kontrollera hur brandskyddsgipsmassan på pelaren påverkas av olika accelerationskrafter vid transport. Den andra situationen är då pelaren och taket ska fogas samman. Ingångsvärde för dessa två situationer kommer att beskrivas nedan.

7.2.3 Påfrestningar vid transport

Då modulerna fraktas mellan tillverkningsfabrik och ut till byggplatsen, där de ska sättas ihop till hela byggnader, kommer de att påverkas av olika deformationslaster. De största påfrestningarna uppstår då modulerna är i rörelse, det vill säga under lastbils- och lastfartygstransport. Krafterna som verkar på pelarna i modulen beror dels på hur stor last de bär upp, men också på den givna accelerationen som kan uppstå under transporten.

De krafter som påverkar pelarna i modulerna under transport skiljer sig mellan olika transportsätt. Kraften som uppkommer via acceleration beräknas genom $F = m \cdot a$, där m är vikten som verkar på den aktuella pelaren och a är accelerationen.

För transport med lastbil gäller att lasten påverkas av följande accelerationer:



Figur 7.17: Accelerationsriktningar vid transport

Tabell 7.1: Acceleration i olika riktningar vid tranport, där gravitationskraften är $g = 10 \text{ m/s}^2$ (Hugosson & Andersson, 2008)

Kör framåt, med hastig inbromsning	$1,0 \cdot g = 10 \text{ m/s}^2$
Kraftig acceleration	$0,5 \cdot g = 5 \text{ m/s}^2$
Sidacceleration i kraftiga kurvor	$0,5 \cdot g = 5 \text{ m/s}^2$

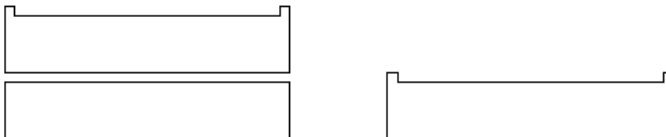
För sjötransport med lastfartyg kommer de största accelerationskrafterna att uppstå när fartyget rullar från sida till sida. Sidaccelerationskrafterna är därför uppdelade beroende på vilket hav man befinner sig på. Sjötransporterna för BOW-HOW's moduler sker i främst i Östersjön och Nordsjön.

Tabell 7.2: Acceleration i sidled (Hugosson & Andersson, 2008)

Östersjön	$0,5 \cdot g = 5 \text{ m/s}^2$
Nordsjön	$0,7 \cdot g = 7 \text{ m/s}^2$
Övriga hav	$0,8 \cdot g = 8 \text{ m/s}^2$

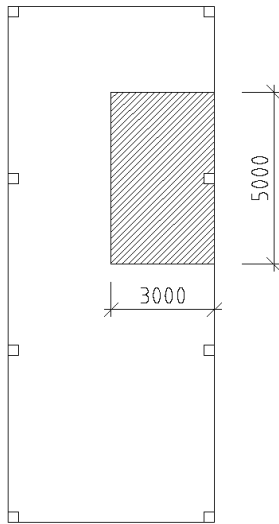
Som man kan se i tabell 7.1 kommer pelarna att utsättas för störst acceleration, 10 m/s^2 , då modulen transporteras på lastbil och då denna gör en kraftig inbromsning. Enbart detta fall kommer därför beaktas i fortsättningen.

Kraften som påverkar pelarna beror även på vikten som verkar på de aktuella pelarna. Modulerna kan komma att fraktas på två olika sätt. Antingen så står det bara en fri modul på lastbilsflaket där pelarna enbart belastas med yttertaket egentyngd eller står det en modul staplad ovanpå en annan där pelarna alltså bär både innertakets och den övre modulens egentyngd, se figur 7.18.



Figur 7.18: Modul staplad på en annan samt en fristående modul

De största modulerna som BAU-HOW tillverkar är 15 x 6 meter, 90 m². Största influensytan som en pelare bär är 5 x 3 meter, 15 m², se figur 7.19.



Figur 7.19: Influensyta.

Egentyngden för en modul är 5,5 kN/m², exklusive yttertaket. Yttertaketets egentyngd är 1 kN/m².

Innertaket på den undre modulen består av en ram av UPE 120-balk som har en egentyngd på 0,121 kN/m. På ramen är det upplagt UPE 80 balkar med ett c/c-avstånd på 300 mm. Egenvikten på takbalkarna UPE 80 är 0,079 kN/m. Balkarnas totala egentyngd beräknas i tabell 7.3. Övriga installationer i innertaket har en total egenvikt på cirka 0,2 kN/m².

Tabell 7.3: Balkar

Balktyp	Längd	Egentyngd
UPE 120	15 + 15 + 6 + 6 = 42 m	42 · 0,121 = 5,1 kN
UPE 80	50 · 6 = 300 m	300 · 0,079 = 23,7 kN
		Σ 28,8 kN

Räknar om balkarnas totala egentyngd till egentyngd per kvadratmeter:

$$\frac{28,8}{15 \cdot 6} = 0,32 \text{ kN/m}^2$$

Summa egentyngd innertak(balkar + installationer): 0,32 + 0,2 = 0,52 kN/m²

Värsta fallet, två moduler staplade ovanpå varandra

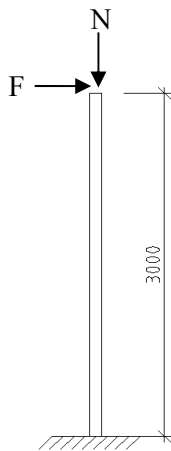
Pelarna i den undre modulen kommer att bära upp sitt eget innertaks egentygnd samt hela den övre modulens egentygnd.

Den totala lasten som en pelare måste bära i värsta fallet:

$$N = (0,52 + 5,5 + 1) \cdot 3 \cdot 5 = 105,3 \text{ kN} \quad (\text{innertak} + \text{modul} + \text{yttertak})$$

Kraften som uppkommer via acceleration beräknas genom $F = m \cdot a$, där m är vikten som verkar på den aktuella pelaren och a är accelerationen.

$$F = \frac{105,3 \cdot 10^3}{10} \cdot 10 = 105,3 \text{ kN}$$



Normalkraften genom pelaren är alltså $N = 105,3 \text{ kN}$ och kommer från egentygnden från innertak och en modul med yttertak. När inbromsningen sker med en retardation på 10 m/s^2 kommer denna kraft att vilja flytta sig i färdriktningen. Kraften kommer då bli horisontell och ha storleken $F = m \cdot a$

Figur 7.20: Verkande krafter på fast inspänd pelare

Beräkning av utböjning vid transport:

$$v = \frac{FL^3}{3EI} = \frac{105,3 \cdot 10^3 \cdot 3^3}{3 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,79 \cdot 10^{-6}} = 1,62 \text{ m}$$

Kontroll

$$v \leq v_{max}$$

$$1,62 \text{ m} \leq 0,067 \text{ m} \quad EJ \text{ OK}$$

Fallet med bara en modul

Den totala lasten som en pelare måste bära i detta fall:

$$N = (0,52 + 1) \cdot 3 \cdot 5 = 22,8 \text{ kN} \quad (\text{innertak} + \text{yttertak})$$

Kraften som uppkommer via acceleration beräknas genom $F = m \cdot a$, där m är vikten som verkar på den aktuella pelaren och a är accelerationen.

$$F = \frac{22,8 \cdot 10^3}{10} \cdot 10 = 22,8 \text{ kN}$$

Beräkning av utböjning vid transport:

$$v = \frac{FL^3}{3EI} = \frac{22,8 \cdot 10^3 \cdot 3^3}{3 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,79 \cdot 10^{-6}} = 0,35 \text{ m}$$

Kontroll

$$v \leq v_{max}$$
$$0,35 \text{ m} \leq 0,067 \text{ m} \quad EJ \text{ OK}$$

7.2.3.1 Utvärdering av resultat

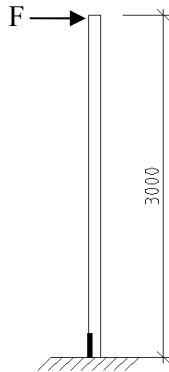
De beräkningar som gjorts gäller för en fristående pelare, det vill säga en pelare som inte är stagad i någon ledd. I det verkliga fallet kommer pelarna att stagas mellan väggar och tak i modulerna, samt att hela modulerna kommer surras fast på ett lämpligt sätt. Detta innebär att utböjningen inte kommer vara lika stor som beräknats ovan.

Att pelartoppen i det två olika fallen böjs ut med 1,62 m och 0,35 m är givetvis varken acceptabelt eller rimligt eftersom varken pelaren eller brandgipsmassan kommer klara dessa utböjningar. Det som finns mellan pelarna såsom väggar och installationer kommer inte heller klara dessa påfrestningar. Inte ens den maximala utböjningen på 67 mm kommer vara acceptabel, eftersom väggar och andra konstruktioner mellan pelarna förmodligen kommer att skadas innan. Slutsats att brandisoleringen har tillräcklig deformationskapacitet i förhållande till övriga påfrestningar som måste klaras under transportprocessen. För att ta upp dessa deformationer måste en lösning för säkring av modulerna vid transport tas fram. Detta kommer att lämnas utanför denna rapport, men det rekommenderas att en utförlig studie görs på detta i framtiden.

7.2.4 Påfrestning vid inpassning av tak

När taket ska lyftas upp på pelarna kommer det i vissa fall uppstå situationer som innebär att pelartoppen är något felplacerad gentemot infästningen i taket. Detta innebär att pelarna måste kunna förskjutas cirka 10 mm i sidled i den fria änden.

Den största töjningen i stålet då en fast inspänd pelare belastas med en horisontell last i den fria änden kommer uppstå längst ner vid inspänningen, se fetmarkering figur 7.21. På grund av detta är det även här brandgipsmassan kommer att få den största töjningen.



Figur 7.21: Fast inspänd pelare.

Maximal utböjning ges av:

$$v_{max} = \frac{FL^3}{3EI}$$

$$v_{max} = 10 \text{ mm}$$

Momentet i den fast inspända änden ges av:

$$M = F \cdot L$$

Maximal spänning ges av:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M}{I} \cdot \frac{h}{2}$$

Töjningen ges av:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Med dessa samband kan man uttrycka töjningen genom följande omvandlingar:

$$v_{max} = \frac{FL^3}{3EI} \Rightarrow F \cdot L = \frac{3EI \cdot v_{max}}{L^2}$$

$$\varepsilon = \frac{M}{EI} \cdot \frac{h}{2} = \frac{3EI \cdot v_{max}}{L^2 \cdot EI} \cdot \frac{h}{2} = \frac{3 \cdot v_{max} \cdot h}{2 \cdot L^2}$$

$$\varepsilon = \frac{3 \cdot v_{max} \cdot h}{2 \cdot L^2} = \frac{3 \cdot 0,01 \cdot 0,1}{2 \cdot 3^2} = 1,67 \cdot 10^{-4} = 0,167 \text{ ‰}$$

Kontroll töjning

Den töjning som räknades fram ovan f r den fast inspända pelaren kommer att jämförs med t jningskapaciteten som bestämdes vid test av den fritt upplagda balken. Om t jningskapaciteten  r större än den töjning som räknades fram för den fast inspända pelaren kan gipsmassan förväntas klara en utböjning på 10 mm.

Kontroll:

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{max}$$

$$0,167 \text{ ‰} \leq 1,12 \text{ ‰} \quad OK!$$

Den töjning som uppstår vid inpassning av tak  r alltså inte så stor att den överskrider t jningskapaciteten.

7.3 Akustiktest

För att kontrollera om stomljud i pelare kan minskas genom speciella åtgärder har en akustikm tning genomförts. Mätningen genomfördes i Stockholm i samarbete med ett företaget ACAD International AB.

Fyra olika modeller togs fram för att utföra akustikprovning på:

- En ren VKR-pelare
- En VKR-pelare med brandgipsmassa
- En VKR-pelare inklädd i asfaltpapp och utanpåliggande brandgipsmassa
- En VKR-pelare inklädd i foaml st och utanpåliggande brandgipsmassa

Syftet med akustiktestet var att kontrollera om man kan se någon generell skillnad mellan de olika provkropparna med avseende på stomljud. Det finns inga givna v rden för vilka akustikegenskaper som ska uppnås utan det  r bara provkropparna relativt varandra som testet fokuserar på.

7.3.1 Genomförande

Pelarna hängdes upp i en provningsst llning, enligt figur 7.22. På insidan av VKR-pelarens översida placerades en accelerometer, en givare som sönder ut elektriska signaler. Dessa elektriska signaler  r proportionella mot den acceleration givaren påverkas av. För att generera en acceleration hos givarna krävs att provkroppen sätts i rörelse. Detta gjordes genom att slå på den nedre änden av stålet med en impulshammare, se figur 7.23. Mätvärdena skickas sedan till en dator där ett medelvärde av ett visst antal hammerslag togs fram. Eftersom det  r svårt att slå med samma kraft i varje hammerslag finns det även en givare kopplad till hammaren. Detta g r att man istället m ter hammarens slag som kvoten mellan accelerationen som accelerometern utsätts för och kraften man slår med, $[(m/s^2)/N]$.



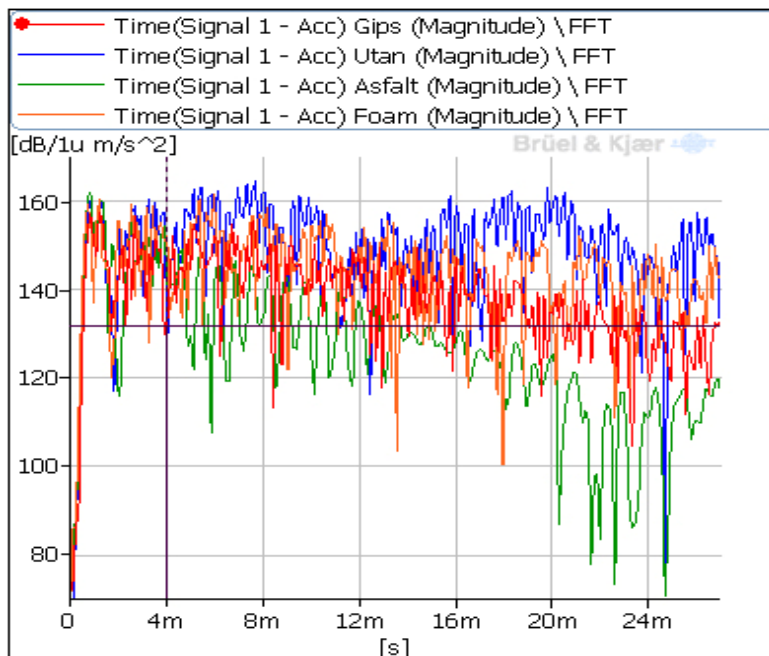
Figur 7.22: Provuppst[all]ning



Figur 7.23: Impulshammare

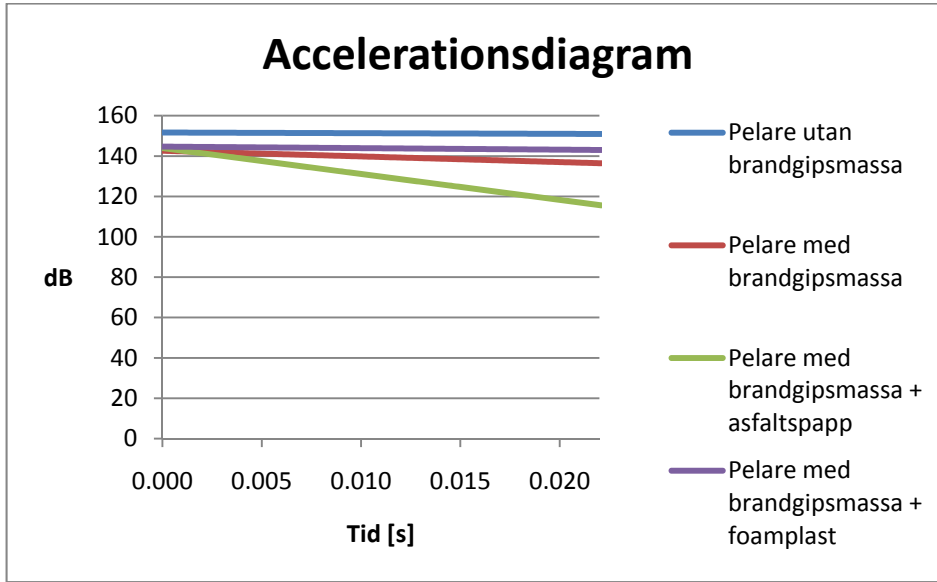
7.3.2 M[et]resultat

M[et]resultatet som togs fram kan man se i figur 7.24, d[ar] kurvorna visar avklingningsf[or]loppet i dB som funktion av tiden, f[or] de fyra olika provkropparna. Som man kan se i figur 7.24 [ok]kar brusniv[on] avsev[er]t efter 22 ms, detta g[or] att m[et]resultatet efter denna tid blir os[aker]t.



Figur 7.24: M[et]resultat acceleration

För att få ett mer överskådligt resultat av diagrammet ovan görs en linjär regressionslinje för varje kurva, se figur 7.25.



Figur 7.25: Linjära regressionslinjer av mätdata

7.3.3 Utvärdering av resultat

För att utvärdera resultatet beräknas en förlustfaktor i stålet genom den så kallade efterklangstidsmetoden enligt ekvationen nedan.

$$\eta = \frac{2,2}{f \cdot T_{60}}$$

där T_{60} ,  r den tid det tar för vibrationsenergin att minska 60 dB i hastighetsnivån, och f  r medelfrekvensen. De förluster som tas fram grundas vanligen på en energiomvandling från vibrationsenergi till exempelvis värme. (Bodén & Carlsson mfl, 2001)

Mätresultaten som visades i diagram ovan, figur 7.25, gav som sagt enbart avklingningsf rloppet under 22 ms (på grund av den osäkerhet som uppstår genom brus efter denna tid). Eftersom efterklangsmetoden grundar sig på hur lång tid det tar för vibrationsenergin att minska 60 dB måste regressionslinjerna i figur 3 extrapoleras, detta moment utelämnas dock här.

Beräkning av förlustfaktorn η f r de olika provkropparna:

För pelare utan brandgipsmassa

$$T_{60} = 1,88 \text{ s}$$

$$\eta = \frac{2,2}{1600 \cdot 1,88} = 0,07 \%$$

För pelare med brandgipsmassa

$$T_{60} = 0,21 \text{ s}$$

$$\eta = \frac{2,2}{1600 \cdot 0,21} = 0,6 \%$$

För pelare med brandgipsmassa + asfaltpapp

$$T_{60} = 0,047 \text{ s}$$

$$\eta = \frac{2,2}{1600 \cdot 0,047} = 3,0 \%$$

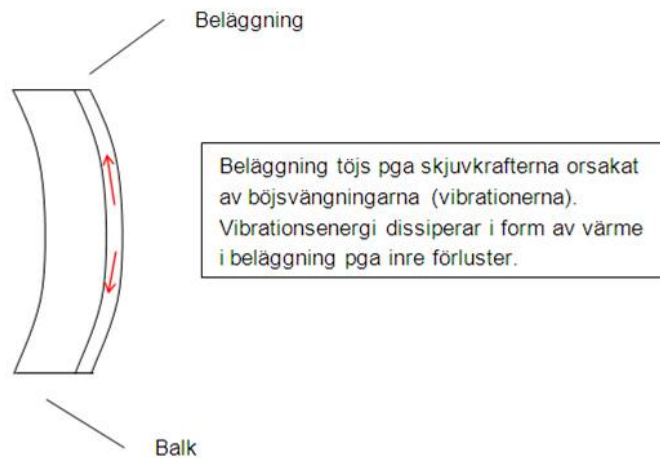
För pelare med brandgipsmassa + foamplast

$$T_{60} = 0,80 \text{ s}$$

$$\eta = \frac{2,2}{1600 \cdot 0,80} = 0,2 \%$$

Förlustfaktorerna som tagit fram beror på inre förluster hos materialen. Inre förluster är materialförluster som orsakas av atomära och molekylära processer inuti materialet. Inre förluster finns mer eller mindre hos alla material. (Bodén & Carlsson mfl, 2001)

För att minska vibrationerna hos en stålpelare, där materialförlusterna är relativt små, gäller det att höja dessa på något sätt. Detta kan bland annat göras genom att lägga på ytterligare material utanpå stålpelaren. För att detta ska vara så effektivt som möjligt gäller det att materialet som läggs på i sig själv ska ha höga materialförluster. När stålbalken utsätts för hammarslag kommer böjsvängningar att uppstå i balken. Detta leder till att den pålagda beläggningen kommer att töjas respektive komprimeras på grund av de skjuvkrafter som orsakas av dessa böjsvängningar, se figur 7.26. På grund dessa töjningar och kompressioner kommer vibrationsenergin att dissipera, det vill säga att den kinetiska energin övergår till andra energiformer i beläggningen, i detta fall värme. (Johansson & Pers, 2010)



7.26: Skjuvkrafter orsakat av böjsvängningar

Av det beräknade resultatet kan man se att man få en förlustfaktor på 3,0 % genom att klä in en stålpelare med asfaltpapp och brandgipsmassa. Om man jämför denna förlustfaktor med hur stor den blir vid inklädnad med foamlplast och brandgipsmassan, 0,2 %, kan man se att den  r större för asfaltpappen. Att en stålpelare inklädd med asfaltpapp och brandgipsmassa alltså f r den största förlustfaktorn beror på att beläggningen av asfaltpapp har en högre inre förlust  n foamlplast. (Johansson & Pers, 2010)

Om man jämför stålpelaren med enbart brandgipsmassa och den med brandgipsmassa och foamlplast kan det tyckas konstigt att förlustfaktorn  r lägre hos pelaren med foamlplast. Anledningen till detta beror på att foamlplasten i sig själv  r fjädrande, vilket innebär att stålpelaren f r utrymme att svänga fritt innanför brandgipsmassan utan att beläggningen töjs och vibrationsenergin dissiperar därför inte. Detta fall kan mer liknas vid en ren stålpelare. (Johansson & Pers, 2010)

F r beläggningar där de inre förlusterna  r små kommer vibrationsenergin, som g r åt till att töja beläggningen, att lagras och sedan föras tillbaka till stålbalken under komprimering, vilket innebär att man inte ökar st lbalkens förluster n mnav rt (Johansson & Pers, 2010). F r gips  r de inre förlusterna ganska små, varvid den beräknade förlustfaktorn blir liten då stålpelaren enbart är belagd med gips (Bodén & Carlsson mfl, 2001).

Av detta kan man dra slutsatsen att det g r att sänka stomljud genom att klä in pelarna med en asfaltpapp eller andra material med höga inre förluster innan man gjuter brandgipsmassan.

7.4 Klimattest

När pelarna  r f rdiginkl dda med brandgipsmassa kommer modulerna att utsättas för olika klimat under lagring, transport och under själva användandet. På grund av detta

gjordes ett flertal klimattest för att kontrollera hur gipsmassan reagerar på olika klimat. Provkropparna utsattes därför för olika klimatpåfrestningar.

7.4.1 Provkropp förflyttad mellan olika klimat

En färdiggjuten provkropp, 0,3 meter hög stålpelare inklädd med brandgipsmassa, utsattes för extremfall som skulle kunna uppstå i verkligheten. Detta test görs enbart för att okulärt kontrollera huruvida materialet påverkas då det flyttas mellan olika klimat. Exempelvis om det kan uppstå sprickor i materialet då det förflyttas mellan ett kallt och ett varmt klimat. För att få testet att likna ett extremfall i verkligheten användes följande scenario: Gipsmassan gjuts i fabriken på vintern, vilket innebär ett klimat som motsvarar inomhusklimat under vintertid. Ett inomhusklimat på vintern innebär en temperatur på cirka 20 °C och en låg relativ fuktighet på ca 30 % (Hulander, 2005).

När själva modulerna är klara för transport fraktas de utomhus, inlindade i krympplast. Även transporten antas ske under vintertid. Detta innebär att gipsmassan kommer att utsättas för låg temperatur och hög relativ fuktighet på cirka 90 % (Hulander, 2005). Efter transporten kommer modulerna att byggas ihop till en byggnad, vilket innebär att pelarna med gipsmassan kommer att hamna innanför ett klimatskal och återigen utsättas för inomhusklimat på vintern vilket, som nämndes ovan, innebär en temperatur på cirka 20 °C och en relativ fuktighet på cirka 30 %.

På basis av detta scenario placerades provkroppen, direkt efter gjutning, i en lokal som kan anses motsvarar fabriken klimat. Efter en vecka lindades provkroppen in med krympplast, se figur 7.27, och sattes sedan ut i ett klimat som motsvarar utomhusklimat på vintern. De olika temperaturerna och de relativa fuktigheterna redogörs i tabell 7.4.



Figur 7.27: Provkropp inlindad i krympplast

Transporten uppskattas pågå i sju dagar varvid provkroppen placerades i klimatet under denna tidsperiod. Det kan tilläggas att detta klimat även inneh ll kraftiga vindar och nederbörd i form av snö. Slutligen togs krympplasten bort och provkroppen placerades återigen i det klimatrum som motsvarar inomhusklimat under vintern. Här fick provkroppen påverkas av klimatet i 14 dagar. F r relativa fuktigheter och temperaturer för de olika klimatrummen, se tabell 7.4.

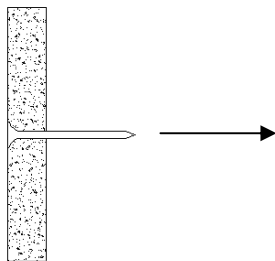
Tabell 7.4: Klimat som provkroppen utsatts för

<u>Klimatrum</u>	<u>Tid</u>
Labbhall: 18,5�C/RF=30,7%	7 dagar
Utomhus: cirka -3 �C/RF=90%	7 dagar
Labbhall: 18,5�C/RF=30,7%	14 dagar

Efter utfört test gjordes en jämförelse mellan två olik  provkroppar. En som påverkats av det ovan givna klimatet, samt en som enbart påverkats av rumsklimat, under samma tidsperiod, 28 dagar. Av resultatet kunde man finna att det inte fanns någon m rkb r skillnad mellan de två olik  provkropparna, alltså inga sprickor hade uppstått och brandgipsmassan satt fortfarande kvar kring pelaren. Ett enkelt jämförande test gjordes även genom att banka lite lätt med en hammare på de två provkropparna. Ingen skillnad märktes. Vad gäller gips fuktbetingade rörelser så  r de obetydliga vid normala variationer i den omgivande luftens fuktighet. Exempelvis ger en fuktf r ndring från 45 % till 90 % RF bara en längdändring på maximalt 0,04%. (Burström, 2006).

7.4.2 Hållfasthet som funktion av temperatur och RF

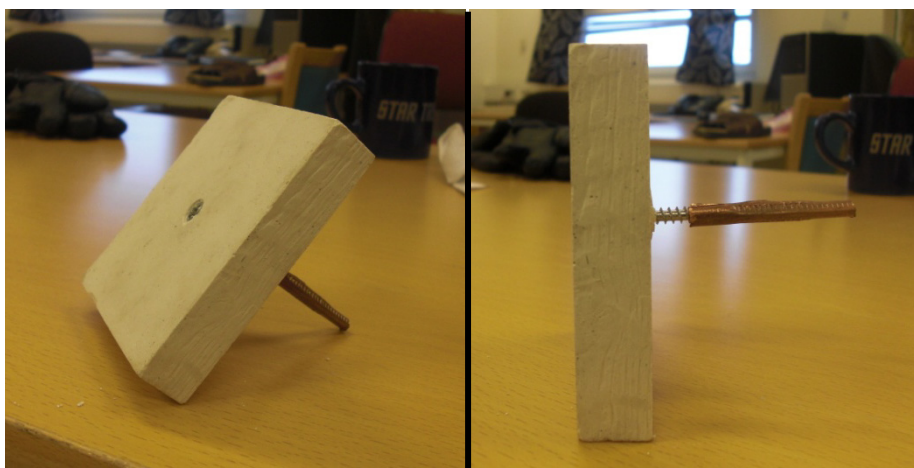
Utöver det ovan beskrivna klimattestet gjordes även ett test som kontrollerade hållfastheten som funktion av klimatp frestning. Detta h llfasthetstest utgjordes av ett så kallat skruvtest. Ett skruvtest g r till så att man skruvar in en skruv i brandgipsmassan så att bara den fria änden av skruven (skruvspetsen) sticker ut, se figur 7.28.



Figur 7.28: Skruvtest för kontroll av hållfasthet

Syftet är att man ska m ta hur stor kraft som krävs för att dra ut skruven. Detta  r inget precisionstest utan det kommer bara användas för att bestämma huruvida hållfastheten minskar eller kvarstår hos brandgipsmassan då den utsätts för olika klimat. (Klarin, 2010)

För att åstadkomma ett sådant här test tillverkades fyra provkroppar med en tjocklek på 20 mm. En skruv skruvas igenom provkroppen enligt figur 7.29.



Figur 7.29: Provkroppar med skruv

Två av provkropparna utsattes för olika relativa fuktigheter, medan temperaturen på de båda provkropparna var densamma. Detta innebär att en eventuell skillnad i hållfasthet enbart beror på fuktnivån i provkropparna. Det tredje provets hållfasthet kontrollerades med avseende på temperaturen. En provkropp (3) utsattes för temperaturer under noll och jämfördes sedan med den provkropp som befunnit sig i rumsklimat (1). Relativa fuktigheten är densamma för båda dessa provkroppar. Detta innebär att en eventuell skillnad i hållfasthet enbart beror på temperaturen. För att undvika ett missvisande resultat som beror på fel i provkropparna och i mätutrustningen tillverkades två provkroppar för varje test.

Provkroppar som utsätts olika RF

En provkropp (1) i fuktigt klimat: 20,7 C/RF=90,6%

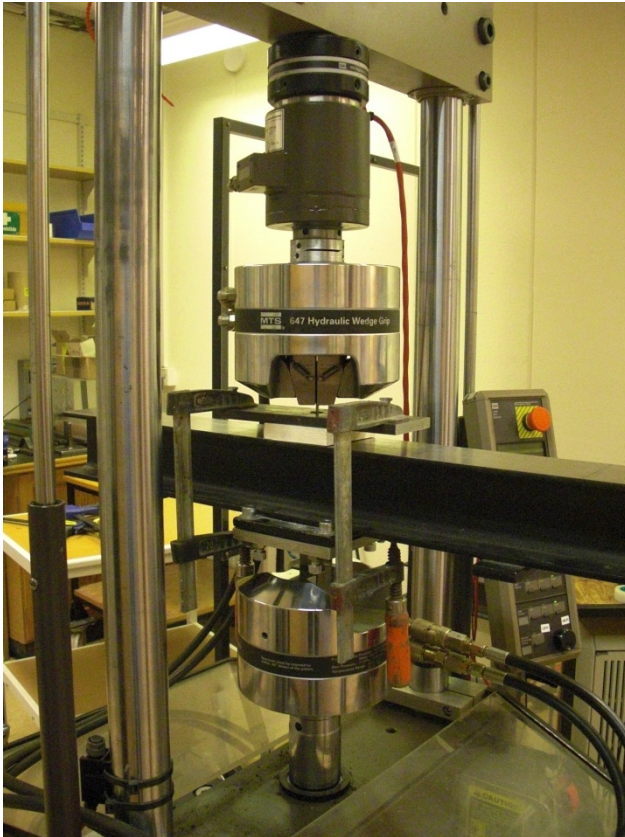
En provkropp (2) i torrt klimat: 20,4 C/RF=30,7%

Provkroppar som utsätts olika temperaturer

*En provkropp (3) i låg temperatur: -9 till 1,3 C/RF=79-93%**

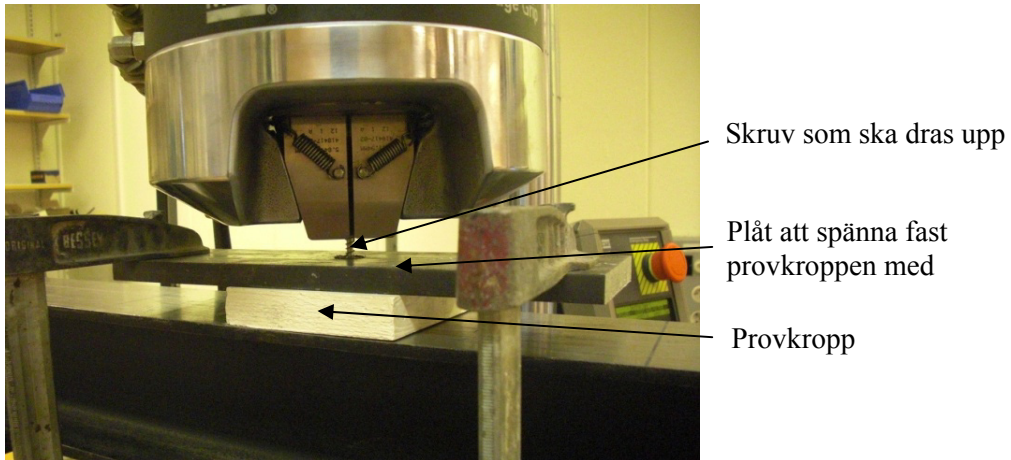
*Uteklimatet loggades under perioden 29 jan-16 feb och finns angivet i bilaga 6

Alla fyra provkropparna utsattes för det aktuella klimatet i 19 dagar efter det att gjutformen plockats bort, vilket skedde ett dygn efter gjutning. Därefter utsattes de för ett dragprov. Dragprovet utfördes med en dragprovsmaskin enligt figur 7:30.



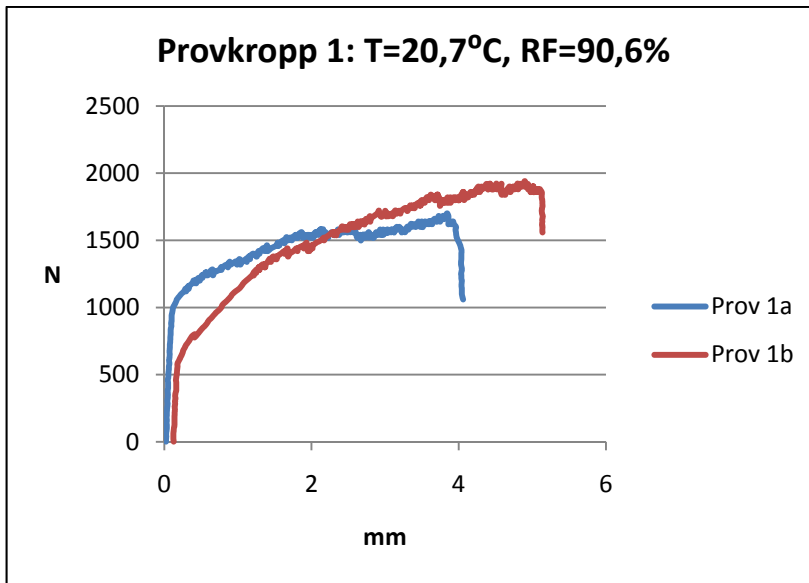
Figur 7.30: Dragprovsmaskin

För att provet ska bli riktigt krävs att skruven dras ut genom brandgipsmassan och att den inte dras ut genom att provkroppen spricker. För att se till att skruven dras ut, utan att förstöra närliggande brandgipsmassa placerades en tjock metallplåt ovanpå provkroppen. Metallplåten förbereddes med ett borrhål som hade liknande diameter som skruvskallen, och trädde sedan över provkroppen, så att skruven stack upp genom borrhålet. Plåten användes sedan för att spänna fast provkroppen, vilket möjliggjorde att skruven kunde dras ut genom brandgipsmassan utan att förstöra själva provkroppen, se figur 7.31.

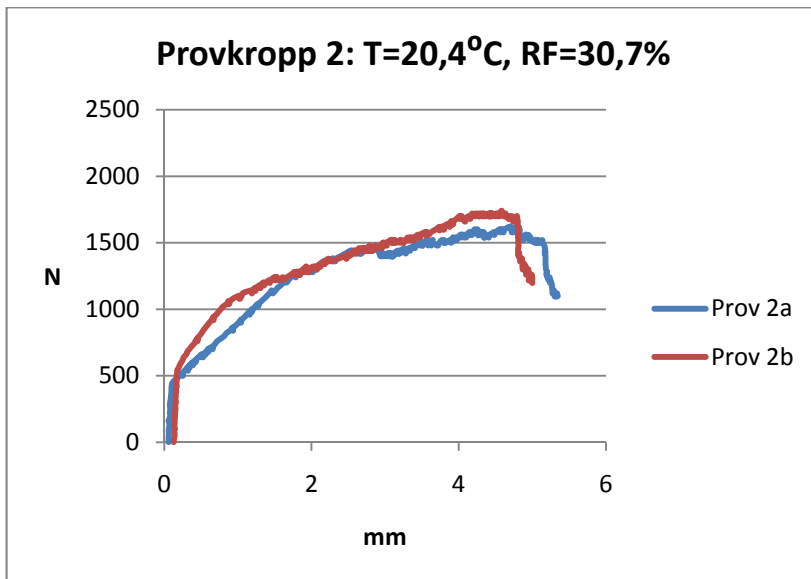


Figur 7.31: Provuppställning

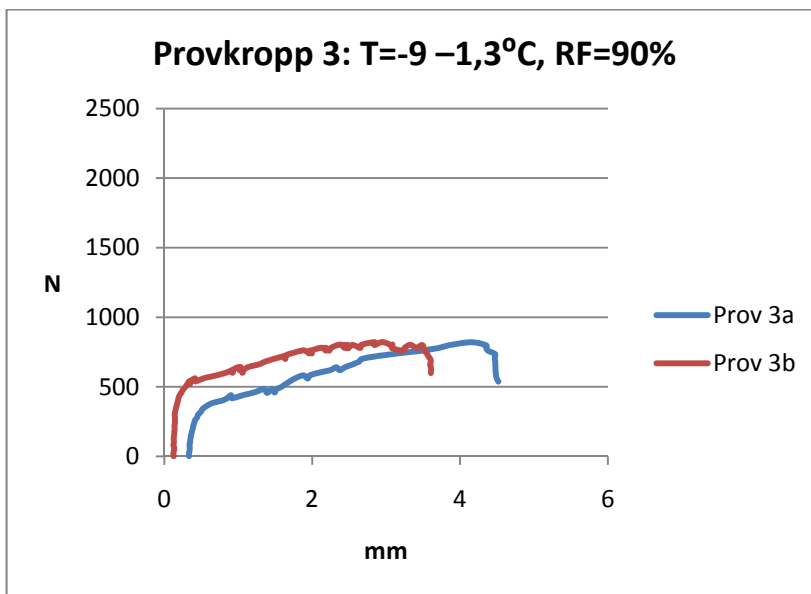
Genom att ställa in dragprovsmaskinen på hastigheten 0,002 mm/s kunde följande dragprovsdiagram tas fram. Varje figur 7.32-34 innehåller två kurvor eftersom två provkroppar för varje klimatbelastning testades.



Figur 7.32: Diagram över hållfastheten provkropp 1



Figur 7.33: Diagram över hållfastheten provkropp 2



Figur 7.34: Diagram över hållfastheten provkropp 3

Genom att ta fram ett medelvärde av de två maximala dragkrafterna kan man visa hur hållfastheten beror på klimatbelastningen.

Tabell 7.5: Draghållfasthet vid olika klimat

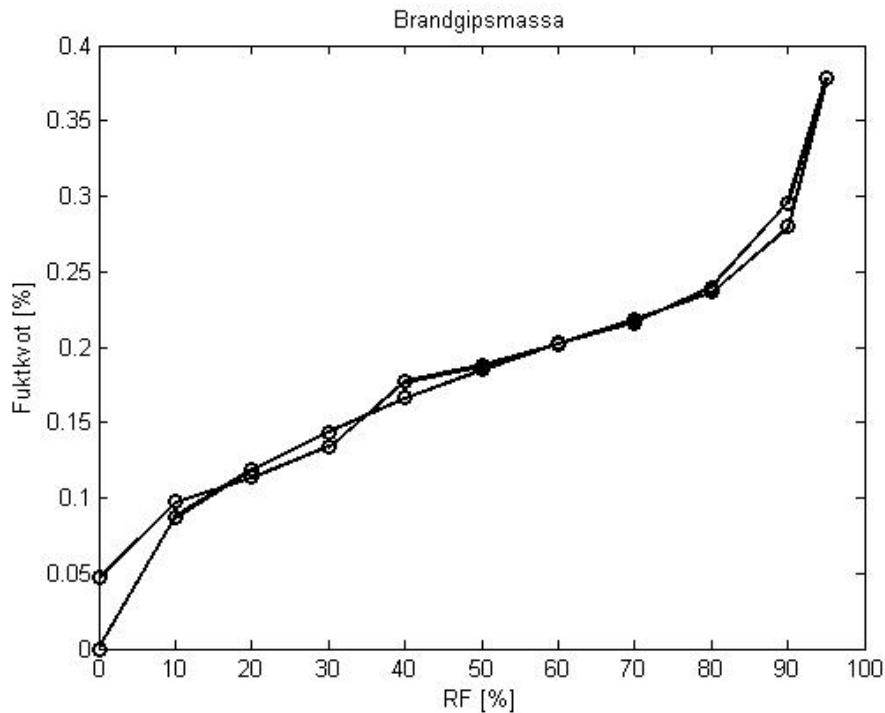
Provkropp	Klimatbelastning	Medelvärde dragkraft
1	T=20,7°C RF=90,6%	1812 N
2	T=20,4°C RF=30,7%	1682 N
3	T=-9 – 1,3°C RF=79 – 93%	820 N

Diskussion kring resultat

Om man börjar med att jämföra provkropp 1 och 2 kan man i tabell 7.5 se att draghållfastheten är något lägre för provkropp 2, som utsatts för en lägre relativ fuktighet än provkropp 1. Att provkropp 2 har något lägre hållfasthet kan vara en tillfällighet eller också att gipsmassan blir något sprödare vid ett torrt klimat. Egentligen borde det inte bli någon större skillnad i hållfasthet alls, mellan provkropp 1 och 2. Denna skillnad borde i så fall vara marginell. Detta beror på att gips i sig själv är ett ganska dåligt hygroskopiskt material, det vill säga förmågan att binda fukt från luften är begränsad vid normala luftfuktigheter. Detta innebär att fukttinnehållet i gipset vid jämvikt med cirka 90 % eller 30 % RF inte skiljer sig särskilt mycket åt, varvid hållfastheten borde vara ungefär densamma för de båda provkropparna. Resultatet tyder på att hållfastheten inte påverkas av RF, under normala RF-förhållanden. Det kan dock tilläggas att detta resonemang inte gäller då materialet utsätts för varaktigt RF över 90 %, eftersom gips då kan ta upp fukt i sådan omfattning att dess hållfasthet minskar (Gyproc, 2007).

För att stärka detta resonemang har en sorptionskurva tagits fram för brandgipsmassan, se figur 7.35. Sorptionskurvan redovisar ett jämviktstillstånd och anger vilken fuktkvot materialet har då det är i jämvikt med omgivande luft vid olika relativ fuktighet. Sorptionskurvan togs fram genom att man lät materialet utsättas för en omgivning med konstant temperatur och konstant relativ fuktighet till dess att det var i jämvikt med omgivningens fukthalt och fukthalten i materialet. Detta test upprepades sedan med olika relativa fuktigheter till en kurva kunde tas fram. (Nevander & Elmarsson, 2006). Genom att placera provet i torr kvävgas till dess att dess massa inte längre ändras fås provets torrsvikt. Mängden vatten som upptas vid jämvikt med de olika relativa fuktigheterna divideras sedan med denna torrsvikt, vilket ger fuktkvoten vid aktuell RF. (Wadsö, 2010)

Som man kan se på sorptionskurvan, se figur 7.35, är fuktkvoten väldigt låg vid en relativ fuktighet upp till 95 %, som max 0,38 %. När relativa fuktigheten överstiger 95 % kan man tydligt se hur lutningen på kurvan ökar, vilket innebär att brandgipsmassan då tar upp mer fukt. Även resonemanget att fukttinnehållet inte skiljer sig särskilt mycket vid en jämförelse mellan 30 % och 90 % relativ fuktighet stärks genom sorptionskurvan. Någon större hållfasthetsskillnad borde alltså därför inte ske då materialet utsätts för olika relativa fuktigheter.



Figur 7.35: Sorptionskurva f r brandgipsmassa

Då man g r en jämförelse mellan provkropp 3 och 4, som alltså utsatts för olika temperaturer, kan man börja diskutera en form av hållfasthetsminskning. Vid klimatpåverkan utsattes provkropp 4 för temperaturer långt under 0 C under vissa perioder, se bilaga 6. Eftersom provkroppen sattes i klimatet så tidigt som en dag efter gjutning innebar detta att den fortfarande var fuktig. När temperaturen sjönk under 0 C fr s vattnet och frostsador uppstod i provkroppens struktur, varvid en hållfasthetsminskning inträffade. (Burström, 2009)

H llfasthetsproverna har gjorts relativt varandra. Provkroppen som utsattes för uteklimat har inte, likt de andra provkropparna, utsatts för ett konstant klimat. Detta har dock inte tagits hänsyn till varvid den relativa skillnaden mellan proverna kan vara något missvisande. Klimaten, relativa fuktigheten och temperaturen, är framtagna som ett medelvärde mellan två utvalda relativa fuktigheter och temperaturer under varje dygn, kl 12.00 och kl 24.00, varvid klimatet inte fullt ut stämmer överrens med verkligheten.

Av resultatet och diskussionen att döma kan man dra slutsatsen att brandgipsmassan kring pelarna i BAU-HOWs moduler enbart skulle påverkas negativt då det utsatts för frystemperaturer, i form av försämrad hållfasthet. Detta skulle kunna innebära att transport och andra moment som kan deformera st pelarna måste ske med större försiktighet  n då de sker vid högre temperaturer. Det kan åter igen tilläggas att

provkropparna utsattes för det aktuella klimatet en dag efter gjutning, alltså när de fortfarande var fuktiga. F r BAU-HOWs produktion kommer inte detta vara riktigt sant. När man väl fått upp produktionstakten för tillverkning av modulerna kommer de transporteras ut från fabriken tidigast 5 dagar efter det att man gjutit brandgipsmassan kring stålpelarna. Detta innebär att en stor del av fukten hunnit torka bort och en frostskada  r inte lika sannolik vid temperaturer under 0  C.

7.5 Tryckh llfasthetstest

Ett tryckh llfasthetsprov har utförts på brandgipsmassan. Detta har gjorts för att kunna jämföra tryckhållfastheten mellan brandgipsmassa och betong. En kontroll har även gjorts för att se hur brandgipsmassans tryckhållfasthet förändras med tiden.

För att kunna utföra testet tillverkades fyra kuber, med sidan 100 mm. Två av dessa vägdes och trycktestades efter ca 3 dagar, resterande två provkroppar testades på samma sätt fast fyra veckor efter gjutning. Figur 7.36 visar två bilder som är tagna under testet.



Figur 7.36: Tryckh llfasthetstest

I tabell 7.6 redovisas resultatet av provningen:

Tabell 7.6: Provresultat

Provkropp	1	2	3	4
Vikt [kg]	1,36	1,36	0,95	1,02
Tryckhållfasthet [MPa]	0,42	0,41	0,92	0,73

I tabell 7.6 man kan se att provkropp 1 och 2 har en tryckhållfasthet på ca 40 kN och efter fyra veckor har den ökat till ca 80 kN enligt testet som utfördes på provkropp 3 och 4. Av detta kan man dra slutsatsen att hållfastheten ökar med tiden. Den största anledningen till hållfasthetsökningen  r att en stor del av vattnet har torkat ut. Vatten har alltid en mjukgörande effekt på porösa material, som gips, vilket sänker hållfastheten. Man kan även tänka sig att hållfasthetsökningen som skett efter 28 dagar beror på att gipsmaterialet härdats ytterligare. (Burström, 2010)

Brandgipsmassan ska givetvis inte användas som något bärande element såsom betong, men för att få en uppfattning om brandgipsmassans tryckhållfasthet gentemot betong har en jämförelse gjorts för olika betongkvalitéer, se bilaga 8 . Där kan man utläsa hur många gånger bättre tryckhållfastheten är för betong gentemot brandgipsmassan för både 3-dagars- och 28-dagarstesten.

8 Ekonomisk analys och utvärdering

8.1 Ekonomisk analys

Här görs en ekonomisk analys för att brandskydda stålpelarna med brandgipsmassa i BAU-HOWs system. Beräkningar görs på materialkostnader och montagekostnader för att brandskydda en 3 meters VKR 100x100x10. De material som krävs är brandgipsmassa, asfaltklister och asfaltpapp. Kostnaden för montaget är cirka 7€/h och med dagens växelkurs är 1€ ≈ 10 kr. Den ekonomiska analysen görs för de båda brandklasserna, R60 och R90, som förekommer i BAU-HOWs system.

Priset på Brandgipspulvret är 390 kr/säck och i varje säck finns 12,5 kg brandgipspulver (Rangse, 2009). Enligt provgjutningar som genomförts behövs 1 kg brandgipsmassa och 0,7 liter vatten för att gjuta en volym på en kubikdecimeter.

Priser från Byggmax:

<u>Typ</u>	<u>Pris</u>
Asfaltpapp	13 kr/m ²
Asfaltklister	34 kr/l

Materialkostnad asfaltpapp:

Beräkning av den area som kommer att strykas med asfaltklister och där asfaltappen sedan kommer att fästas:

$$A = 0,1 \cdot 4 \cdot 3 = 1,2 \text{ m}^2$$

En liter asfaltklister räcker till 10,5 m², vilket ger ca 0,1 l per kvadratmeter.

Kostnad asfaltpapp + asfaltklister:

$$1,2 \cdot 0,1 \cdot 34 + 1,2 \cdot 13 = 20 \text{ kr}$$

R60

Materialkostnad brandgipsmassa:

För denna brandklass behöver brandgipsmassan vara 15 mm tjock på 3 sidor och 10 mm tjock på den fjärde sidan.

Beräkning av den volym brandgipsmassa som behövs:

$$V = ((0,13 \cdot 0,125) - (0,1 \cdot 0,1)) \cdot 3 = 0,01875 \text{ m}^3$$

Detta innebär att det behövs 18,75 kg brandgipspulver, vilket är detsamma som 1,5 säck.

$$1,5 \cdot 390 = 585 \text{ kr}$$

Montagekostnad:

Den tid det tar att klä in pelaren med asfaltspapp och gjuta pelaren uppskattas till 0,75 h/pelare.

$$0,75 \cdot 7 \cdot 10 = 53 \text{ kr}$$

Total kostnad:

$$20 + 585 + 53 = 658 \text{ kr}$$

R90

Materialkostnad brandgipsmassa:

För brandklass R90 behöver brandgipsmassan vara 20 mm tjock på 3 sidor och 10 mm tjock på den fjärde sidan.

Beräkning av den volym brandgipsmassa som behövs:

$$V = ((0,14 \cdot 0,13) - (0,1 \cdot 0,1)) \cdot 3 = 0,025 \text{ m}^3$$

Detta innebär att det behövs 25 kg brandgipspulver, vilket är detsamma som 2 säckar.

$$2 \cdot 390 = 780 \text{ kr}$$

Montagekostnad:

Den tid det tar att klä in pelaren med asfaltspapp och gjuta pelaren uppskattas till 0,75 h/pelare, det vill säga samma tid som för R60.

$$0,75 \cdot 7 \cdot 10 = 53 \text{ kr}$$

Total kostnad:

$$20 + 780 + 53 = 853 \text{ kr}$$

Att förse en 3-meter stålpelare med den nya brandgipsmassan, inklusive asfaltspapp för akustikdämpning, kostar 658 kr för R60 och 853 kr för R90. I dessa beräkningar är inte kostnader för att tillverka gjutformar medräknade. Detta är dock bara en engångskostnad eftersom gjutformarna kan användas mer än en gång. Genom inköp av stora kvantiteter kan förmodligen en prisreduktion göras.

8.2 Utvärdering av det nya brandskyddet

I detta avsnitt görs en utvärdering av brandgipsmassan som visar hur lämplig den är som brandskyddsisolering för en stålpelare. Utvärderingen behandlar för- och nackdelar rent generellt. I analysen studeras det även hur väl brandskyddet passar in BAU-HOWs system vid brandklass R90. Utvärderingen behandlar främst:

- Infästning, det vill säga hur lätt man fäster materialet på konstruktionen.
- Mängd material som behövs
- Ekonomi
- Hur stort utrymme brandskyddet kräver.

Fördelar:

- Kräver inte monteringsanordningar – gör att monteringen av brandskyddet går mycket snabbare, men även att brandskyddsisoleringen inte ”bygger” ut pelarens tvärsnitt
- Lätt att laga – om skador skulle uppstå är dessa lätta att laga
- Montagetiden för brandgipsmassan är relativt kort.
- Lätt att bearbeta – brandgipspulver och vatten blandar sig lätt, samt att den färdiga blandningen är lättflytande
- Brandgipsmassan fastnar lätt kring stålpelaren, i alla fall då gjutningen sker kontinuerligt kring stålpelaren.
- Kan övermålas med de flesta förekommande färger.
- Inga skarvar – brandskyddet gjuts kontinuerligt kring stålpelaren.
- Det finns inga standardtjocklekar på brandskyddslagret, utan man använder precis den tjocklek som önskas.
- Reducerar stomljud – genom att klä in stålpelaren med asfaltpapp innan gjutning kan en reduktion av stomljud ske.
- Påverkas inte av normala luftfuktigheter (RF från 90% och neråt)
- Klarar stora deformationer utan att skadas.
- Följer pelarens utseende.

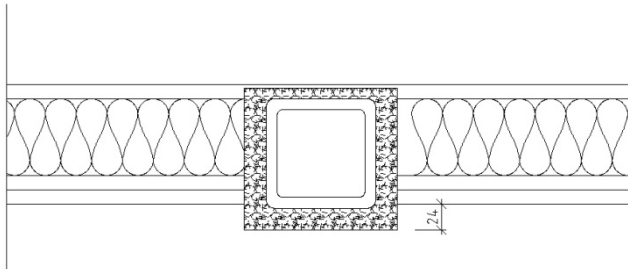
Nackdelar:

- Relativt dyra materialkostnader
- Känsligt mot slag och stötar – materialet relativt sprött
- Kladdig och dammig hantering – materialet är kladdigt till dess att det har härdat och enbart gipspulvret dammar mycket
- Kräver härdningstid – formen kan tas bort efter ca 6 timmar
- Pelarna kan inte brandskyddsisoleras då temperaturen understiger 0°C

Användning av brandgipsmassan för pelarna i BAU-HOWs innerväggar och lägenhetsavskiljande väggar:

- 853 kr för att klä in en VKR 100x100x10.
- Kräver inte monteringsanordningar – gör att monteringen av brandskyddet går mycket snabbare, men även att brandskyddsisoleringen inte ”bygger” ut pelarens tvärsnitt
- Kräver endast lagring av brandgipspulver och gjutformar istället för en exempelvis skivor, som tar stor plats.
- Sticker ut 24 mm som mest i rummet där man vistas, se figur 8.1.
- Brandskyddsisoleringen kan härda under tiden som betongbjälklaget härdar, vilket sparar tid.
- Pelarna kan böjas något för att taket ska kunna passas in, utan att brandskyddsisoleringen går sönder.
- Eftersom pelarna kommer sticka in i rummet så gäller det att de ska gå att ytbehandla brandskyddsisoleringen. Brandgipsmassan kan ytbehandlas med nästan alla typer av färg.

- Pelarna kommer att vara ganska utsatta eftersom de kommer sticka in en bit i rummet. Skulle de få en skada så är det inga problem att laga genom att spackla med brandgipsmassa.
- En rationell metod för att gjuta kring pelarna innebär att montaget går snabbare än att exempelvis klä in en pelare med skivmaterial.
- Möjlighet att enklare hantera måttavvikelser hos pelarna
- Möjligheten finns att få en estetiskt tilltalande brandskyddsisolering eftersom man kan gjuta vilken form man vill. I detta examensarbete hanteras dock bara brandskyddsisolering som bildar ett rektangulärt tvärsnitt.



Figur 8.1: Visar hur mycket pelaren sticker ut i rummet

9 Konceptuellt förslag på rationell gjutmetod

För att BAU-HOW ska kunna brandskydda stålpelarna på ett snabbt och effektivt sätt i sin industriella tillverkning måste en rationell gjutningsmetod tas fram och användas. Därför kommer ett konceptuellt förslag att föreslås här nedan.

Från det att man bara har en ren stålpelare till man har en brandisolerad stålpelare finns det mycket arbete som kan utföras parallellt. För att vinna tid bör man tillverka flera pelare samtidigt. Detta skulle kunna lösas genom att man delar upp tillverkningen på olika stationer och dessa skulle kunna vara:

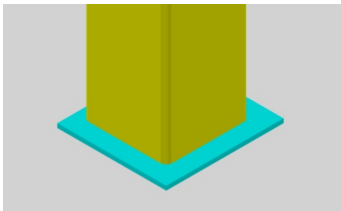
- Fästa asfaltspappen på pelaren
- Fastsvetsning av stålplattan som ska fungera som formfixering i pelarens nederkant
- Fastsvetsning av stålpelare på bjälklagsram
- Sätta gjutformen på plats
- Blandning av brandgipsmassa
- Gjutning av pelare
- Härdning och avformning

Fästa asfaltspappen på pelaren

Den rena stålpelaren kommer till denna station där asfaltspappen skärs till så att passformen blir perfekt för att kunna fästas runt om pelaren. För att fästa asfaltspappen på stålpelaren rekommenderas detta att göras då pelaren är liggande. Asfaltsklistret penslas på asfaltspappen som sedan kläs runt om pelaren. När detta är gjort måste asfaltsklistret torka i ca 24 timmar, vilket innebär att detta moment måste utföras ett dygn innan pelare kan användas i nästa moment. Detta för att säkerhetsställa att asfaltspappen fortsätter att ligga mot pelaren även efter gjutning. I provgjutningen var det just asfaltklister som användes och detta fungerade bra. Dock kan kanske en alternativ fästningsmetod minska den tid som det krävs för asfaltklistret att torka

Fastsvetsning av stålplattan som ska fungera som formfixering i pelarens nederkant

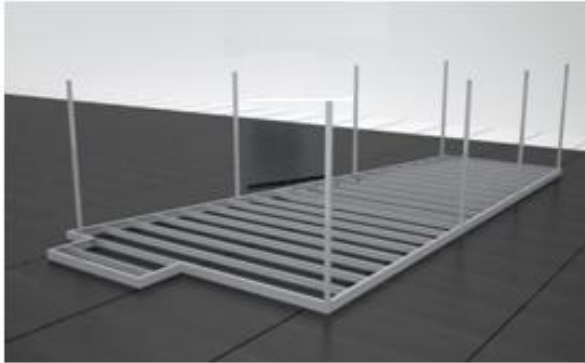
Stålplattan som svetsas fast under pelaren kommer fungera som distans för att hålla gjutformen på rätt avstånd i nederkant. Därför är det viktigt att plattan har samma mått som önskad tjocklek på brandskyddsisoleringen. Stålplattan bör vara så pass tjock att gjutformen kan ligga emot utan att springor uppstår. Figur 9.1 visar detalj på anslutning pelare och nedre formfixering.



Figur 9.1: Anslutning pelare och nedre formfixering

Fastsvetsning av stålpelare på bjälklagsram

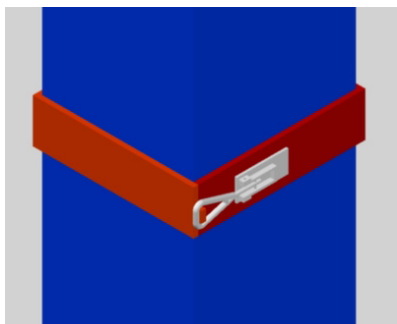
Stålpelare svetsas fast på bjälklagsramen enligt figur 9.2. Alla stålpelare b r svetsas fast innan gjutning av bjälklaget, detta för att man inte ska behöva vänta på att bjälklaget ska h rda. Istället kan man låta härdningen av brandgipsmassan och bjälklaget ske samtidigt.



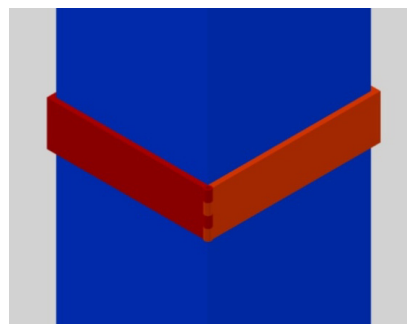
Figur 9.2: Pelare på bjälklagsram

Sätta gjutformen på plats

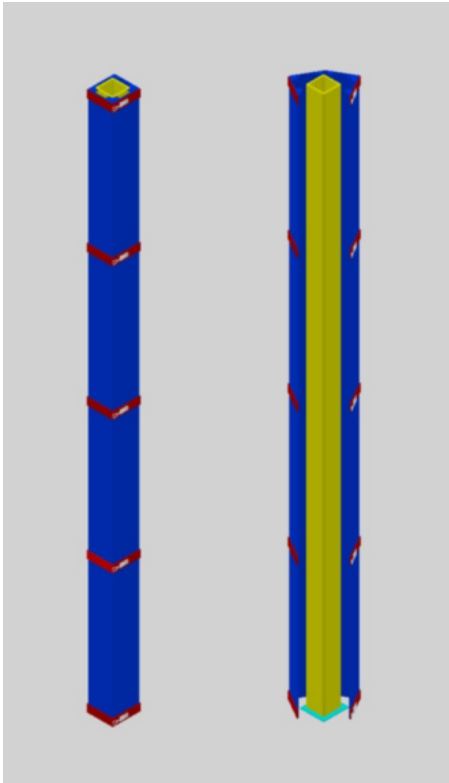
De provgjutningar som gjorts i examensarbetet innebär en primitiv arbetsgång. Gjutformar och fixturer som tagit fram har exempelvis enbart kunnat användas under en gjutning och har plockats sönder då den brandskyddade stålpelaren skulle friläggas. Själva inpassningen av gjutformen, för att få rätt tjocklek på brandgipsmassan, var tidskrävande. Skulle samma metod användas i industriell tillverkning skulle detta leda till en onödig tidsåtgång och kräva relativt mycket arbetskraft. För att gjutningen av pelarna ska kunna ske på ett rationellt sätt  r just gjutformen något som det måste läggas mycket fokus på. Ett konceptuellt förslag har därför tagit fram, som innebär att gjutformen är uppbyggd av stål och att den kan användas mer än en gång. För att lätt kunna sätta gjutformen på plats kommer den vara uppdelad i två ledade delar. Detta innebär att ett av hörnen bör vara försedd med gångjärn och hörnet mittemot vara försett med l sbyglar, i form av excentriska l s. Detaljer av det excentriska låset och gångjärn åskådliggörs i figur 9.3 och 9.4. Hela gjutformens utseende när den  r öppen och stängd, visas i figur 9.5.



Figur 9.3 Excentriskt l s

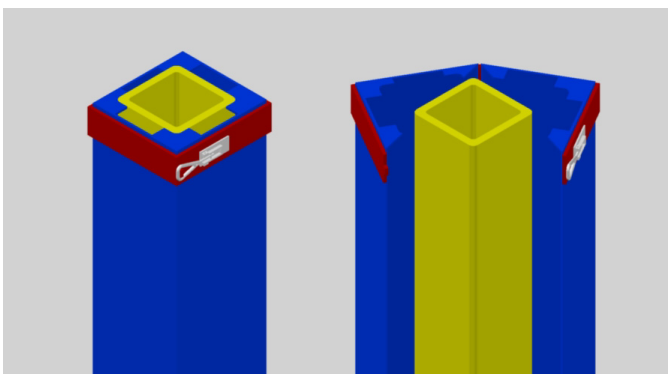


Figur 9.4: Gångjärn



Figur 9.5: Gjutform

Ovankant och nederkant på gjutformen är viktiga att utforma rätt eftersom det  r dessa som reglerar den tjocklek på brandgipsmassan som önskas. I den nedre änden av st pelaren fungera en stålplatta som distans och svetsas fast som beskrivits tidigare. I ovankant skall distanserna sitta fast i gjutformen och fungera som fyra hörn som spänns fast in mot pelaren då denna är stängd. Mellan dessa distanser kommer det vara öppna ytor, där man kan hålla ner brandgipsmassan, se figur 9.6. Innan formen sätts på plats måste denna smörjas in med formolja så att brandgipsmassan inte fastnar i formen n r den avlägsnas.



Figur 9.6: Distanser ovankant

Blandning av brandgipsmassa

En blandningsmaskin av något slag behövs för att kunna blanda brandgipsmassan. I avsnitt 7.1.1 beskrivs ett provgjutningsförsök, som visar hur själva blandningen och gjutningen går till. Blandningen kan göras parallellt med tidigare moment, men bör vara klar när formen är på plats för att spara tid. Man måste tänka på att brandgipsmassan härdar om man väntar för länge innan användning. Härdningen stoppas upp om blandningen hela tiden är i rörelse.

Gjutning av pelare

Gjutningen bör utföras så fort som möjligt efter att brandgipsmassan är färdigblandad och formen är på plats. Brandgipsmassan hålls ner mellan pelare och gjutform genom de hål som finns i formens ovankant. Ett sätt att gjuta på skulle kunna vara att man på något sätt pumpar brandgipsmassan via en slang. Detta skulle till skillnad från att hålla ner brandgipsmassan både spara tid och innebära mindre spill.

Härdning och avformning

Härdningen bör ske samtidigt som bjälklaget härdar vilket gör att tid sparas. Vid den provgjutning som gjorts har formen plockats bort 6 timmar efter gjutning och det har fungerat bra. Denna tid går säkerligen att minska. När väl härdningen är klar kan gjutformen plockas bort vilket bör gå ganska lätt om man har använt formolja.

Detta är bara ett konceptuellt förslag. Genom att utforma en mer analyserad metod, som i stora drag liknar den ovan beskrivna skulle produktionen bli mycket mer effektiv än den metod som använts vid utförda provgjutningar.

10 Slutsats och diskussion

Utifrån det syfte och mål som angavs i början av rapporten anses projektet ha lyckats med målet att ta fram och verifiera en ny sorts brandskyddsmetod för stålpelare kopplat till industriellt byggande.

Stålpelarna kan gjutas in med brandgipsmassa, med olika tjocklek beroende på pelartvärsnitt och vilken brandklass man vill uppnå. Gjutningsmomentet har analyserats för en stående pelare som förses med en gjutform där brandgipsmassan sedan hålls i. För att vara säker på att brandgipsmassan härdat tillräckligt bör gjutformen inte tas bort tidigare än 6 timmar efter gjutning, eftersom denna tid användes under provgjutningen. Dock kan man säkert minska denna tid ännu mer. Enligt tillverkaren finns det även tillsatser som kan påskynda härdningen.

Kritiska moment med brandgipsmassan skulle kunna uppstå om man vill använda tunn brandskyddsisolering. I rapporten är den tunnaste gjutningen utförd med en tjocklek på 10 mm. Detta var inga problem, men kontroller bör göras, om man vill uppnå ett ännu tunnare lager.

Om man jämför den nya brandskyddsmetoden som tagit fram med att klä in stålpelare med skivor kan man sänka arbetskostnaderna ganska rejält. Med en rationell tillverkningsmetod för att gjuta in en stålpelare med brandgipsmassa skulle man kunna halvera tiden det tar att brandskyddsisolera en stålpelare. Dock är brandgipspulvret ett dyrt material, ofta dyrare är vanliga brandskyddsskivor. Den ekonomiska analysen har dock bara gjorts då små mängder köpts in. Skulle ett större parti brandgipspulver köpas in skulle förmodligen priserna sjunka avsevärt. Med en rationell tillverkningsmetod samtidigt som större partier brandgipspulver köps in skulle denna nya brandskyddsmetod kunna komma att bli ekonomisk konkurrenskraftigt. Det kan även tilläggas att en rationell tillverkningsmetod innebär att övriga arbetsmoment inte drar ut på tiden. Exempelvis kan man gjuta både betongbjälklag och brandskydda stålpelarna samtidigt. Detta skulle inte gå att lösa om stålpelarna skulle kläs in med skivor, eftersom bjälklagsgjutningen och brandskyddsinklädnaden då måste ske i omgångar.

För att ta reda på hur mycket en stålpelare kan böjas ut i den övre änden, utan att brandgipsmassan går sönder, gjordes ett deformationstest. Detta visade att sprickor i brandgipsmassan uppstår först då pelartoppen närmar sig en utböjning på 67 mm. En deformation på 67 mm kommer dock aldrig att uppstå under normala förhållanden, varför brandgipsmassan alltid kommer hålla för de deformationer som kan komma att uppstå.

Modulerna kommer från tillverkning till färdig produkt att utsättas för många olika klimat, och likaså de brandskyddsisolerade pelarna. De klimattest som utförts visade att den relativa fuktigheten i en provkropps omgivning inte påverkade brandgipsmassans hållfasthet märkbart. Dock kunde låga temperaturer under 0°C sänka hållfastheten.

Tester har även gjorts för att kontrollera om det går att sänka stomljud i den brandskyddade stålpelaren. Det visade sig att man kunde få en förlustfaktor på 3 % genom att klä in stålpelaren med en asfaltpapp innan gjutning. Detta kan jämföras med en stålpelare som gjuts utan att först kläs in med något dämpande material, där förlustfaktorn hamnar på 0,6 %.

Fördelarna med att gjuta in en stålpelare med brandskydd är många gentemot att klä in med skivmaterial. Rent brandtekniskt hör brandgipsmassa till det brandskydd som kräver minst tjocklek, men ändå uppfyller de ställda kraven. Även den praktiska skillnaden är stor. Hanteringen är enkel med en snabb montering, då en rationell metod har tagits fram. Brandgipsmassan klarar stora deformationer utan att spricka och skulle den gå sönder är det inga problem att laga den. Då skivmaterial används kan det vara svårt att hantera eventuella avvikelser som kan finnas på en stålpelare, exempelvis att den inte är helt rak eller att den inte har exakt samma tvärsnittsmått längs hela dess längd. Detta blir mycket enklare att hantera med brandgipsmassan eftersom denna flyter ut kring pelaren, oberoende av sådana avvikelser.

Ett av de fall som har kontrollerats var att gjuta in en stålpelare med 15 mm brandgipsmassa på tre sidor och 10 mm på den fjärde. Med denna konstruktion, samtidigt som stålpelaren är inbyggd i en innervägg eller en lägenhetsavskiljande vägg, kommer ståltemperaturen för R90 hamna på trygga 350°C. Detta innebär att brandskyddet, rent teoretiskt, skulle kunna vara ännu tunnare och fortfarande verka temperatursänkande på stålet vid brand.

Man kan tänka sig att den totala kostnaden för en färdigisolerad stålpelare skulle kunna minska genom att man istället öka godstjockleken hos VKR-profilen. En enklare överslagsräkning visar dock att en ökning av godstjockleken från 5 mm till 10 mm ger en ökad kostnad på cirka 220 kr/meter. Detta innebär att en 3 meters VKR-profil skulle öka med cirka 660 kr i kostnader genom att öka godstjockleken. Besparingen som då görs i brandskyddsisoleringen uppgår rimligtvis inte till dessa summor.

Lyckas man få ner kostnaderna genom att köpa större partier brandgipspulver samt utveckla en rationell metod för gjutningen ser vi denna typ av brandskyddsisolering som ett bra alternativ för BAU-HOWs produktion.

11 Förslag till fortsatta studier

Brandskyddsisoleringen har analyserats med avseende på tänkta risker som kan komma att uppstå under tillverkning och användandet. Eftersom dessa analyser gjorts med goda resultat finns det därför en stor anledning till fortsatta studier om brandskyddet.

Kontroll av vilken ståltemperatur som en brandisolerad stålpelare uppnår vid olika brandklasser har enbart tagits fram teoretiskt. Ett praktiskt brandtest borde därför utföras och sedan jämföras med de värden som tagits fram teoretiskt.

Denna rapport har inte heller behandlat hur brandgipsmassan reagerar då den utsätts för en brand. En kontroll borde därför göras för att se om brandgipsmassan verkligen sitter kvar på stålpelaren under en brand.

Någon studie har inte gjorts för att undersöka huruvida brandskyddsisoleringen ger ifrån sig byggfukt. En analys om hur lång tid det tar för byggfukten att torka ut efter gjutning bör göras. Detta för att veta om det kommer byggas in byggfukt eller ej när stålpelarna integreras med innerväggar och lägenhetsavskiljande väggar.

Även en studie som behandlar hur modulerna är fastsurrade vid transport och hur pelarna är stabiliserade borde göras. Med ingångsvärden som tar hänsyn till detta kan en mer noggrann analys av pelarnas deformation vid transport göras.

En beläggning med asfaltpapp på stålpelarna visade sig kunna minska stomljud. En fortsatt studie huruvida denna stomljudsreducering bedöms vara tillräcklig för att kunna koppla samman brandskydd med intilliggande väggar bör göras. Är stomljudsreduceringen så pass liten, trots asfaltbeläggningen, att brandskyddet måste frikopplas från väggarna ändå?

Även valet av material som man klär in pelaren med, i detta fall asfaltpapp, bör tänkas igenom. En asfaltpapp är inte det bästa materialet att använda i konstruktioner som befinner sig inomhus eftersom de lätt avger dålig lukt. (Molnár, 2010)

Referenser

Litteratur

- Andersson J, Ranby A (1991). *Brandskydd av stålkonstruktioner – Publikation 127*
- Andersson J, Axhag F m.fl. (1997). *Stålbyggnad*
- Bodén H, Carlsson U m.fl. (2001). *Ljud och Vibrationer*
- Buchanan A (2001). *Structural Design for Fire Safety*
- European Committee for Standardisation (2004) *Eurocode 3: Design of steel structures*
- Hugosson P, Andersson P (2008). *Basic data for dimension of cargo securing of modules from BAU-HOW*
- Isaksson T, Mårtensson A (2006). *Byggkonstruktion – Tabeller- och formelsamling*
- Isaksson T, Mårtensson A m.fl. (2005). *Byggkonstruktion*
- Loberg B (1999). *Geologi: Material, processer och Sveriges berggrund*
- Magnusson S-E, Pettersson O m.fl. (1974). *Brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner*
- Nevander L-E, Elmarsson B (2006). *FUKT handbok – Praktik och teori*
- Tepro (1993). *Publikation 107 – Byggteknisk anvisning Promatek brandisolering av inbyggda stålpelare i yttervägg*
- Tepro (1998). *Publikation 138 – Promatect Brandisolering av stålkonstruktioner*
- Thor J (2009). *Fire Safety Design I BAU-HOW Building System*

Elektroniska dokument

- Gyproc Handbok 7 (2010). *Gyproc Handbok*. Hämtat 2010-02-26.
http://www.gyproc.se/files/PDF/Sweden/brand_begr.pdf
- Hulander T, (2005). *Fuktskadeteknik AB – Fuktmekanik, fukt i luft och material*, Hämtat 2010-02-17, <http://www.fuktskadeteknik.com/uploads/fuktiluftomaterial.pdf>
- Promat (2006). *Brandisolering av bärande stålkonstruktioner med Promatect*
Hämtat 2009-10-13

http://www.cembrit.se/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=%2fFiles%2fFiler%2fSE%2fInstallation+Manuals%2fba_promatect.pdf

Rockwool (1999). *Conlit Brandbeskyttelse* Hämtat 2009-10-28
http://guiden.rockwool.dk/media/15962/conlit_brandbeskyttelse.pdf

Stålbyggnadsinstitutet (2009). *Brandskydd av stålkonstruktioner – skillnader i krav och regler*. Hämtat 2009-10-22
<http://www.sbi.nu/uploaded/dokument/files/Brandskydd%20av%20st%C3%A5lkonstruktioner.pdf>

Svecon Svensson Construction AB (2003). *Dimensioneringsregler för pelare av konstruktionsrör*. Hämtat 2009-10-29
<http://www.hpcbalken.com/PelarDim.pdf>

Websidor

BAU-HOW (2009). *BAU-HOW* Hämtat 2009-10-14
<http://www.bau-how.com>

Boverket (2008). *Boverkets byggregler* Hämtat 2010-03-29
<http://www.boverket.se/Om-Boverket/Webbokhandel/Publikationer/2008/Regelsamling-for-byggande-BBR-2008/>

Byggbasen (2010). *Brandskyddsfärg* Hämtat 2010-03-29
<http://www.byggbasen.com/prod/brandskyddsfarg/2144.html>

Firesafe (2009). *Alternativ för brandskydd av stål* Hämtat 2009-10-14
http://www.firesafe.se/konstruktor_alternativ_brandskydd_stal.asp

Gyproc (2009). *Gyproc Handbok*. Hämtat 2009-10-13
<http://www.gyproc.se/bibliotek/gyproc+handbok/gyproc+handbok+pdf>

Stålbyggnadsinstitutet (2009). *Brandskyddsdimensionering av stålkonstruktioner*, Hämtat 2009-10-06,
http://www.sbi.nu/omraden/o_dokument.asp?mId=3&kId=64&subKId=0&mgrp=0&dId=20

Nationalencyklopedin (2009). *Gipsskiva*. Hämtat 2009-10-13
<http://www.ne.se/lang/gipsskiva>

Norgips (2004). *Montageanvisningar*. Hämtat 2009-10-13
<http://www.norgips.se/index0,598.htm>

Norgips (2007). *Brand och ljudkrav*. Hämtat 2009-10-16

<http://www.norgips.se/projektering/generellt/brandljudkrav>

Rockwool (2009). *Brandsäker isolering – Skillnad i brandmotstånd*
Hämtat 2009-10-14

<http://www.rockwool.se/r/%c3%a5d+och+anvisningar/brands%c3%a4ker+isolering/skillnad+i+brandmotst%c3%a5nd>

Vasa, Bygg & Rakennus (2009). *Wasa sprutisolering*. Hämtat 2009-11-04
<http://www.wbr-yhtiot.fi/SV/ruiskueristys.htm>

Muntliga

Burström P G, Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola,
2010-02-23

Johansson J & Pers H, Civilingenjörer akustik, ACAD international AB, 2010-02-09

Kamstedt M, Teknisk Produktionschef, Rockwool AB, 2009-11-08

Klarin P, Technical consultant, BAU-HOW, 2010-01-13

Larsson T, Key Account Manager, Rockwool AB, 2009-11-30

Lilliequist K, Wikells Byggber kningar AB, 2009-11-20

Moln r M, Lektor, Avdelning för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola,
2010-04-06

Rangse J, Stuckat ren AB, 2009-11-24

Thelander sson, Sven, Professor, Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds
Tekniska Högskola, 2010-03-19

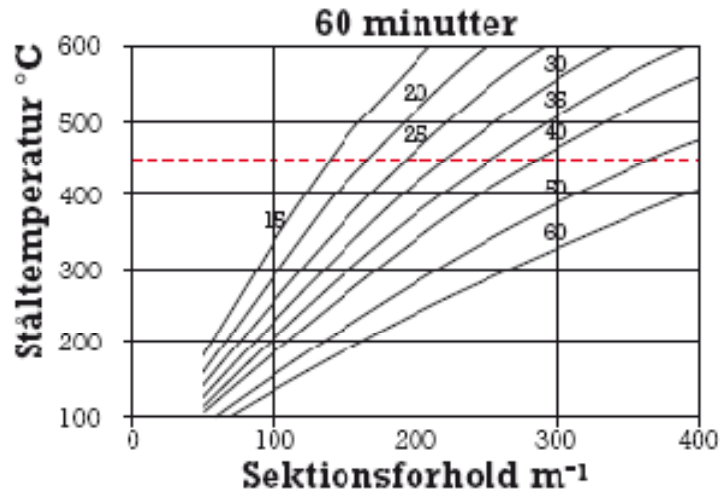
Thor J, Brandskyddslaget, 2009-10-07

Wadsö, L, Forskare, Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola,
2010-03-30

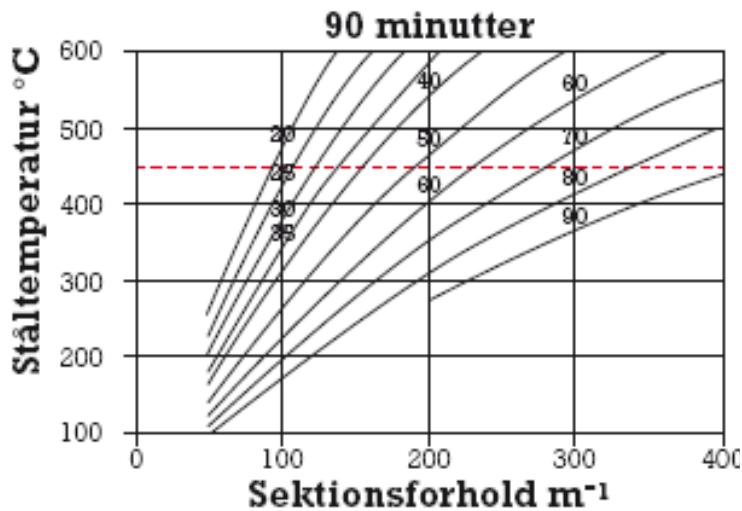
Bilaga 1

Tabell 1: Bestämning av isoleringstjocklek f r Promatect H

VKR 100x100xt			Inklädnad 3 sidor		
Tjocklek [mm]	F/A [m ⁻¹]	60 [min]	90 [min]	120 [min]	
4,0	197	25	35	40	
5,0	160	20	30	35	
6,3	129	15	25	35	
8,0	104	12	20	30	
10,0	86	12	20	25	

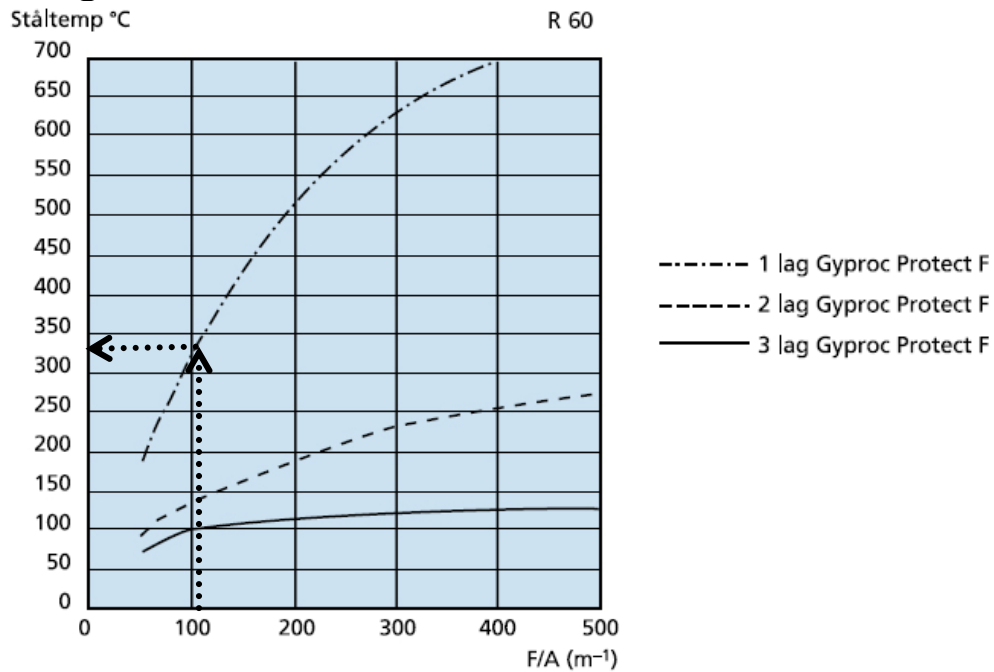


Figur 1: Best mning av isoleringstjocklek med Conlit 150 f r R60

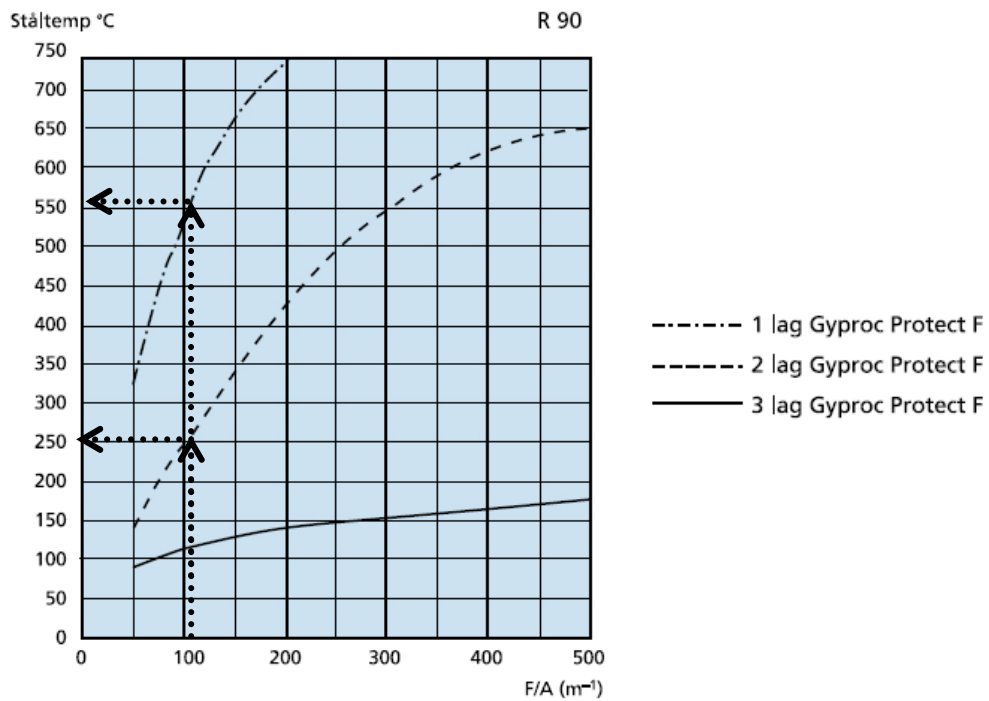


Figur 2: Best mning av isoleringstjocklek med Conlit 150 f r R90

Bilaga 2

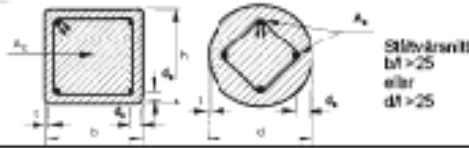


Figur 3: Avl sning isoleringstjocklek R60



Figur 4: Avl sning isoleringstjocklek R90

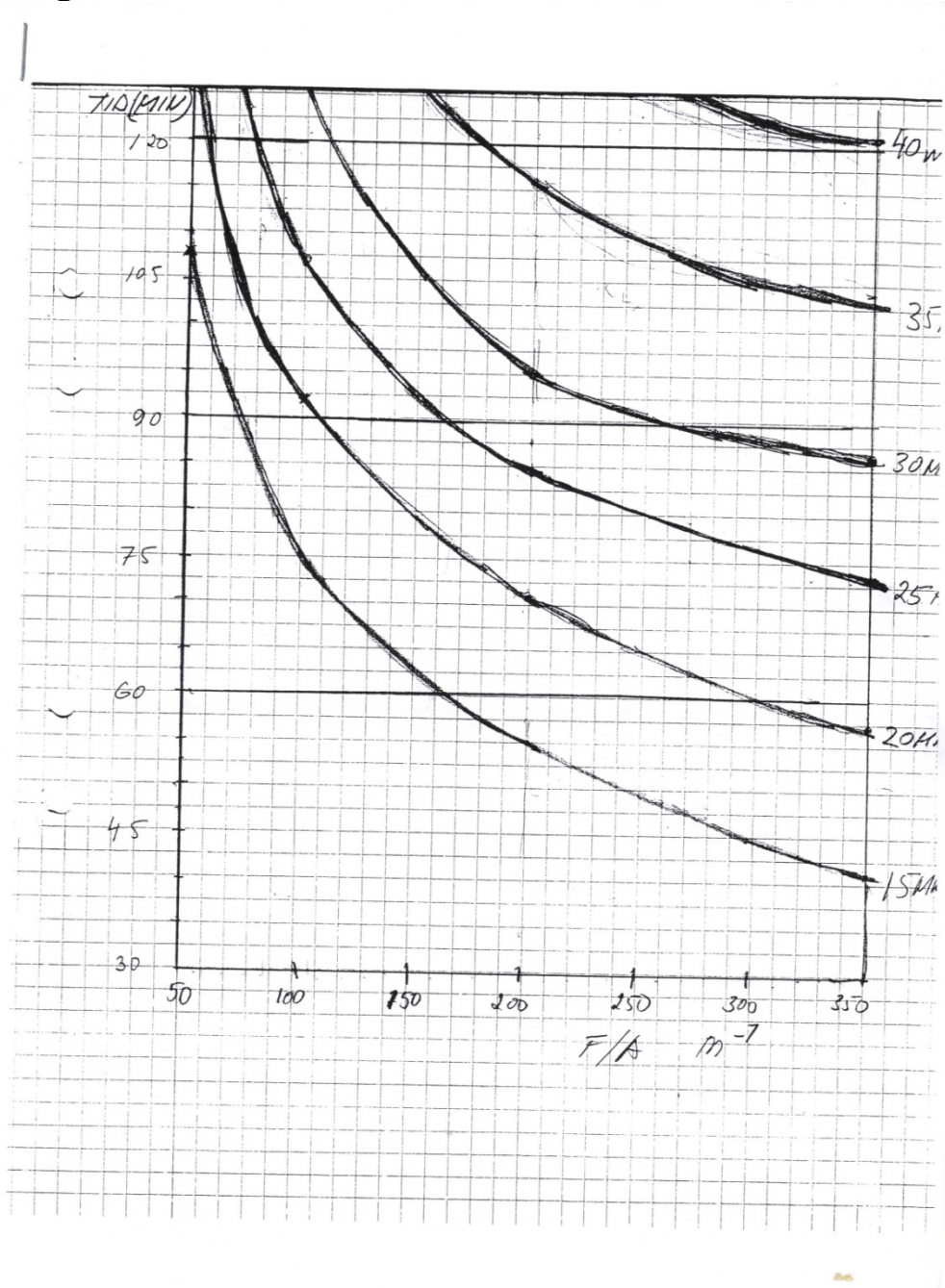
Bilaga 3



Stålvärsnitt bf > 25 eller df > 25	Brandklass				
	R30	R60	R90	R120	R180
Minsta tvärsnittsmått för $\mu = 0,3$					
Minimbredd (b) eller diameter (d)	160	200	220	260	400
Minsta armeringsandel (p_s)	0,0	1,5	3,0	8,0	8,0
Minsta kantavstånd (d_s)	-	30	40	60	60
Minsta tvärsnittsmått för $\mu = 0,5$					
Minimbredd (b) eller diameter (d)	260	260	400	250	500
Minsta armeringsandel (p_s)	0,0	3,0	6,0	8,0	8,0
Minsta kantavstånd till (d_s)	-	30	40	50	60
Minsta tvärsnittsmått för $\mu = 0,7$					
Minimbredd (b) eller diameter (d)	260	450	500	-	-
Minsta armeringsandel (p_s)	3,0	8,0	6,0	-	-
Minsta kantavstånd till (d_s)	25	30	40	-	-

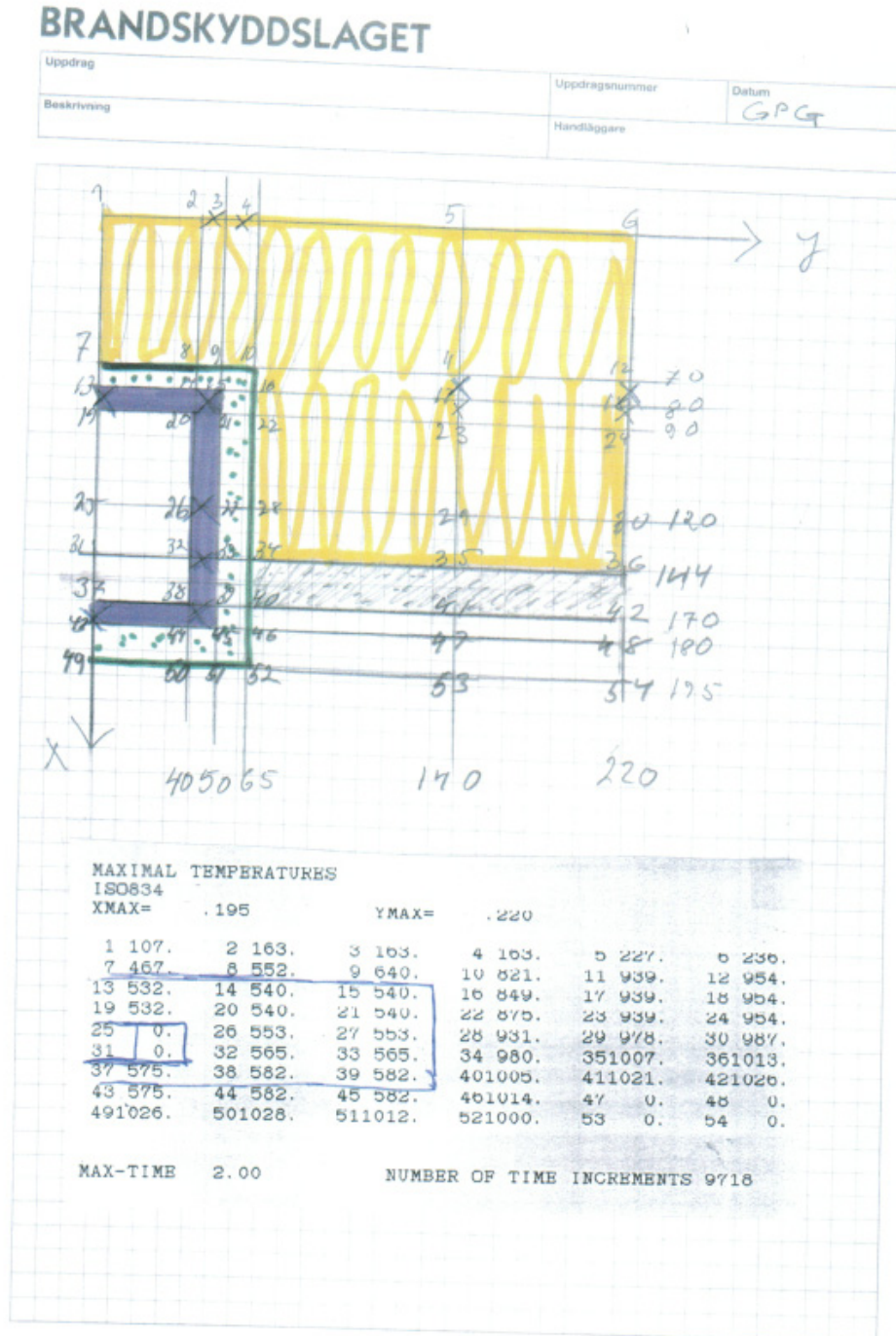
Figur 5: Minsta tvärsnittsmått med hänsyn till brandklass vid olika utnyttjandegrader, μ

Bilaga 4



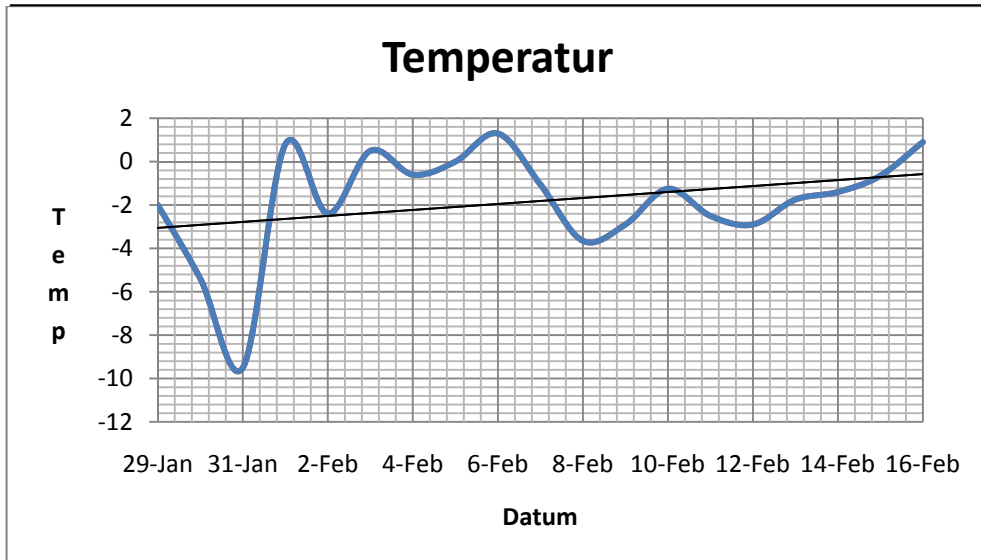
Figur 6: Dimensionering av isoleringstjocklek i förhållande till F/A och Brandklass

Bilaga 5

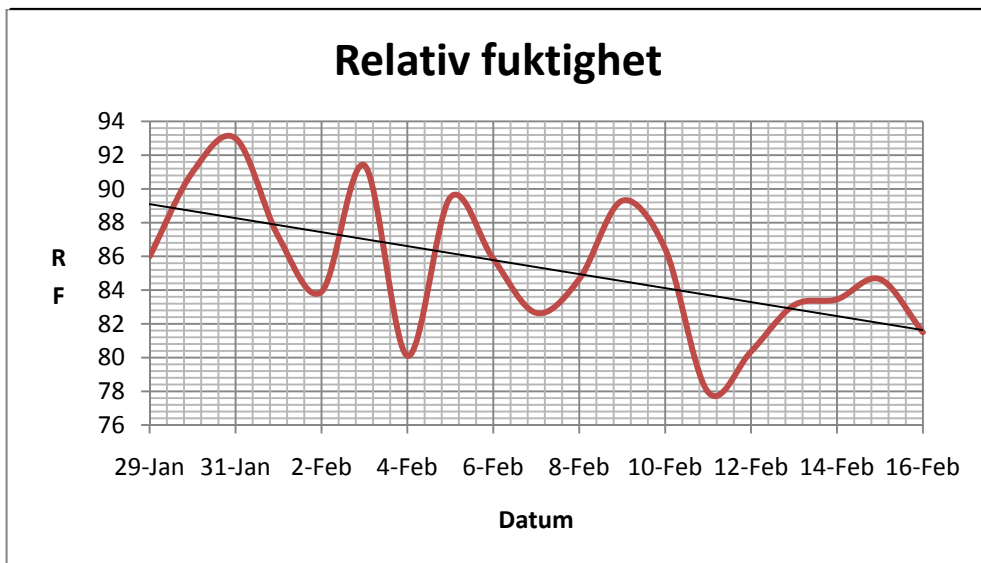


Figur 7: Temperaturer i brandutsatt väggkonstruktion

Bilaga 6



Figur 8: Temperaturvariation under provtiden för provkropp 4



Figur 9: RF-variation under provtiden för provkropp 4

Bilaga 7

C E R T I F I K A T

TYPGODKÄNNANDEBEVIS 0345

MED BESLUT OM TILLVERKNINGSKONTROLL

SAKORD: BRANDSKYDD, BBR 5
Brandisolering av stålkonstruktioner BSAB GS
monteringsfärdiga element i hus.

FPS – ELEMENT FÖR BRANDISOLERING AV STÅLKONSTRUKTIONER

Innehavare
SMP Putsprodukter AB, Tallbacksgatan 11, 195 72 Rosersberg, Hemsida: www.fpsbrandskydd.se
Tel: +46 (0)8-590 363 40, Fax: +46(0)8-590 363 41, E-post: info@fpsbrandskydd.se

Produkt
FPS – Element av halvhydratgips för brandisolering av stålprofiler.
Produktbeskrivning, dimensionering samt montering framgår av tillhörande handlingar.

Avsedd användning
Brandskyddsisolering av bärande stålkonstruktioner, inomhus.

Godkännande
Produkten godkänns med avseende på följande avsnitt i Boverkets Byggregler (BBR):

Typgodkännande och tillverkningskontroll	1:4
Bärförmåga vid brand*	5:8
Emission	6:221

*Brandskyddad konstruktions brandmotstånd för varierande elementjocklekar och stålprofiler samt övriga förutsättningar framgår av tillhörande handlingar.

För avsedd användning uppfyller produkten följande krav i 2§ Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m. (BVL):

2. Säkerhet i händelse av brand
3. Hygien, hälsa och miljö

Giltighetstid
Beslutsdatum 2006 09 20. Dnr 397/04. Typgodkännandet gäller t o m 2007 06 13.
Detta typgodkännandebevis ersätter tidigare bevis med samma nummer, daterat 2004 11 15, Dnr 397/04
Godkännandet förutsätter att innehavaren årligen rapporterar till Swedcert om utförd tillverkningskontroll.
Vid leverans till byggsplats skall produkten åtföljas av tillverkarförsäkran enligt BFS 2000:27, TYP 2.

SWEDCERT AB	Bilaga 1 Tillhörande handlingar	2004 11 15
	Bilaga 2 Produktmärkning	2004 11 15
	Bilaga 3 Kontrollanvisningar	2004 11 15
	Bilaga 4 Bedömningsunderlag	2004 11 15


Bertil Wolgast
VD


Magnus Jerlmärk
TA

 **SWEDCERT** 

SWEDCERT AB, Campus Gråsvik 1, S-371 75 Karlskrona, Tel +46 (0)455 305600, Fax +46 (0)455 10436



VARUINFORMATIONSB LAD
(91/155/EEC-ISO 11014)
Uppdatering 2005-04-08

1.	<u>Produktens namn och leverantör</u>		
Produktens namn:	FPS-Brandskyddsmassa/Brandskyddselement Tg nummer 0345 / 0287.		
Tillverkare:	SMP AB Tallbacksgatan 11 195 72 Rosersberg		
Leverantör:	SMP AB	Tel	+46 (0)8 590 363 40
	Tallbacksgatan 11	Fax	+46 (0)8 590 363 41
	195 72 Rosersberg		
	www.fpsbrandskydd.se		info@fpsbrandskydd.se

2.	<u>Sammanställning/Innehållsdeklaration</u>		
Produkt:	Kalciumsulfat (bruk) Framställt av naturliga råvaror.		
Kemiskt namn:	Kalcium Sulfat Hemihydrat		
Kemiska �mnen	CaSo 4 0,5 H ₂ O Mineralhalt (Perlit) <3% Släckt kalk <1% Glasfiber förstärkt.		
�mnen som ger varan dess h�lssofarlighet eller milj�sofarlighet:	Inga		

3.	<u>Farliga Egenskaper</u>		
Kan orsaka hudirritation (mekanisk effekt) [R-Fras : 36/37/38]			
Kan orsaka irritation vid �gonkontakt [S-Fras : 26]			

4.	<u>Första hjälpen</u>		
Hudkontakt:	Tvätta noga med vatten och tvål.		
Ögonkontakt:	Tvätta genast med mycket vatten, uppsök läkare om irritation kvarstår.		



5.	<u>�tg�rder vid brand</u>	
Släckmedel:	Ej Brännbart, ger ej näring till öppen eld Produkten används som brandskyddsmassa.	
-Lämpliga -Olämpliga Specifika risker		
Skydd för brandsl�ckningspersonal:	Skyddsutrustning som normalt används vid brandbekämpning.	
6.	<u>�tg�rder vid spill och oavsiktligt utsläpp</u>	
Personliga Skyddsåtgärder:	T�m ej material i avlopp, rännstenar eller vattendrag eftersom materialet h�rtnar vid kontakt med vatten.	
Miljöskyddsåtgärder Saneringsmetoder:	Sopning, uppsugning, skrapning när vatten tillsatts.	
7.	<u>Hantering och lagring</u>	
Hantering:	Använd skyddshandskar eller kräm vid känslighet för högt pH. Känsliga personer bör använda en lätt mask och dammt�ta glasögon.	
-Tekniska �tg�rder -Speciella försiktighetsåtgärder -R�d f�r egenhantering		
Lagring:	Stapling, se till att pallarna står stadigt, speciellt på ojämnt underlag.	
-Tekniska �tg�rder -Lagringsvillkor -Lämpligt -Bör undvikas -Oförenliga produkter		
Emballagematerial:	Förpackad i papperssäckar eller förstärkt med polyetylen.	
-Rekommenderas -Ej lämplig		

Risicanalys och verifiering av brandskydd på stålpelare



8.	<u>Begränsningar av exponering / Personliga skyddsåtgärder</u>
Tekniska åtgärder	
Kontrollparametrar	
-Gränsvärden	
-Biologisk standard	
-Referenser	
-Övervakningsprocedurer	
Personlig Skyddsutrustning:	Dammtäta handskar, glasögon och lätt mask för känsliga personer.
-Andningsskydd	
-Handskar	
-Ögonskydd	
-Hud- och kroppsskydd	
Hygienåtgärder:	Tvätta med tvål och vatten.

9.	<u>Fysikaliska och kemiska aspekter</u>
Fysikaliskt tillstånd:	Gråvitt pulver utan specifik lukt.
-Form	
-Färg	
-Lukt	
pH:	9 till 11 (20° 5g/l i vatten) Torrt, 5 till 7
Specifik temperatur vid vilket det fysikaliska tillståndet förändras:	Omvandlingstemperatur > 1200° C (omvandling).
Löslighet:	ca 10g/l

10.	<u>Stabilitet och reaktivitet vid lagring</u>
Stabilitet	
Tillstånd som bör undvikas:	Hårdnar vid kontakt med vatten
Material som bör undvikas	
Farliga omvandlingsprodukter (utom CO-CO ₂ -H ₂ O)	Svavelanhydrid + CaO (osläkt kalk) vid temp > 1200° C

11.	<u>Toxikologisk Information</u>
Kan irritera ögon, hud, och andningsvägar hos känsliga personer.	
-Emissioner	Inga, testad med FLEC-metoden.
-Akut giftighet	Inga
-Lokala effekter	Inga
-Sensibilisering	Inga
-Kronisk giftighet	Inga
-Specifika effekter	Inga



12. Ekotoxikologisk information

Mobilitet

Beständighet/nedbrytbarhet:

Kalciumsulfat  r l ttl sligt i vatten
(l slighet ca 10g CaSO₄/l)

Bioackumulering:

Sulfat bildar svavelväte i samband med organiska material under vissa anaeroba förutsättningar.

Ekotoxicitet:

Avfall, Svaveljonen  r en av de minst giftiga anjonerna (1993 års guide för drickbart vatten – OMS)

Övrig data

13. Avfallshantering

Metoder för säker och miljövänlig avfallshantering.

- tervinning av produkt

-Lagring i deponier enligt klass 3 (beständigt avfall)

-Förvaras ej med organiskt avfall

-Kasta inte produkten i avlopp av mekaniska skäl (risk för stopp)

-Avfall bestående av restmaterial

Inga specifika bestämmelser

-Förorenat emballage

Respektera bestämmelserna för avfallshantering av förpackningsmaterial.

14. Transportinformation

-Landtransport

-Inrikes sjötransport

-Utrikes sjötransport

-Luftfrakt

-FN-klassificering

-Övriga bestämmelser

Klassificeras ej som farligt gods enligt internationella transportbestämmelser.



15. Märkningsbestämmelser

Ej märkningspliktig enligt Kemikalieinspektionens föreskrifter om klassificering och märkning av kemiska produkter, KIFS 1994:12.

16. Övrig Information

Varuinformation anger produktens innehåll och handhavande, för användningsätt se bruksanvisningen.

Numeriska S- & R-Fraser, punkt 3	Fullständig lydelse
R-Fras: 36/37/38	Irriterande för ögon och inandning på grund av pH-värdet.
S-fras: 26	Vid ögonkontakt skölj med vatten och vid kvarstående besvär uppsök läkare. Faktorer är PH-värdet samt den irriterande effekten som uppstår vid fast materias kontakt med ögat om det inte avlägsnas. Avlägsna enligt punkt 4.

Bilaga 8

Jämförelse tryckhållfasthet mellan brandgipsmassa och betong

3 dagars Brandgipsmassa		
Tryckhållfasthet [MPa]		4.15
Betongkvalitet	Tryckhållfasthet [MPa]	Antal gånger bättre tryckhållfasthet för betong
C20/25	27.5	6.6
C25/30	33	8.0
C28/35	38.5	9.3
C30/37	40.7	9.8
C32/40	44	10.6
C35/45	49.5	11.9
C40/50	55	13.3
C50/60	66	15.9

28 dagars Brandgipsmassa		
Tryckhållfasthet [MPa]		8.25
Betongkvalitet	Tryckhållfasthet [MPa]	Antal gånger bättre tryckhållfasthet f�r betong
C20/25	27.5	3.3
C25/30	33	4.0
C28/35	38.5	4.7
C30/37	40.7	4.9
C32/40	44	5.3
C35/45	49.5	6.0
C40/50	55	6.7
C50/60	66	8.0