



Metoder och tekniker för halmhalshuskonstruktion

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

JONATHAN WILKINS

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2012
Examensarbete 2012:75

EXAMENSARBETE 2012:75

Metoder och tekniker för halmbalshuskonstruktion

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

JONATHAN WILKINS

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

Göteborg, 2012

Metoder och tekniker för halmbalshuskonstruktion

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

JONATHAN WILKINS

© JONATHAN WILKINS, 2012

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2012:75

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

Omslag:
Självbärande halmbalshus i tre våningsplan, ritad av Werner Schmidt, uppförd i
Italienska sydtyrolen.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2012

Metoder och tekniker för halmbalshuskonstruktion
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

JONATHAN WILKINS

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

SAMMANFATTNING

Syften med studien är att utforska möjligheterna att bygga hus av naturliga material med så liten förädlingsprocess som möjligt, i syfte att öka brukarens resiliens och oberoende av industriella processer. Fokus har satts på metoden att bygga hus med beklädda halmbalar, s.k. halmbalshus, där litteratur i ämnet har givit grunden till de allmänt beskrivande delarna av rapporten. En analyserande studie har genomförts där två olika väggtyper; självbärande och ickesjälvbärande, jämförts utifrån värmeisolerings- och bärighetsperspektiv. Frågeställningen i denna jämförelse är främst; hur väggarnas funktionalitet och prestanda skiljer sig tack vare att den enes halmfibrerriktning är lodrät och den andres vågrät. Att minska beroendet av långa industriella processer är nämnt i syftet, men ingen livscykelanalys har gjorts på de olika materialen som tagits upp i studien. Det har antagits att vissa material har kortare förädlingsprocess än andra. Resultatet av den jämförande studien visade att väggtypen med lodräta halmfibrer och en separat bärande träregelstomme var isoleringsmässigt fördelaktig tack vare fibrerriktningen. Antagandet kvarstod dock att den homogena självbärande halmbalsväggen krävde mindre tid och material att uppföra.

Nyckelord: Halmbalshus, lera, halm, fukt, värme, isolering, bärighet,

Methods and techniques for straw bale house construction

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

JONATHAN WILKINS

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of building technology

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The purpose of the thesis is to investigate the possibilities to construct buildings with natural materials that have small or no refining process, with the intent to increase the user's resilience and independence from industrialized products. The focus of the thesis is the method of building with straw bales clad in render, so called: Straw bale houses, where literature on the subject has been the major source of information. The analytic part of the thesis consists of a study that compares two different straw bale wall types; load bearing and non load bearing, in aspects of heat transmission and structural integrity. The question that the comparative study aims to question is: how does the performance of the wall differ due to difference in straw fibre direction. To increase the user's independence from industrial process is mentioned in the purpose, but it is important to note that the thesis does not calculate or mention life cycle costs for any of the materials mentioned, it is assumed that certain materials are less refined than others. The results of the analytic study showed that the wall with a separate load bearing wooden structure and vertical straw fibres was beneficial in terms of heat transmission. The assumption remains however that the load bearing straw bale wall requires less time and materials to construct.

Key words: Straw, bale, clay, render, heat transmission, moisture, insulation value

Innehåll

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Avgränsningar	2
2	METOD	3
3	BYGGANDE MED NATURLIGA MATERIAL	4
3.1	Halmbalshus	4
3.2	Halm som material	5
3.3	Halmbalarna	5
3.4	Bärighet	6
3.5	Fukt	10
3.6	Byggda halmbalshus	13
3.6.1	Swarthemore college 1994-1998	13
3.6.2	Solar Haven, Arizona	15
3.6.3	Werner Schmidt	16
4	ENKELSTUGAN – EN JÄMFÖRELSE I BÄRIGHET OCH VÄRMELEDNING	18
4.1	Förutsättningar	19
4.2	Träregelstomme	21
4.2.1	Bärighetsberäkningar	21
4.2.2	Värmeisoleringsförmåga	24
4.3	Självbärande halmbalsvägg	26
4.3.1	Värmeisoleringsförmåga	26
5	RESULTAT	28
6	ANALYS	29
7	SLUTSATS	30
8	DISKUSSION	31
9	REFERENSER	33

Beteckningar:

Latinska versaler

$E_{0,05}$	Elasticitetsmodul
Gk	Egentyngd
L_c	Knäcklängd
Nd	Normallast
Qd	Dimensionerande last
R	Värmemotstånd
R_{se}	Exteriört ytmotstånd
R_{si}	Interiört ytmotstånd

Latinska gemena

$f_{c,0,d}$	Dimensionerande tryck parallellt mot fibrerna
$f_{c,0,k}$	Karakteristiskt tryck parallellt mot fibrerna
i_y	Tröghetsmoment
$k_{c,y}$	Instabilitetsfaktor
k_{mod}	Omräkningsfaktor som beaktar fukt och lasters varaktighet
k_y	Reduktionsfaktor
qk	Variabel last

Grekiska

β_c	Rakhetsfaktor
γ_m	Partialkoefficient
λ	Värmeledning
λ_y	Slankhet
$\lambda_{rel,y}$	Relativ slankhet
$\sigma_{c,0,d}$	Dimensionerande spänning parallellt mot fibrerna

Ordlista:

Resiliens: Ekologisk resiliens är ett mått på ett ekosystems förmåga att klara av störningar utan att övergå till ett annat tillstånd.

Fondresurs: Naturlig regenerativ resurs som riskeras att slås ut om den exploateras i för hög utsträckning. Exempelvis fiskebestånd

Lagerresurs: Naturlig resurs som bildats under väldigt lång tid, går inte att återinföra i ekosystemet efter att den har exploaterats

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Den mängd energi som finns tillgänglig på jorden är konstant, förutom den energi som tillkommer från solens strålning. Solen är drivkraften för alla system, alla organismer är antingen primära eller sekundära konsumenter av solenergin. När människan fick större hjärna och lärde sig att organisera sig i stora grupper och utnyttja lantbruk och andra stationära livsstilar, förändrades hennes sätt att nyttja jordens resurser. Förr hade människan varit ett rovdjur och jagat och samlat och tagit resurser från kretsloppet som ganska lätt kunde regenereras av naturen. När sedan lantbruket och civilisationer började etableras ökade även den mänskliga populationen markant. Födoförskaffningen kunde helt enkelt effektiviseras vilket medförde möjligheter att livnära en allt större befolkning per ytenhet. Denna befolkningsexplosion var möjlig på grund av nya metoder att exploatera resurser som fanns bundna i marken, detta innefattar även lantbruk som innebär utarmning av näringsrik jord. Detta var ett förstadium till nästa stora befolkningsexplosion, den industriella revolutionen, då människan gick ett steg längre med exploatering och uttömning av lagerresurser, d.v.s. resurser bundna i marken. Upptäckter så som stenkol, ångmaskinen och olja innebar en enorm ökning i möjligheter att exploatera alla typer av resurser på jorden.

Situationen som råder idag är att vi människor uttömmar jordens resurser i en extremt hög takt, inte bara fondresurser som djur och växter, utan även de lagerresurser som kräver väldigt lång tid att bildas, så som olja och gas. För att människans existens på jorden ska vara hållbar krävs att det inte tas mer från naturen än vad som kan återskapas naturligt eller återinföras. Ett sätt att göra detta är att minska energiförbrukningen i bostadssektorn som för närvarande står för ca 35 % av landets energiförbrukning, enligt Kyrkander, 2011. Många av de material som används i byggbranschen idag är tungt industrialiserade, så ett sätt att försöka minska energiförbrukningen i byggsektorn är att undersöka alternativa metoder och material för byggnader.

1.2 Syfte

Studiens syfte är att utforska möjligheterna att bygga hus av naturliga material med så liten förädlingsprocess som möjligt, i syfte att öka brukarens resiliens och oberoende av den industriella processen. De metoder och material som belyses kommer även att granskas i energimässig duglighet och övergripande funktionalitet. Jämförelser kommer att göras med konventionellt modernt byggande. I de avslutande kapitlen kommer, avseende intresse av Alingsås passivhuscentrum, jämförande bärighets- och isoleringsberäkningar göras på väggarna på en enkelstuga med självbärande halmstomme respektive bärande trästomme med halmbalsisolering. Detta för att belysa fördelar och nackdelar med de två olika byggmetoderna för framtida projekt.

1.3 Avgränsningar

Då ämnet är väldigt brett har vissa avgränsningar gjorts och studien har gått in på djupet i vissa områden. Studien undersöker möjligheten att minska beroendet av industrialiserade produkter men inga mätningar eller jämförelser har gjorts för att fastställa livscykelkostnader eller liknande för de material som tas upp i studien. Det har antagits att vissa byggmaterial, så som halm och lera, har en kortare industrialiseringsprocess än konventionella, så som gips och mineralull. Studien har fokuserat på halmbalshus och metoder att bygga dessa men gått in i detalj endast på halmbalsväggar. Möjligheter att använda sig av liknande metoder för andra byggnadsdelar, t.ex. takkonstruktioner, har inte utforskats.

Fukt och värmemagasinerings i konstruktion är viktiga aspekter för bedömningen av funktionaliteten av en byggnad, detta har inte tagits med i studiens beräkningar, dock har dess betydelse nämnts i rapporten. Vidare studier inom detta område behövs för att få större förståelse för naturliga byggmaterials egenskaper.

Då allmänt kända och accepterade beräkningsmodeller för bärighet hos halmbalsväggar saknas har studien förlitat sig på hållfasthetsvärden från en mängd tester som gjorts på halmbalsväggar i andra studier.

I studien nämns fördelar och nackdelar med vissa konstruktionsalternativ med hänsyn till materialåtgång och arbetstid. Viktigt att notera är att det inte har utförts någon typ av ekonomisk beräkning i studien.

2 Metod

För studien har litteratursökning använts som främsta metod för erhållande av information. Teoridelen av rapporten förlitar sig huvudsakligen på avhandlingar och böcker i ämnet. Dessutom har böcker om historiskt byggande använts för att få en bredare bild av alternativen tillgängliga för byggande av naturliga material. Databassökningar som Summon och Libris har använts för att hitta avhandlingar i ämnet skrivna av internationella forskare.

3 Byggande med naturliga material

Då valet är gjort att bygga med naturliga material finns det en uppsjö av olika material att använda sig av. Timmerhus är en gammal svensk tradition och lämpar sig bra i områden med mycket skog, men trä som material har ett relativt högt λ -värde (konduktivitet) på 0,14 W/mk, vilket innebär att en opraktisk väggjocklek hade krävts för att uppnå önskvärt U-värde. Samma gäller stenmaterial då det har ett även sämre λ -värde. För studien har halmbalsmetoden valts som byggmetod då den, enligt Swantzell Steen, 1994, är fördelaktig både ekonomiskt och miljömässigt. Halm i sig har ett väldigt lågt λ -värde, 0,06 W/mK, och är samtidigt ett lättillgängligt och billigt material. Priset på halm uppgår i Sverige till ca: 10-100 kr/m³, vilket går att jämföra med kubikmeterpriset på betong; 1500-2000 kr, eller trä; 2500 kr. Energiåtgången för att producera halmbalar uppskattas till 14 MJ/m³ vilket är en 77:e del av energiåtgången för produktion av mineralull som ligger på 1077 MJ/m³. Samtidigt är byggprocessen enklare och snabbare för halmbalshus än för konventionellt byggda hus. Generellt krävs mindre erfarenhet vid montering.

3.1 Halmbalshus

Det finns i huvudsak två typer av halmbalshus; självbärande och ickesjälvbärande. Ickesjälvbärande halmbalshus förlitar sig på en primär stomme, vanligtvis av stål eller trä. Självbärande halmbalshus, så kallad Nebraskabyggda, bär upp horisontella och vertikala laster (tak, snö, vind, egentygnd, etc) helt med hjälp av halmbalarna. Dock kan yttre beklädnad hjälpa till med stadga. Den största fördelen med ickesjälvbärande är att slippa begränsningen av halmets relativt svaga bärförmåga, vilket öppnar upp för möjligheten att bygga höga konstruktioner med stora laster utan att behöva bygga halmbalsväggar med väldigt stora dimensioner. Praxis är att förhållandet mellan vägghöjd och väggjocklek inte bör överstiga 5:1, enligt Minke, 2005. En av de största nackdelarna med separat bärande stomme av trä eller stål är att den skapar allvarliga köldbryggor, dvs. värme tar sig lätt ut genom klimatskalet. I synnerhet då stommen penetrerar hela väggjockleken. En trästomme med liggande halmbalar som mellanväggar, i jämförelse med ett homogent skikt av halm, medför väldigt stora försämringar för väggens värmeisoleringsförmåga. Dessutom skapas många timmars ytterligare arbete. Är halmbalarna inte bärande kan dock dessa placeras så att fiberriktningen går lodrätt istället för vågrätt och därmed uppnås bättre isoleringsegenskaper. Frågeställningen huruvida detta spelar in på en väggs totala isoleringsförmåga kommer att besvaras i den jämförande studien. Både självbärande och ickesjälvbärande väggtyper brukar täckas med någon form av panel eller ytskikt. Vanligt är att täcka med lerbruk på både insida och utsida, men även träpanel förekommer som beklädnad.

En annan viktig aspekt av konstruktion med halmbalar är mängden arbetsmoment som inte kräver erfaren arbetskraft. I konventionellt byggande är det många arbetsmoment som kräver avancerade verktyg och erfarna montörer. Enkelheten i halmbalsväggen medför att en stor del av arbetet består enbart av stapling av halmbalar, vilket oftast kräver liten erfarenhet. Det är förstås viktigt att någon på plats kan genomföra

kvalitetskontroll och se till att arbetet utförs på rätt sätt, men kravet på andel byggnadsarbetare med erfarenhet är relativt låg jämfört med konventionellt byggande.

3.2 Halm som material

Halm definieras som torkade och tröskade stjälkar av sädesväxter som vete, råg, korn och havre, eller fiberplantor som lin och hampa. Mest lämpad som byggmaterial är halmen som kommer ifrån vete, råg, spelt (dinkel), ris och lin, till skillnad från havre och korn som enligt Minke, 2005, inte erbjuder samma stabilitet. Halm är en regenerativ resurs som växer tack vare fotosyntes med hjälp av vatten, mineraler i marken och solljus, det består av cellulosa, lignin och kiseldioxid och har en vaxliknande, vattenavstötande yta. Tack vare sin höga kiseldioxidhalt ruttar halm väldigt långsamt och har därför använts flitigt i jordbruket som dekomprimerande material, marktäckning i exempelvis stall, foderkomplement i vintertid och som aggregat i lerbruk för att öka värmeisolering och för att minska risken för sprickbildning vid torkning. Halm har även använts som takmaterial sedan urminnes tider.

3.3 Halmbalarna

Sjalva balningen är ett viktigt delmoment för att uppnå önskvärd funktionalitet av halmbalsväggen, i synnerhet då balarna skall vara bärande. Det förekommer att hela plantan av sädesväxten används vid balning, men det är fördelaktigt att avlägsna axen först, dels på grund av att den ofta medför större fuktmängd men också för att den kan locka till sig insekter och skadedjur. Desto längre tid som halmen får på sig att acklimatisera sig under skördeprocessen, desto mindre risk är det att halmbalens form förändras i senare skede. Fukthalten i balarna är av yttersta betydelse och påverkar byggnationen huvudsakligen på två sätt: Dels kan en hög fukthalt medföra röta i konstruktionen och till och med innebära försvagad strukturell bärighet. Men den kan också medföra svårigheter i dimensionering av de bärande balelementen. Halmens bärighet, värmeisoleringsförmåga och andra egenskaper, beror till stor del på densitet, om balen har en hög fukthalt ger den ett intryck av att ha högre densitet än vad den egentligen har och kan därmed medföra ett felaktigt antagande om dess isoleringsförmåga. Praxis är att inte använda halmbalar som har en fukthalt (viktandel per torr vikt) på över 14-16 %. Detta är, enligt Swantzell Steen, 1994, samma fukthalt som utgör tröskeln för biologisk aktivitet som medför röta.

Sjalva balningen görs med hjälp av en balpress, antingen en dieseldriven industribalpress eller en press driven för hand, en sådan kan göras ganska lätt med hjälp av en domkraft och ram. Vanliga dimensioner på en liten halmbal kan vara 35x50x50 (cm) och en medelstor kan vara runt 50x80x70 (cm). Halmbalars densitet varierar från 90 till 150 kg/m³. Balar med lägre densitet än 90 kg/m³ lämpar sig inte som byggmaterial, enligt Minke, 2005. En annan rekommendation kommer ifrån King, 2003, där det nämns att den torra densiteten (fuktvikt exkluderad) inte bör understiga 112 kg/m³. Det finns förstås halmbalar i varierande dimensioner. Så

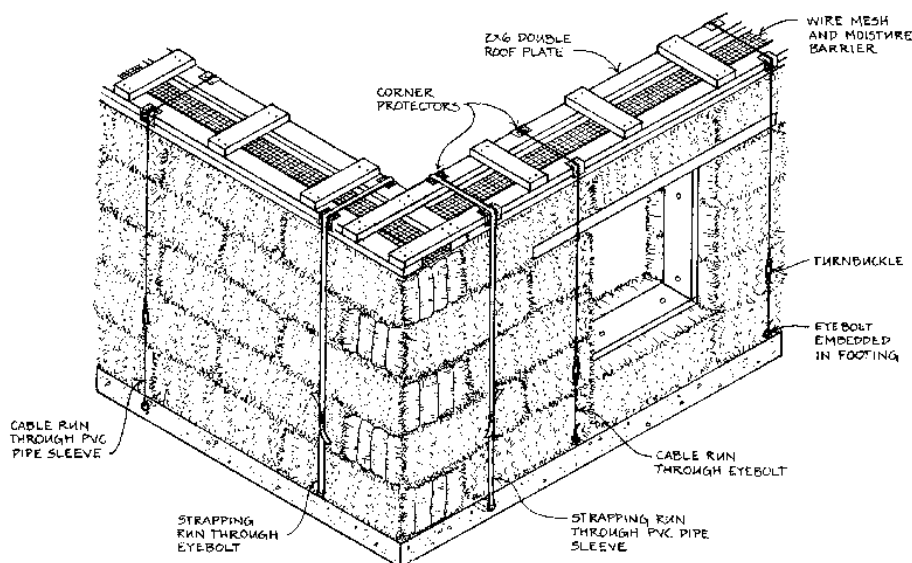
kallade jumbobalar, med dimensionerna 70x120x250 (cm), har använts vid byggen med hög höjd och stora laster.

3.4 Bärighet

Metoden för konstruktion av bärande halmbalsvägg är relativt enkel; först och främst måste väggen stå på en stabil grund antingen platta på mark eller krypgrund. Sedan staplas halmbalarna omlott likt en tegelvägg med fibrerna längs med väggens riktning. Dörr- och fönsterkarma som vilar på husgrunden sätts på plats innan halmbalsväggen byggs. Där fönster, som inte är fästa i husgrund, ska vara placerade lämnas öppningar i halmbalsväggen där karmar byggs in. Viktigt i detta skede är att lämna vertikalt utrymme ovanför karmarna. Detta är för att ge väggen en möjlighet att komprimeras jämnt längs hela dess längd.

Halmbalar lämpade för konstruktion är som nämnt relativt tunga och kompakta, men ändå deformerar balarna märkbart av laster i storleksordningen av en taklast. Därför görs en så kallad förspänning där balarna trycks ihop vertikalt så att de närmar sig kompressionen de kommer att ha under taklasten. Det finns två huvudsakliga metoder för detta; Förspänning med spännband och intern skruvspänning, men innan dessa metoder beskrivs så ska användningen av hammarband förklaras:

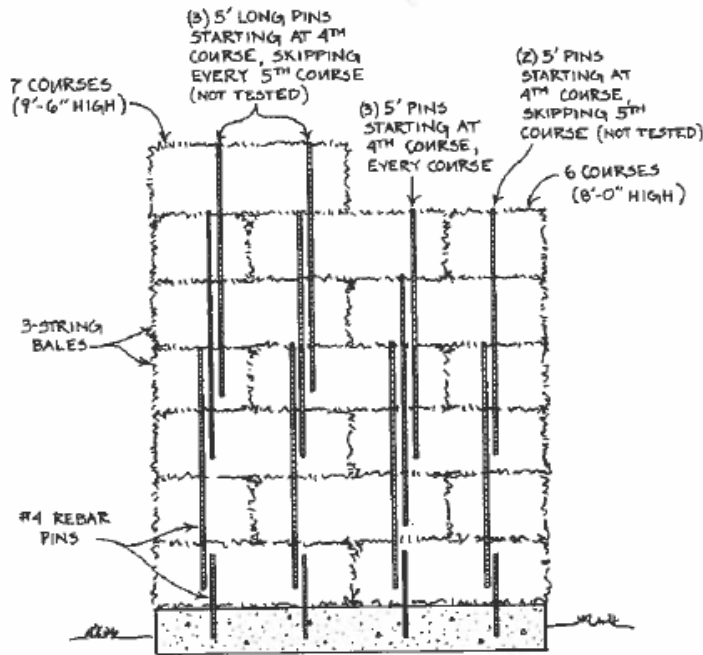
Vanligtvis ett hammarband av trä liggandes i längdled ovanpå väggkrönet, se figur 1. Detta är på grund av tre anledningar; För att stabilisera väggen, främst i längdled, bära och distribuera takets last jämnt över väggen och för att göra det möjligt att fästa taket till golvet för stabilitet mot horisontella laster. Det senare bör dock ej göras innan slutlig kompression. Om det inte hade funnits några karmar i väggen, utan den hade varit helt homogen, hade kompressionen inte utgjort något större problem. På grund av karmar av trä för fönster och dörrar kan kompressionen dock variera över väggens längd. Det är därför viktigt att anpassa öppningar för karmar till uppskattad krympning. Dessutom kan ett hammarband med stark böjstyvhet i vertikalt plan hjälpa avsevärt med att jämna ut skillnader i kompression längs väggen.



Figur 1 - Halmbalsvägg med hammarband och förspänningsband, (Swantzell Steen, 1994).

Spännbandsmetoden går ut på att fästa spännband på varsin sida väggen likt figur 1. När banden förankrats i grund och hammarbandet försetts med kantskydd, spänns banden med hjälp av en lastspännare. För metoden; intern skruvspänning, gäller det att fästa en lång gängad stålstav i grunden/golvet inuti väggen som går igenom alla lager av halmbalar tills den når upp genom hammarbandet. Vid hammarbandet fästs den med en bult på ovansidan och skruvas åt så hårt att balarna kompakteras. Dessa stavar placeras med jämn fördelning längs väggen och helst så nära hörnen som möjligt. När väggarna pressas på detta sätt är det idealt att spänna dem lite hårdare än vad det riktiga taket kommer att göra, då säkerställs att ytterligare krympning inte förekommer.

Ett annat viktigt moment med hänsyn till stabilitet är stavningen. Praxis är att driva ner stål - eller trästavar genom halmbalsväggen innan hammarbandet läggs på. Detta görs, enligt Swantzell Steen, 1994, dels för att skapa stabilitet under byggtiden, då halv väggen kan vara väldigt ostabil innan hammarbandet kommer på. Men också för att öka den horisontella stabiliteten under brukstiden. Figur 2 visar olika metoder för stavningen. Anledningen varför ett flertal överlappande stavar används istället för att bara låta en löpa genom hela avståndet från hammarband till grund, är för att då lämnas inget utrymme för vertikal krympning. Med andra ord tar staven hela taklasten vid väggkrympning, och bryts säkerligen av tyngden. Vid överlappande stavning kan hammarbandet trycka ner de översta stavarna utan att de riskerar att komma ner till grunden. Värt att notera är att den absolut nedersta staven måste fästas i grunden innan första halmraden har lagts.



Figur 2 - Olika metoder för stavning. Swantzell Steen, 1994.

När då både stavning och förspänning är klar och väggen tillåtit sätta sig är det möjligt att beklä väggen med bruk, detta kan dock sparas till efter att taket är färdigt. Tidpunkten för beklädnad av yttervägg beror på misstankar om vidare krympning och vilka möjligheter som finns till fuktskydd utan bruk, exempelvis presenningar. Till putsbruk är vanligt att använda kalkbruk, kalk-cementbruk eller lerbruk.

Nedan följer tabeller som visar på bärigheterna hos olika typer av halvbalsväggar. Den första tabellen är tagen från Walker, 2004 och visar endast en specifik väggdimension som testats med olika väggmodeller, detta endast för att ge en bild av skillnaderna i bärighet mellan de olika typerna. T.ex. visar tabellen att en kalkbruksbeklädd vägg kan bära betydligt större last än en konstruktion utan beklädnad.

Tabell 1 - bärighetsdata taget från Walker, P. 2004

Vägg	Initial väggstyvhet (kN/mm)	Maximal last (kN)	Nedtryckning vid Maxlast (mm)
Standardkonstruktion(ingen beklädnad)	0.11	27.6	220
Halvbalar	0.087	10.9	140
Inga hasselstavar	0.077	11.7	165
Kalkbruksbeklädd	5.62	41.1	55

Tabell 2 är tagen från King, 2003. Rapporten är en av dem mest omfattande angående halmbalsväggars bärighet. King har i sin rapport sammanställt 14 stycken olika bärighetstester på halmbalar som utförts världen över och kommit fram till användbara resultat. De bäst presterande testerna ur dessa är visade i tabell:

Tabell 2 – bärighetsdata Begreppet 2-snörad eller 3-snörad innebär att balarna är omslutna av 2 eller 3 snören. Taget från King, B. 2003.

Test #	Max last kN/m	Beskrivning
5	19	Ingen ytbeklädnad, 3-snörade vetebalar, ingen stagnering (vilket normalt ges av bjälklag eller väggar)
9	66	7 vetebalar @ [36 x 46 x 81-94] cm utgjorde testväggen som blev förspänd av hexagonalt 0.8 mm metallnät med 10.2 kN/m. Detta minskade väggens höjd med 3 % [7.6 cm]. Sedan applicerades ett lager av kalk-cement stuckatur på 1.9 cm för en uppskattad styrka av 7 kPa
10	24	7st 2-snörade risbalar @ [45 cm x 0.4 m x 3.6 m]. Sand-cement-kalk beklädnad
11	47	2.1 m hög vägg byggd av [610 mm] bred 3-snörad halvvägg polypropylene fiberförstärkning
11.1	52	[610 mm] bred 3-snörad halvvägg 20 gauge hexagonal nätförstärkning
11.2	90	[457 mm] bred 2-snörad halvvägg med polypropylene fiberförstärkning
13	28	2-snörade halmbalar lades i 6 rader och utgjorde en 2.4 x 2.3 m stor vägg. Stålnät och tråd av polypropylen förstärkte putsbeklädnaden som bestod av sand, lera och kalk.
14.1	47	2-snörade halmbalar @ [84 x 46 x 36 cm] lades i 11 rader vilket utgjorde en vägg på 4 x 2.6 m. Väggen bekläddes med en cement-kalk-sand blandning i proportionerna: 2:1:8
14.2	36	2-snörade halmbalar @ [84 x 46 x 36 cm] lades i 7 rader vilket utgjorde en vägg på 2.56 x 2.6. väggen bekläddes med en lera-sand-halmkross blandning av proportionerna: 3:3:1.

3.5 Fukt

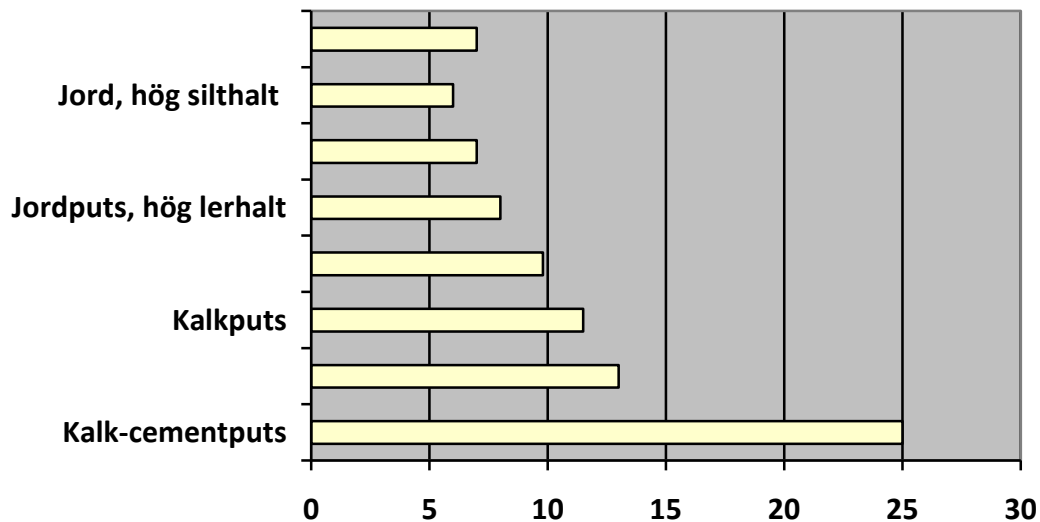
Att bygga energieffektiva byggnader kan vara en stor utmaning, speciellt i miljöer med mycket fukt och kyla. Fukt är halmbalens största riskfaktor, samma gäller för trä och andra organiska material då de riskerar att ruttna om fukthalten är för hög. Fukt har tre huvudsakliga sätt att ta sig in i en konstruktion, Fuktdiffusion, fuktkonvektion och kapillärsugning. Fuktdiffusion uppstår när skillnader i ånghalt uppstår över ett material, drivkraften i processen är ånghaltsdifferensen och motståndet utgörs av materialets ångmotstånd, Enligt Petersson, 2009. Fuktkonvektion sker då fukt transporteras med hjälp av luftrörelser. T.ex. kan fuktig luft transporteras genom springor i en väggkonstruktion och befukta insidan av väggen. Kapillärsugning är ett fenomen som innebär att porer i ett material suger upp vätska in genom materialet, detta kommer förklaras mer i detalj senare i kapitlet.

Det finns olika sätt att hantera fuktrisken för en konstruktionsdel, generellt kan dessa delas in i två grupper: antingen reduceras fuktmängden som kan ta sig in i konstruktionen genom att nyttja diffusionsspärrar som t.ex. polyetenfolie eller färgskikt. Det andra sättet är att utforma klimatskalets beklädnad på ett sådant sätt att fukt som finns i luften tillåts vandra in och igenom konstruktionen och att tillfälligt buffra fukt i ytmaterialet vid toppar i den inre fuktbelastningen. Med buffring av fukt menas att fukt tillfälligt lagras i ytan för att senare kunna föras ut från byggnaden genom ventilationen.

Fukt som kommit in i konstruktionen genom regn eller p.g.a. byggfukt har lättare för att torka ut, d.v.s. åt två håll, om inte ett diffusionsskikt används på insidan.

Ett annat viktigt sätt att undvika fuktskador är att förhindra den fuktiga inneluften från att strömma ut i konstruktionen där den kan förhöja fukthalterna. Detta kan förhindras med ett tillräckligt lufttät barriär eller material.

Ett sätt att beskriva ett materials ångdiffusionsmotstånd är att jämföra det med stillastående lufts ångmotstånd. Luft har ett μ -värde på 1, enligt Minke, 2005. Nedan följer värden på några vanliga typer av väggbeklädnader och deras respektive μ -värde.



Figur 3 - Fuktdiffusionskoefficient μ hos några vanliga beklädningsmaterial. Minke, G. 2005.

Då fukt är väldigt skadligt för organiska material som halm är det viktigt att karakterisera de olika sätt den kan ta sig in i konstruktionen:

1. Inifrån med diffusion och konvektion
2. Nedifrån med kapillärsugning från mark eller grund.
3. Från byggfasen, d.v.s. byggfukt
4. Utifrån med diffusion och konvektion.

Inifrån med diffusion och konvektion: Då temperaturen och fuktproduktionen inomhus oftast är hög är det vanligt med en hög absolut fuktmängd i inomhusluften d.v.s. andelen fukt per volymenhet. En hög temperaturskillnad mellan inom- och utomhusklimatet i samband med hög relativ ånghalt inomhus innebär ofta stor risk för kondens i konstruktionen, Detta betyder att byggnader i kalla klimat som Sveriges är speciellt utsatta för denna typ av fuktrisk, vilken går att motverka genom ovannämnda metoder: uttorkning eller fuktspärning, men även genom en medveten ventilationsmetod. Då övertryck råder i en byggnad pressas luft ut inte bara genom klimatskalet men också genom olika typer av läckor så som, skorstenar, springor, fönster och ventilationsdon. Att ha en stor kontroll över vart den fuktiga inomhusluften försvinner ut medför större möjligheter att motverka fukt i konstruktionen, detta i samband med lufttäta beklädnader är extra viktigt i halmbalshus. Det är rekommenderat att påföra väggbeklädnaden i flera lager för att motverka förekomsten av luftläckor p.g.a. sprickor, och därmed minska risken för fukt i halmbalarna p.g.a. konvektion. En skorsten i huset kan vara ett effektivt sätt att transportera ut fuktig luft.

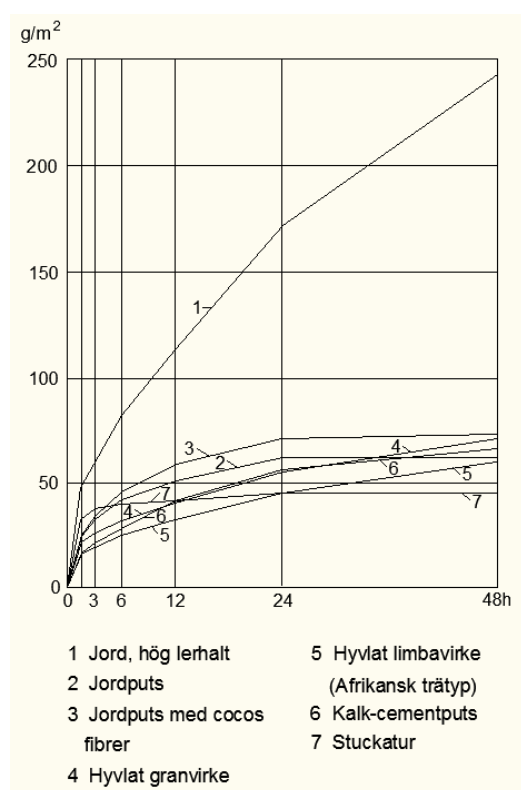
Kapillärsugning från grund eller mark: Kapillärsugning är ett fenomen som uppstår då porerna i ett material är av den storleken som gör det möjligt för de intermolekylära krafterna att driva upp vätska genom porerna emot krafter som t.ex. gravitation. Betong har en porstorlek som möjliggör kapillärsugning av vatten, vilket medför en risk för fuktskador då denna typ av grund används. I detta fall bör ett kapillärbrytande skikt ligga under plattan och en fuktskyddande syll(diffusionsspärr) bör ligga mellan betonggrund och organiska byggmaterial, så som halm och trä. Ett kapillärbrytande skikt består av exempelvis makadam med relativt stora och grova dimensioner eller musselskal, som har en kapillär stighöjd <25 mm. Dessa material har större porstorlek vilket hämmar kapillärsugningen. Ett alternativ är grunder som t.ex. krypgrund där bjälklaget är upplyft från marken på sten eller betongplintar. I båda fall kan det vara fördelaktigt att dränera markskiktet runt byggnadsplatsen innan byggnationen börjar.

Byggfukt: Som tidigare nämnt är det viktigt att använda sig utav halmbalar med låg fukthalt; <15%. Men av praktiska anledningar kan det vara svårt att säkerställa maximal torrhet under byggnadsfasen, den fukt som är bundet i de olika byggmaterialen kallas för byggfukt. Då ytbeklädnad appliceras på halmbalsväggen är det viktigt att balarna är torra hela vägen igenom, fukt som befinner sig några centimeter in i väggen kan torka ut av några timmars solsken, dock kan fukt som sitter långt inne ta flera veckor att torka ut. Flexibilitet och ett bra system för fuktskydd av byggmaterial på arbetsplatsen är viktigt för att skydda sig mot byggfukt. En metod för att säkerställa detta är att mäta fukthalt med en givare innan halmbalarna staplas i väggen och ytterligare en gång innan väggen bekläs.

Extern genomträngning: Nederbörd anses av Lacinski, 2000, medföra den största fuktrisen i kalla klimat, därför är det viktigt att vidta åtgärder för att minimera den mängd fukt som känsliga konstruktionsdelar utsätts för. Först och främst bör mängden regn och slagregn som når halmbalsväggen minimeras, detta görs genom effektiv dagvattenavrinning och stort taköverhäng. Det gäller också att förhindra magasinerat regnvatten från att nå konstruktion, i praktiken innebär detta att förhindra bildning av vattenpölar och sankmark nära konstruktionen, och att om dessa nu skulle förekomma, förhindra att stänkvattnet når väggen. Detta kan göras genom noggrant val av byggplats och väl genomförd dränering/markarbete men även genom uppsättning av stänkskyddsbräder i botten av ytterväggen. Detta rekommenderas av Minke, 2005, för halmbalsväggar i regniga miljöer.

En annan aspekt som måste tas i beaktning är väggbeklädnadens sorptionsegenskaper, som visar i vilket utsträckning materialet kan binda fukt i sina porer. Även om diffusionsmotståndet är viktigt för att förhindra fukt från att komma in till konstruktionen så kan en god förmåga att magasinera fukt under de tider då fuktproduktionen är som högst, för att sedan avges igen då ånghalten är lägre i luften. I grafen nedan visas olika beklädnadsmaterial och deras sorptionkurvor där luftens relativa ånghalt gått från 30 % till 70 %.

Tydligt är att se att material ett med hög andel lera har en markant högre sorptionskurva, vilket innebär att den är väldigt bra på att absorbera fukt från luften. Detta material kan ge en högre fuktbufferingsmöjlighet. Enligt Minke, 2005, är lera det främsta byggmaterialet med hänsyn till att jämna ut ånghalten i inomhusmiljö, tack vare sina sorptionsegenskaper. Viktigt att notera är att magasinering av fukt i innerbeklädnaden inte kan eliminera fuktriskerna på egen hand, ett högt diffusionsmotstånd är fortfarande fördelaktigt.



Figur 4 - Sorptionskurvor på några vanliga beklädnadsmaterial. Minke, G. 2005.

3.6 Bygga halmbalshus

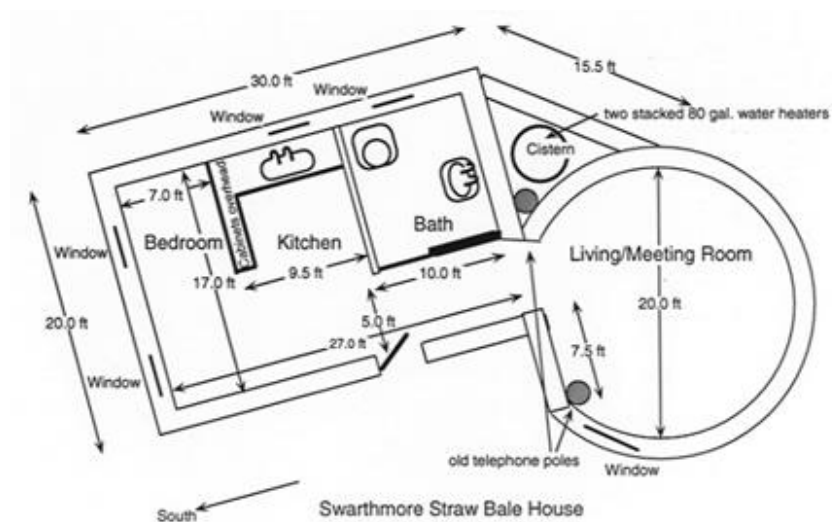
Nedan följer några korta beskrivningar och bilder från byggda halmbalshus.

3.6.1 Swarthmore college 1994-1998

Under Professor E. Carr Everbach byggdes ett självbärande halmbalshus av studenter på Swarthmore college i USA. Arbetet utfördes som ett experiment för att undersöka prestandan hos halmbalshus. Fukt - och temperaturgivare placerades på olika ställen i konstruktionen för att leverera data under fyra år. Gruppen genomförde även ett byte av balar i den befintliga väggen mot nya, i syfte att testa möjligheterna att ersätta fuktskadade balar i bruksstadiet. Detta test blev framgångsrikt med hjälp av 3-4 arbetare, befintliga avväxlingsbalkar och strävor.



Figur 5 - Studenter bygger en självbärande halmbalsvägg.



Figur 6 - Planlösning på Halmbalshuset.

(http://www.swarthmore.edu/Documents/academics/es/strawbale_house_project.pdf)

3.6.2 Solar Haven, Arizona

Ett Amerikanskt par byggde 2001 ett självbärande halmbalshus på 111 m² i Arizona. Golvet var av lersten, inre och yttre beklädnad av kalkbruk. Takkonstruktionen var av konventionellt prefabricerade takstolar med yttertak av plåt.



Figur 7 - Framsidan på halmbalshuset i Arizona.



Figur 8 - Staplad halmbalsvägg med hammarband på.

(www.solarhaven.org)

3.6.3 Werner Schmidt

En av de mest framstående arkitekterna inom halmbalshusområdet är Schweiziske Werner Schmidt. Schmidt står bakom sju färdigkonstruerade halmbalshus, nedan följer bilder av några av dessa:



Figur 9 - Självbärande halm byggd 2002, boarea: 110 m².



Figur 10 - Självbärande halm byggd 2007, boarea: 181 m².



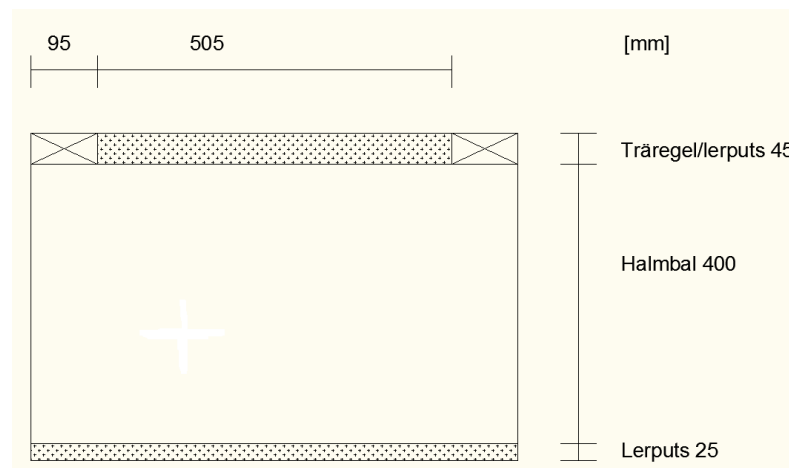
Figur 11 - Självbärande halm byggd 2007, boarea: 400 m².

(<http://www.atelierwernerschmidt.ch>)

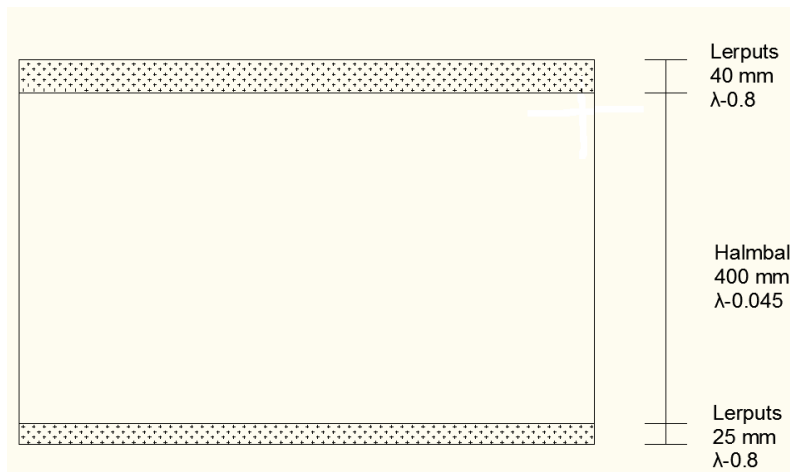
4 Enkelstugan – En jämförelse i bärighet och värmeledning

På Alingsås Passivhuscentrums begäran har ett specifikt exempel valts ut för närmare granskning och jämförelse; enkelstugan, vilken är en typisk hustyp som i sin enkelhet lämpar sig för halmbalsmetoden. Intresset ligger här i att undersöka skillnader i värmeisoleringsförmåga och bärighet i två separata halmbalsmetoder, den ena självbärande halmbalsvägg och den andra; halmbalsvägg med intern trästomme. En sådan sistnämnd väggtyp har föreslagits av passivhuscentrum där standard 45x95 regler vrids 90 grader på så sätt att 95 mm-sidan går parallellt och jäms med halmbalsväggen. Detta för att kunna applicera lerputs mellan reglarna utan att en större bit av regeln sticker in i rummet och minskar boarean och möblerbarheten. Anledningen varför inte reglarna byggs in i väggen är att det skulle innebära ett ytterligare tidskrävande moment i byggprocessen.

Då trästommen bär hela taklasten i fallet med den icke-självbärande väggtypen, kommer halmbalarna inte att behöva bidra med bärighet och kommer placeras så att fibrerna går lodrätt, detta minskar den termiska konduktiviten. Frågeställningen som ska besvaras är i vilken utsträckning förändring i fiberriktning kan förändra väggens värmeisoleringsmässiga prestanda. Värt att nämna är att värmemagasineringsförmågan inte tas med i beräkningarna, vilket borde, om medräknat, ge träregelstommen en fördel då den har aningen tjockare lager lera och träreglar på den uppvärmda insidan. Detta är dock ett antagande och kräver vidare undersökning för att fastställa.



Figur 12 - Väggekonstruktion halmbal med intern träregelstomme.



Figur 13 - Vägghkonstruktion självbärande halmbalsvägg.

4.1 Förutsättningar

Beräkning av taklast:

Taklag trä:	Volym [m ³]:
Överramar C24 45 x 220 @ 3600, 14 st.	0,499
Underramar C24 45 x 220 @ 5086, 7 st.	0,352
Stödben C14 45 x 95. @ 675 14 st	0,040
Mellanbjälkar C24 45 x 220 @ 5086 6 st.	0,302
Avväxlingsbalk C24 45 x 220 @ 7247 2 st.	0,143
Avväxlingar C14 45 x 220 @ 3 lm	0,030
Yttertakpanel, råspont 23 x 95 @ 700 lm	1,530
Nockplanka 45 x 120 @ 9 lm	0,049
Ströläkt 25 x 25 @ 110 lm	0,069
Bärläkt 25 x 38 @ 183 lm	0,173
Trekantslist 50 x 50 @ 3900, 4 st.	0,039
Gavelläkt 45 x 45 @ 3900, 4 st.	0,032
Vindskivor 22 x 170 @ 3900, 4 st.	0,058
Vindskivor 22 x 95 @ 3900 4 st.	0,032

Vattbrädor 22 x 95 @ 3900, 4 st.	0,033
Takfotsbrädor 22 x 95 @ 18 lm	0,038
Hammarband 45 x 120 @ 3900, 4 st.	0,084
Summa Volym:	3,503 m ³

Taklag Plåtbeslag:

150 x 220 x 1.5, 28 st.	0.00138
60 x 180 x 1.5, 70 st.	0.00134
Summa volym:	0.00272 m ³

Trä:

$$3.419 \cdot 520 = 1777.88 \text{ Kg}$$

Stål:

$$0.00272 \cdot 7900 = 21.49 \text{ Kg}$$

Papp:

$$\text{Takarea} \cdot \text{Vikt/m}^2 = \text{Vikt}$$

$$2 \text{ Kg/m}^2 \Rightarrow 53.899 \cdot 2 = 107.798 \text{ Kg}$$

Spik:

Ca: 20 Kg

Yttertaksbeklädnad:

Yttertaksbeklädnad plåt Plannja 20-75:

$$\text{Takarea} \cdot \text{Tyngd/m}^2 = \text{last}$$

$$0.0170 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow 53.899 \cdot 0,0170 = 0.916 \text{ kN}$$

Summa vikt = 1927.17 Kg

$$1927.17 \text{ kg} = 18.925 \text{ kN}$$

$$\text{Summa egentyngd tak} = 18.925 + 0.916 = 19.81 \text{ kN}$$

$$\text{Varje långsida vägg bär alltså upp } 19.81/2 = 9.92 \Rightarrow$$

$$G_k = 9.92 / 7.65 = 1.29 \text{ kN /m}$$

$$\text{Snölast: } 2.0 \Rightarrow 1.6 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$$

$$q_k \text{ (för långsida vägg)} = 1.6 \times 3.6 = 5.76 \text{ kN/m}$$

$$Q_d = 1.35 \cdot G_k + 1.5 \cdot 0.7 \cdot q_k$$

$$Q_d = 1.35 \cdot 1.29 + 1.5 \cdot 0.7 \cdot 5.76 = 7.79 \text{ kN/m}$$

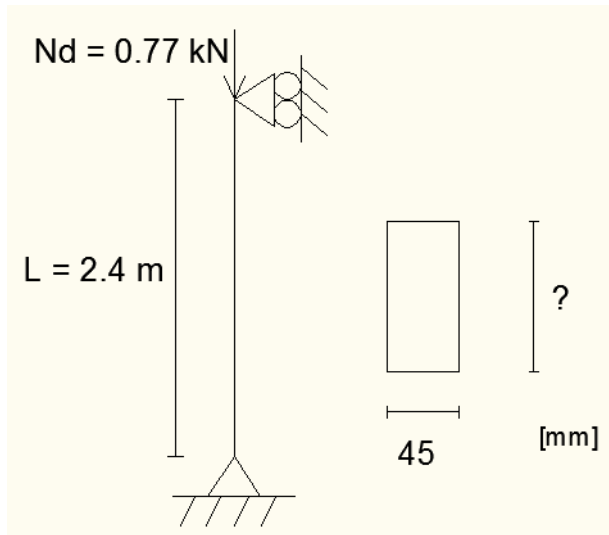
Då lerbeklädnad och interna stavar antas ta upp horisontella laster så som vind har dessa inte tagits med i beräkningarna. Interaktion antas således inte förekomma.

4.2 Träregelstomme

För exemplet med träregelstomme kommer stommen vara på insidan halmbalsväggen men hammarbandet måste fortfarande vara centrerat över reglarna, därför har beslutet tagits att låta grunden för stugan utökas för att tillåta utrymme för den tillkommande halmbalsväggen istället för att minska dimensionerna på stommen till huset. Syftet med detta är att inte förändra förutsättningarna för de olika väggtyperna. Då reglarna kommer att befinna sig på insidan halmväggen kommer den inre beklädnaden av lera att sättas in mellan, och ha samma djup som reglarna. Detta för att underlätta möblerbarhet. Därför har ett regeldjup på standardmättet 45 mm bestämts

4.2.1 Bärighetsberäkningar

Beräkna erforderlig dimension för träregel då djup på 45 mm bestämts:



Figur 14 - Konstruktionsmodell för träregel.

Förutsättningar:

$$Q_d = 7.79 \text{ kN/m}$$

$$\text{cc-avstånd} = 600$$

$$7651 / 600 = 12.75 \Rightarrow 13 \text{ st regler}$$

$$9.92 \text{ kN} / 13 = 0.77 \text{ kN (per regel)}$$

Materialegenskaper:

C 24 (konstruktionsvirke):

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$$

$$E_{0.05} = 7.4 \text{ GPa}$$

$$\gamma_m = 1.3$$

$$k_{\text{mod}} = 0.8$$

$$L_c \text{ (knäcklängd)} = 2.4 \text{ m}$$

$$B_c = 0.2$$

$$h = 0.045$$

$$A = \text{tvärsnittsarea}$$

En regelbredd på 0.095 m kontrolleras: \Rightarrow

$$A = 4.275 \cdot 10^{-3}$$

Lasteffekt:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A} \quad (1)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{0.77}{4.275 \cdot 10^{-3}} = 0.18 \text{MPa} \quad (2)$$

Bärförmåga:

Relativ slankhet kontrolleras:

Regel är stagad i stark riktning därför kontrolleras knäckning i vek riktning, runt y-axeln.

Villkor:

$$k_{c,y} \cdot f_{c,0,d} > \sigma_{c,0,d} \quad (3)$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (4)$$

$$k_y = 0.5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] \quad (5)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} \quad (6)$$

$$\lambda_y = \frac{L_c}{i_y} \quad (7)$$

$$i_y = \frac{b}{\sqrt{12}} = 0.0274 \quad (8)$$

$$\lambda_y = \frac{L_c}{i_y} = 87.514 \quad (9)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1.484 \quad (10)$$

$$k_y = 0.5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] = 1.719 \quad (11)$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.207 \quad (12)$$

Villkor:

$$k_{c,y} \cdot f_{c,0,d} > \sigma_{c,0,d} \quad (13)$$

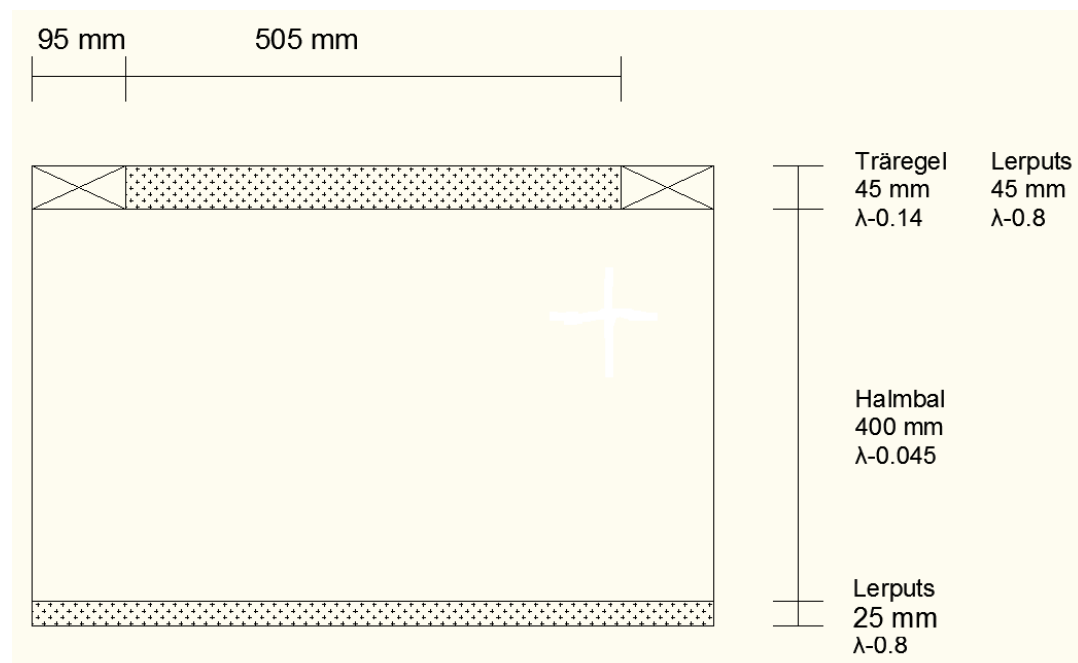
$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 12.923 \Rightarrow \quad (14)$$

$$0.207 \cdot 12.923 = 2.675 > \sigma_{c,0,d} = 0.18 \quad \text{OK} \quad [\text{MPa}] \quad (15)$$

Det råder ingen knäckrisk i beräknat fall.

4.2.2 Värmeisoleringsförmåga

Uppgifter på materialegenskaper är tagna från Minke, 2005.



Figur 15 - Vägghkonstruktion halmbalsvägg med intern träregelstomme

För det inhomogena skiktet av regel och puts krävs uträkning av värmemotsåndet; R, genom en sammanvägning av U-värdesmetoden och λ -värdesmetoden.

λ -värdesmetoden:

$$\lambda_{lera-trä} = \frac{95}{600} \cdot 0.14 + \frac{505}{600} \cdot 0.8 = 0.696 \text{ W/mK} \quad (16)$$

$$R_{lera-trä}^{\lambda} = \frac{0.045}{0.696} = 0.065 \quad (17)$$

U-värdesmetoden:

$$R_{lera}^u = \frac{0.045}{0.8} = 0.056 \quad (18)$$

$$R_{trä}^u = \frac{0.045}{0.14} = 0.321 \quad (19)$$

$$R_{lera-trä}^u = \frac{95}{600} \cdot 0.321 + \frac{505}{600} \cdot 0.056 = 0.098 \quad (20)$$

Sammanvägning:

$$R = \frac{1}{2}(0.065 + 0.098) = 0.081 \quad (21)$$

Tabell 3 – Tabell för beräkning av U-värde med tillhörande värmeisoleringssegenskaper.

Väggdel	Tjocklek [m]	λ [W/mK]	R = d/ λ [m ² K/W]	U-värde [W/m ² ·°C]
R _{si}			0.13	
Puts/regel	0.045	0.8,0.14	0.081	
Halmbal(lodrät)	0.4	0.045	8.889	
Puts	0.025	0.8	0.031	
R _{se}			0.04	
Totalt	0.47		9.171	0.109

4.3 Självbärande halmbalsvägg

Då det saknas vedertagna beräkningsmetoder för halmbalars bärrighet har för den självbärande väggtypen valts en av de testväggar som går att finna i Stephen Kings sammanställande rapport om halmbalsväggars bärrighet: *load bearing strawbale construction*. Testet är noggrant beskrivet och gav två lastvärden; ett för kollaps och ett för början av deflektion, vilket kommer användas som dimensionerande gräns. Det är testvägg nummer 14.2, utförd av Michael Faine och John Zhang från University of Western Sydney, 2002, som är vald.

Väggen var uppbyggd av 2-snörade vetebalar av dimensionerna 840 x 460 x 360 mm, som blev förspända av vajrar i sådan mån att den minskade i höjd ca 3 % innan den blev beklädd med lerputs av 3 delar sand, 3 delar lera och 1 del halmkross.

Väggen började visa tecken på deflektion vid 18 kN/m men klarade en max last på 36 kN/m innan kollaps. Istället för att göra beräkningar på halmbalsväggen så görs en enkel jämförelse med dessa värden och den dimensionerande last som exempelväggen utsätts för.

Villkor:

$$q_{d, vägg} < q_{yield} \quad (22)$$

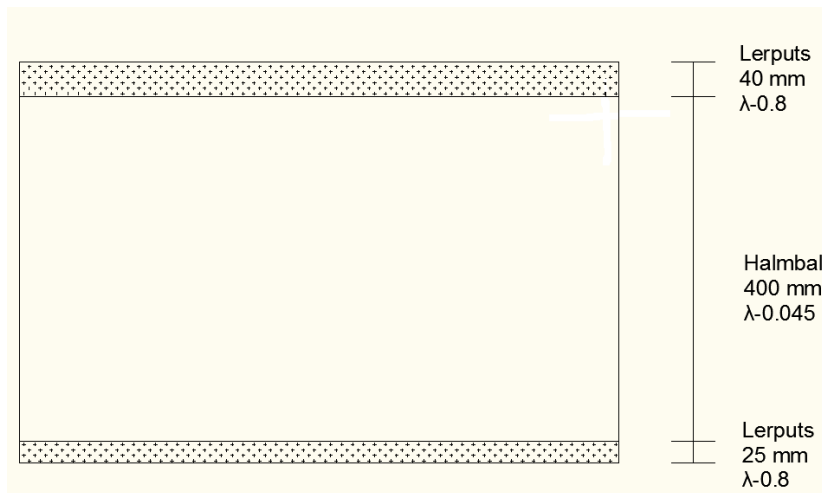
Aktuella värden:

$$7.79 < 18 \quad \text{OK} \quad (23)$$

Härmed visas att den dimensionerande lasten är mindre än hälften så stor som gränsvärdet och därmed att aktuell självbärande halmbalsvägg bär tak och snölast med stor marginal.

4.3.1 Värmeisoleringsförmåga

Vid beräkning av isoleringsförmåga har valts att efterlikna dimensionerna för väggen med träregelstomme istället för att anta dimensionerna från Faine och Zhangs testvägg från; King, 2003. Detta för att skapa liknande förutsättningar för de olika värmeomgångsberäkningarna.



Figur 16 - Vägghkonstruktion självbärande halmbalsvägg.

Tabell 4 – Tabell för beräkning av U-värde med tillhörande värmeisoleringsgenskaper.

Vägghdel	Tjocklek [m]	λ [W/mK]	$R = d/\lambda$ [m ² K/W]	U-värde [W/m ² ·°C]
Rsi			0.13	
Puts	0.040	0.8	0.050	
Halmbal(vågrät)	0.400	0.060	6.667	
Puts	0.025	0.8	0.031	
Rse			0.04	
Totalt	0.465		6.918	0.145

5 Resultat

Studien har i huvudsak gett två resultat: Dels har visats att det med hjälp av enkla metoder går att uppföra självbärande och ickesjälvbärande halmbalsväggar. Risker, i synnerhet med hänsyn på fukt, och metoder att motverka dessa har beskrivits.

För det andra så har den jämförande studien om självbärande och ickesjälvbärande halmbalsväggar medfört ett påtagligt resultat. Då en träregelstomme bär upp taklasten är det möjligt att använda sig av halmbalar vars fiberriktning går lodrätt istället för vågrätt. Frågeställningen var i vilken utsträckning denna förändring i fiberriktning skulle förändra väggens värmeisoleringsförmåga. I denna specifika undersökning blev svaret skillnaden i U-värde påtaglig och innebär fördel för den ickesjälvbärande väggen.

I tabellerna utläses att U-värdet för den självbärande väggen blev $0.145 \text{ W/m}^2\text{°C}$, där för den icke självbärande samma värde blev $0.109 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

De båda värdena understiger det alternativa kravet för små byggnader ställt från boverket som ligger på $0.18 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

6 Analys

Då resultatet av den jämförande studien visade en tydlig isoleringsmässig fördel för halmbalsväggen med bärande trästomme måste vissa aspekter tas i beaktning för att fullt förstå resultatet. Från Alingsås passivhuscentrums sida var de roterade träreglarna en viktig idé att undersöka. Anledningen varför detta var intressant var för att kunna ha halmbalarna helt utanför reglarna och att samtidigt kunna täcka ytan mellan reglarna med puts av rimlig tjocklek. Att slippa bädda in reglarna i balarna sparar arbete och en jämn innervägg utan regler som sticker ut ökar möblerbarheten. Om denna aspekt är viktig och central så är det viktigt att ta i beaktning exempelhusets storlek. Enkelstugan är en lätt enplanskonstruktion där taklasten är liten, om lasten på väggarna hade varit mycket större så hade konceptet med de roterade reglarna inte fungerat. Dimensionerna på reglarna hade vid större laster blivit så stora att det skulle vara opraktiskt att fylla hela mellanrummet regler emellan med puts eller bruk. Det säger inte att interna trästommar blir opraktiska, däremot får en annan lösning för möblerbarhet finnas. I jämförelse mellan de två väggtyperna måste beaktas att en separat bärande stomme är en kostsam modell både vad gäller tid och material, detta ger fördel åt den homogena halmbalsväggen.

Båda väggtyperna visade på överdimensionering. I fallet för den självbärande väggen var bärförmågan mer än dubbelt så stor som lasten, för den ickesjälvbärande väggen var förhållandet ca 3:50. Värt att notera om detta är att ett yttertak av plåt valdes. Hade ett tyngre tak av tegelpannor valts hade säkerligen lasterna varit närmre gränsvärdena.

7 Slutsats

En slutsats att dra från studien är att halmbalsväggar med intern bärande stomme är fördelaktig gentemot självbärande halmbalsväggar. Den största nackdelen tycks vara materialåtgång och tidsåtgång. Den är inte lika enkel som den homogena halmväggen och kräver därmed större expertis, men den ger större möjligheter vad gäller antal våningsplan, takhöjder och storlek. Då syftet med studien delvis är att visa på alternativa och resilienta byggmetoder som kräver minimalt beroende av industrialiserade produkter är det viktigt att påvisa att det är möjligt också att bygga med en enkla homogena skikt av lera och halm. Studien visar att den självbärande halmbalsväggen klarar av både taklast och U-värdeskrav.

Överlag kan sägas att halmbalshus och andra byggnader av naturliga material är konstruktioner som klarar funktionskrav även då de har färre materialtyper och mindre avancerade konstruktioner. Detta medför en fördel, med hänsyn på resiliens och oberoende av industriella processer, där de materialtyper som använts generellt kräver väldigt liten förädlingsprocess. Vidare har visats att det finns behov av vidare undersökning i närliggande områden för att få större förståelse för fördelar och nackdelar med halmbalskonstruktioner.

8 Diskussion

Då studien haft stort fokus på väggar i en halmbalskonstruktion är det svårt att dra fullständiga slutsatser angående resiliens och industriellt oberoende. Antagande och förlitande på literaturkällor har behövts göras för att kunna dra slutsatser på en högre nivå än just för väggarna. En större studie där isoleringsförmåga och bärighet jämfördes mellan två hela byggnader skulle vara ett lämpligare sätt att visa fördelar och nackdelar med särskilda konstruktionsval.

Det hade även varit önskvärt att kunna jämföra två olika konstruktioner, fördelaktigen en konventionellt byggd och en halmbalshuskonstruktion, i ett livscykelperspektiv. Att på så sätt kunna fastställa definitiva skillnader i påverkan på miljö i form av globalt fotavtryck. I en sådan studie skulle även en ekonomisk utvärdering kunna göras för att se skillnader i material - och arbetstidskostnader.

En viktig aspekt att ta i beaktan är att effekten av värmemagasinerings inte har tagits upp i studien. Detta är ett fenomen som gör det möjligt för värmen inne i huset att lagras i materia så som möbler och interna reglar, vilket gör att vistelseytan behåller värmen längre in på natten än vad annars hade varit fallet. Detta borde ge fördel för väggtypen med träregelstomme då de inre träreglarna utgör ytterligare materia för värmen att lagras i, jämfört med den självbärande väggen.

Utifrån denna aspekt kan även regelns position diskuteras. Tre tydliga alternativ är att ha reglarna utanpå, i mitten utav eller innanför halmbalarna. Att ha reglarna på utsidan ger en fördel om en ytterfasad av exempelvis trä är önskat. Då finns ett stabilt regelsystem att fästa fasaden i. Denna modell skulle dock innebära ett behov av en stor mängd sågade fasadbrädor och markanta köldbryggor. I princip skulle detta bara vara ett konventionellt hus med halmbalsisolering. Alternativet att sätta reglarna i mitten av halmbalsväggen skulle innebära att tidsåtgången för att föra upp väggen ökade markant. Dessutom skulle reglarna vara dolda och om röta skulle uppstå på dessa bärande element skulle det vara svårt att märka och att åtgärda det. Vidare har trä en högre värmekapacitet än halm vilket medför att den i högre grad magasineras kyla under natten, vilket i sin tur teoretiskt kan medföra en kondensrisk när varm luft kommer in genom väggen på morgonen och möter den kalla regeln. Detta bör studeras noggrant för att belägga kondensrisk då centrerade träreglar ska användas. Det sista alternativet med reglarna på insidan väggen är fördelaktigt med hänsyn på värmemagasinerings och köldbryggor. Nackdelen är en försämrad möblerbarhet, Detta går dock att anpassa genom att i dimensioneringsprocessen välja ett större cc-mått på bekostnad av kraftigare reglar, vilket skulle kunna medföra en mer önskvärd möblerbarhet och estetik.

Det kan diskuteras vad skillnaden i värmeledningsförmåga hos de olika fiberriktningarna beror på då både lodräta och vågräta fibrer innebär perpendikulär vinkel mot värmeriktningen. Detta kan antas bero på att kompressionen som sker i den självbärande halmbalsväggen förändrar materialets densitet i sådan grad att värmeledningsförmågan ökar.

I kapitlet om fysiska aspekter och värme togs två sätt att angripa problemet med fukt i konstruktionen upp. Hela studien speglar ett försök att visa att det går att angripa sådana problem med ett mjukt angreppssätt. D.v.s. istället för att använda sig av

diffusionsspärrar av polyeten och invecklade luftspalter för att då kunna avfukta väggen, använda sig av ett enkelt lager av puts med högt fuktmagasineringsvärde och som tillåter avfuktning åt båda hållen. En av farorna med det moderna angreppssättet är den blinda förlitelsen på sin konstruktion, som ofta förekommer. Om ett fel har skett i monteringsprocessen, exempelvis en reva i diffusionsspärren och fukt tillåts passera in i konstruktionen, så kommer förmodligen inte brukaren att märka detta, då denna har inställningen att allt ska fungera av sig självt utan någon som hellst inblandning från dennes sida. Vid det mjuka angreppssättet bör brukaren vara mer medveten om sin byggnad, exempelvis bör denne efter att ha tagit en lång dusch inomhus vara noga med att vädra ut ordentligt efteråt, eller om värme och solsken råder utomhus, passa på att öppna dörrar och fönster för att torka ut eventuell fukt magasinerad i innerbeklädnaden. Fördelen som denna eftertänksamhet ger är stora skillnader i materialåtgång, tidsåtgång för konstruktion och kanske viktigast av allt ett sätt att bo som är i hög grad mildare för miljön och som bidrar mindre till den stora resursutarmning som försigår på jorden idag.

9 Referenser

- Petersson, B.-Å. (2009): *Tillämpad byggnadsfysik*. Studentlitteratur, Lund.
- Minke, G & Mahlke, F. (2005): *Building with straw*. Birkhäuser, Basel, Schweiz.
- Swentzell Steen, A. (1994): *The strawbale house*. Chelsea green publishing company, White river junction, Vermont.
- Lacinski, P & Bergeron, B. (2000): *Serious straw bale*, Chelsea green publishing company, White river junction, Vermont.
- Kyrkander, A & Linde, A & Helmfridsson, J. (2011): *Passivhus: ett utbildningsmaterial*. Hylte Tryck AB, Hyltebruk.
- King, B. (2003): *Load-bearing straw bale construction*.
http://www.osbbc.ca/Resources/Documents/Technical/load_bearing_sb_const.pdf
(2012-05-28)
- Walker, P. (2004): *Compression load testing straw bales*.
<http://people.bath.ac.uk/abspw/straw%20bale%20test%20report.pdf> (2012-05-28)