

# **-ET MULIGHETSSTUDIUM ANALYSEHEFTE**

**MASTEROPPGAVE I ARKITEKTUR, NTNU VÅREN 2013**

**JOHN OLAV KOPPERUD**

**VEILEDER: FINN HAKONSEN**



# TAKK

FØRST OG FREMST VIL JEG TAKKE MIN GODE VEILEDER,  
FØRSTEAMANUENSIS **FINN HAKONSEN** FOR GODE INNSPILL OG  
STØTTE GJENNOM HELE OPPGAVEN.

Takk til professor Jan Helge Siem for samtaler om halmens konstruktive potensiale og om dataene fra trykktester.

Takk til professor Kjell Arne Malo ved Materialteknisk Institutt for møte om halmens fibregenskaper og støtte i forbindelse med oppgaven.

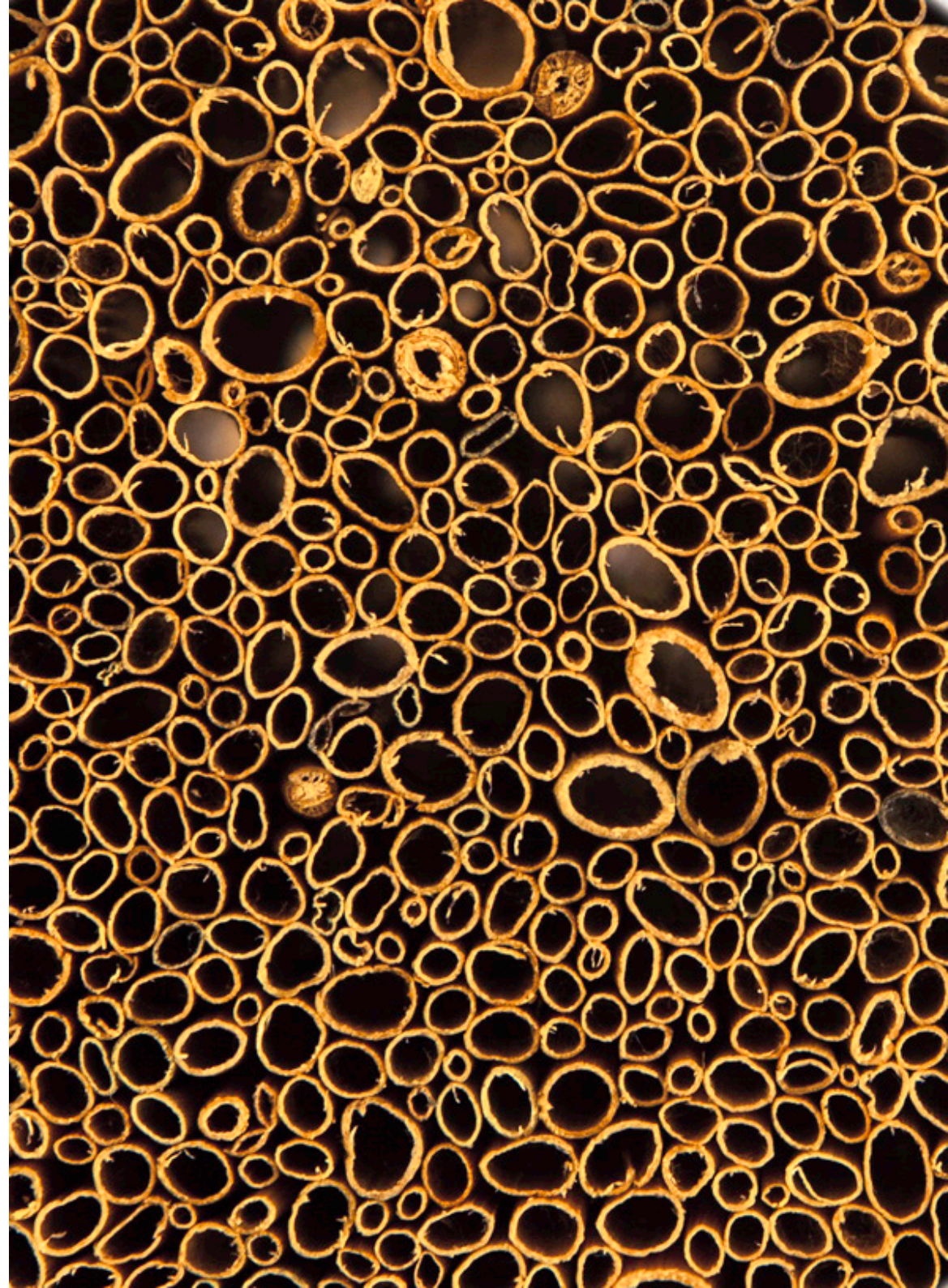
Takk til Materialteknisk Institutt for hjelp til utførelse av 6 trykktester.

Takk til Senior Scientist Kai Toven or samtaler om halmens kjemi og potensiale for industriell bearbeiding

Takk til Papirindustriens Forskningsinstitutt for hjelp til testing av halmens bindingspotensiale ved produksjon av pellets.

Takk til bonde John Lerlie og Sivert Tellungen for kunnskap om innhøsting og behjelpelighet med å skaffe til veie både hel og presset halm.

Takk til Norges Jord- og Halmbyggeforening ved leder Vidar Vik, Finn Østmo, Rolf Jacobsen, Piet Jensen, for innspill til oppgaven støtte og svar på diverse spørsmål og hjelp med å lokalisere halmballer.





# Om ANALYSEHEFTET

Analyseheftet oppsummerer de viktigste funnene i oppgavens analytiske del. Mye finnes også på plansjen, men analyseheftet utfyller mange av temaene grundigere.

Gjennom oppgaven har jeg hatt en kontinuerlig analytisk prosess som har bestått av innhenting, sammenstilling og analysering av eksisterende kunnskap av relevans for bygging med halm, kontakt med ulike aktører og egne fysiske tester og målinger.

## KUNNSKAPSINNHENTING

Å hente inn kunnskap har vært en kontinuerlig og tidkrevende prosess som har lagt mye av grunnlaget for oppgaven, selv om denne jobben i seg selv ikke kommer ikke frem i lyset.

Mitt første møte med materialet var gjennom en spennende lesing om halmen mange gode egenskaper. Halm var i utgangspunktet et nokså ukjent materiale for meg så å skaffe meg kunnskap om halm var vesentlig for å holde meg oppdatert på hva som gjøres i verden av byggeprosjekter, produkter og forskning på materialet. Leting etter kunnskap om halm som byggemateriale har tatt meg på en vandring mellom bøker, byggeskikker, forskningsrapporter, mailkorrespondanse, nettsider, diskusjonsforum, videoer og blogger og ikke minst kontakt med private og faglige personer.



**Bygger sitt eget miljøhus av sand, halm og leire**

Familien Hjertefølger er ikke som familier flest







Testhallen til Materialteknisk Institutt



Pelletsproduksjon av halm

## KONTAKT MED ULIKE AKTØRER



En viktig del av prosessen har vært kontakt med alt fra Sintef, ferdighusfimaer, bønder til ulike personer og aktører.

## NTNU SOM RESSURS

Først nå under masteroppgaven min har jeg fått dratt nytte av ressurser som er tilgjengelige i det tekniske miljøet på NTNU. Universitetet har et hav av ressurser med tanke på både kompetanse og utstyr. Mulighetene ligger til rette for å kunne finne ut av mange nye ting.

## TIDLIGE MISLYKKEDE FORSØK PÅ TESTER

Allerede før jul tok jeg kontakt med ulike ansatte på NTNU og Sintef BYGGFORSK for å høre om mulighetene for å utføre noen eksperimentering på halm som byggemateriale. Da fikk jeg høre at jeg var avhengig av økonomisk støtte for å kunne utføre noen tester. Mine tidlige mislykkede forsøk på å få utført tester av materialet hindret meg en stund i å ta opp denne tråden.



# OM OPPGAVEN

Denne oppgaven er på leting etter halmens potensiale som byggemateriale, en leting som har tatt meg på en vandring mellom et spekter av fagfelt for å belyse temaet fra ulike sider. Siden det finnes mye eksisterende kunnskap og forskning på halmballkonstruksjoner har jeg valgt i oppgaven min å utforske nye alternative anvendelser av halm som

byggemateriale enn dagens tradisjonelle byggemåte. Mye av grunnlaget for oppgaven er takket være informasjon om halmballbygging, og i prosessen har jeg også jobbet med halmballens nye muligheter, men utgangspunktet for oppgaven ligger i halmens opprinnelige form og egenskaper og utforsker materialets egenskaper som forringes i

dagens behandling av materialet. Disse nye materialegenskapene åpner opp for nye arkitektoniske muligheter i form av formater, produkter og konstruksjoner.



OPPGAVENS SKALASPEKTER



# INTRO

Halm har vært kjent som byggemateriale i over 6000 år, og er et byggemateriale som nyttiggjør en stor overskuddsressurs i verden som gir positive miljømessige ringvirkninger i flere samfunnslag. Bygging med halmballer er raskt voksende over hele verden på grunn av halmens mange gode egenskaper som er avdekket etter mange års erfaring og forskning. Som et meget miljøvennlig byggematerialer som tilbyr god varmeisolasjon, konstruktive egenskaper høy brannmotstand, et sunt inneklima, lydisolasjon og jordskjelvmotstand, rike uttryksmuligheter, og meget lav

pris, begynner stadig flere å sperre øynene opp for halm som byggemateriale.

Likevel kjenner få til dette "alternative" byggematerialet. Halmballens fremstilling styres idag av av landbruket, en fremstilling som overser noen av materialets opprinnelige egenskaper til byggeformål. Oppgaven tar sikte på å utforske materialets opprinnelige kvaliteter og belyse potensialene som ligger i en ny anvendelse på halmens premisser. En fremstilling som kanskje kan gjøre halm til et anerkjent byggemateriale og dermed utgjøre et bidrag til byggebransjens behov for å redusere sine klimagassutslipp.



# HALMBYGGINGENS HISTORIE

Til tross for dagens beskjedne kjennskap til materialet har halm blitt anvendt som byggemateriale i tusenvis av år. Arkeologiske spor viser at halm har vært et viktig tilslag i både murstein og adobebløkker og er funnet i egyptiske byggesteiner fra 4000 år f. kr men er av antropologer antatt anvendt til dette formål i over 40 000 år (Camann, 2010). Halmen økte steinenes styrke ved å fungere som armering samtidig som den gav en isolerende effekt og forbedret tørke og brenneprosessen til steinene.

Halm og strå er også blitt anvendt i mange bygningskulturer som taktekking. En trenger ikke reise lenger enn til England, Tyskland, eller Danmark for å dokumentere en over 2000 år gammel tradisjon med bygging av halm- og stråtak. Også byggeskikker fra andre verdenshjørner har anvendt strå til tekking av både tak og vegger, deriblant Urosfolket ved Titicacasjøen som holder sine byggeskikker i hevd den dag idag eller Inkaene i Sør-Amerika. Tekking med halm og strå praktiseres i liten grad i dag.

I Norge er halm historisk sett et ukjent byggemateriale, selv om vi i lang tid har kjent til halmens gode isolerende egenskaper både som strø til dyr og som madrassfyll i senger.

*«Heretter skal dere ikke gi folket halm til å lage murstein med, slik som før. De skal selv gå og sanke halm.»*

*2. Mosebok, Kapittel 5, vers 7*





## HALMBALLEN KOMMER

Fra rundt 1840 tallet ble de første hestedrevne halmballpressene oppfunnet. Denne oppfinnelsen gav halmen et nytt format som viste seg å gi nye mulighet for å bygge med halm. På grunn av tømmermangel i Nebraska i USA på slutten av 1800 tallet ble det bygget flere halmhus med bærende vegger av pressede halmballer med puss på begge sider. Denne byggeteknikken viste seg å ha god isolasjon og varighet og har fått tilnavnet "Nebraska Style". Denne teknikken døde ut på 40-tallet, men gjenoppstod på midten av 80-tallet i New-Mexico, og spredte seg til Canada,

Europa og verden forøvrig. Det første kjente halmballhuset i Norge er allerede fra 1953 og til tross for enkel utførelse og lite vedlikehold viser det god holdbarhet i vårt klima. Interessen i Norge for denne byggemetoden startet i større grad på begynnelsen av 90-tallet, etter byggingen av Kretsløpshus Søndre Tveter, kåret til Norges Miljøhus 1993. Interessen for halmballbygging ble etter dette samlet rundt Norges Jord- og Halmbyggeforening.



Simonton House, Nebraska, 1908 - En av de første halmhusene

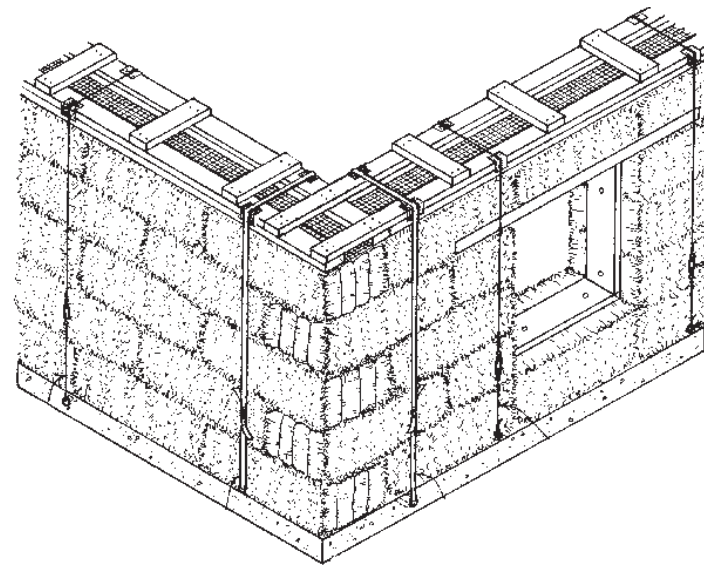
## HALMBYGGING IDAG

Bygging med halm er idag nesten ensbetegnende med å bygge med pressede halmballer fra jordbruket. Interessen for bygging med halmballer har økt kraftig verden over de senere årene i takt med økende kunnskap om materialet og bevissthet rundt bærekraft. Selv om majoriteten av byggeprosjekter er drevet av private selvbyggere, dukker det stadig opp flere eksempler på bygging med halm i kommersiell regi. Stadig flere arkitektkontor tar i bruk halm i både små og store prosjekter. Det finnes noen få eksempler på prefabrikasjon av halm både som veggelementer og som blokker.



Bygging med halmballer deles typisk inn i to kategorier. Den mest vanlige er å benytte halmballer som infill i et konstruktivt rammeverk der halmen kun benyttes for sin høye isolasjonsverdi.

Den andre muligheten er å benytte ballene som bærende element som i de første halmhusene fra Nebraska. Halmveggen blir da forspent til grunnmuren med lastestrop- per eller gjengestenger for å unngå videre kompresjon av halmballen. HalmballkonstruDen desidert vanligste vær huden i halmballkonstruksjoner er et pusslag på 3-5 cm. I oppgaven min har jeg







## EKSEMPLER PÅ HALMARKITEKTUR

Det finnes mange ulike eksempler på halmarkitektur. Bygging med halm legger få begrensninger i uttrykksmåte. Materialet kan spille alt fra huset hovedrolle, til kun være et isolasjonsmateriale.



# INDUSTRIALISERING OG PREFABRIKERING IDAG

## HALMPLATER

Fra begynnelsen av 1900 tallet ble det fremstilt halmplater til isolasjon, og kom i flere varianter. Disse var presset og impregnerte plater bundet med ståltråd med en tykkelse på 3-5 cm. Flere halmplateprodusenter i Norge og norden var aktive under og etter krigen frem mot 1955, da all produksjon opphørte. Stramitplatene er en type konstruktive plater som benytter seg av ligninet i halm som bindemiddel ved å oppvarme hvete-halm til om lag 280 C samtidig med sammenpressing. Disse er fremdeles i produksjon både i England og USA under navnet Enviro Board. Et Tsjekkisk firma CZ Ekopanely produserer en tilsvarende type plate.

## HALMBLOKKER



Halm kan produseres i blokker som kan benyttes som byggesteiner i en veggkonstruksjon. Både Egypts mursteiner og adobesteinen med tilslag av halm er historiske referanser til blokker av halm. I nyere tid har halmblokker av løs halm tilsatt 10% leire blitt produsert uten konstruktive egenskaper, dog ikke i et industrielt perspektiv. Oryzatech er et amerikansk firma som produserer STAK-Block av hardt pressede blokker av rishalm av dimensjonene 610x305x228 mm. Blokkene veier om lag 14 kg og har et interlock system av 2 interne hulrom for div rørføringer. Halmen blandes med et organisk lim samtidig som det blir presset og oppvarmet til 175 grader for å innta formen sin. Produktet er testet ved California Polytechnic University og viser gode resultater med tanke på

brannmotstand, isolasjon, styrke, og en meget rask monterings-tid.

Bengt Johan Gullberg har forsket på og utviklet et byggesystem basert på pressede halmblokker med ulike klosser tilpasset både vegger og tak. Veggklossene han har utviklet har testet en U-verdi på 0,1 W/m<sup>2</sup>K, men er ikke satt i produksjon. (Jacobsen, 1999).

## VEGGELEMENTER

Modcell er et av flere firmaer som har utviklet prefabrikerte veggelementer av



halm som blant annet er brukt til BaleHaus prosjektet ved Universitetet i Bath.

Et veggssystem kalt Spar an Membrane Structure (SMS), kombinerer halmballer med armert betong på begge sider og op-

pgir en branngodkjenning på 4 ½ time og hevder å ha designet 5-etages bygning med sitt system..

## ANDRE ANVENDELSER

StrawJet er et produkt som binder "pølser" av halm i en type nettingstrømpe som benyttes som isolasjonsmateriale i stendervegger o.l.





# HALMENS BÆREKRAFT

Klimautfordringen omtales som verdens største utfordring i fremtiden. Bygninger og prosessene forbundet med deres livssløp fra tilvirkning, materialtransport, konstruksjon, drift, vedlikehold og riving er verdens største påvirkende faktor for energibruk og klimagassutslipp.

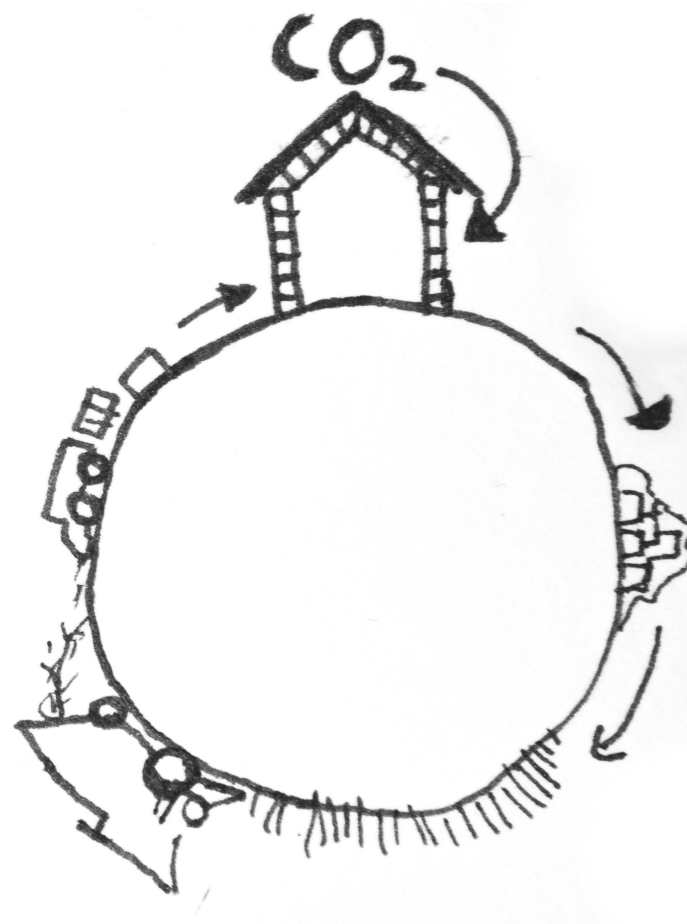
## HALMENS BÆREKRAFTSPOTENSIALE I ET NØTTESKALL

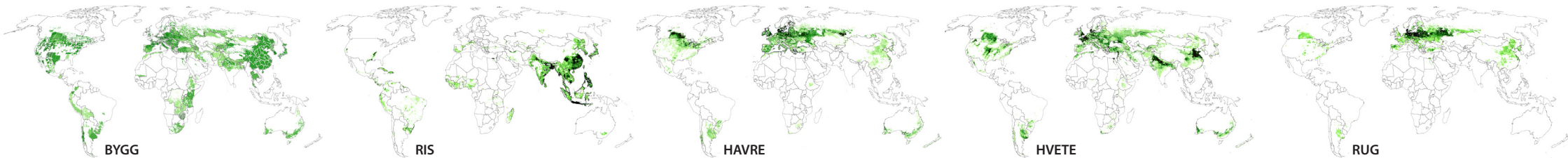
Bruk av halm til byggeformål vil gi positive ringvirkninger i mange sektorer. I stedet for å brennes på åpne jorder som frigir en mengde miljø- og helsefarlige gasser, benyttes en eksisterende og lokalt tilgjengelig ressurs uten særlig behov for tilført energi samtidig som halmbygging lagrer store mengder CO<sub>2</sub>. Halm som byggemateriale vil erstatte andre miljøbelastende materialer. Med både ypperlige varmeisolerende egenskaper kombinert med konstruktive egenskaper og en meget lav pris, muliggjør halm meget energigjerrige bygninger med en enkel byggeprosess. Økt bruk av halm som byggemateriale vil også gi økt fortjeneste i kornindustrien som vil stimulere til mer lokalt produsert korn og redusere import og eksport av store mengder korn.



## FRA ET LINEÆRT TIL SIRKULÆRT KRETSLØP

For å vurdere et materiales bærekraft må det vurderes i alle sine livsfaser fra råvareutvinning til rivning. Mange andre materialer har en lang og lineær prosess med en bestemt begynnelse og slutt. Med et negativt karbonavtrykk, minimal transport, et utmerket isolerende materiale under driftsfasen, lang holdbarhet, og muligheter for tilbakeføring i jorden eller et forbrenningsanlegg, er halm en del av et sirkulært kretsloop og utmerker seg som et av verdens gunstigste byggematerialer miljømessig.





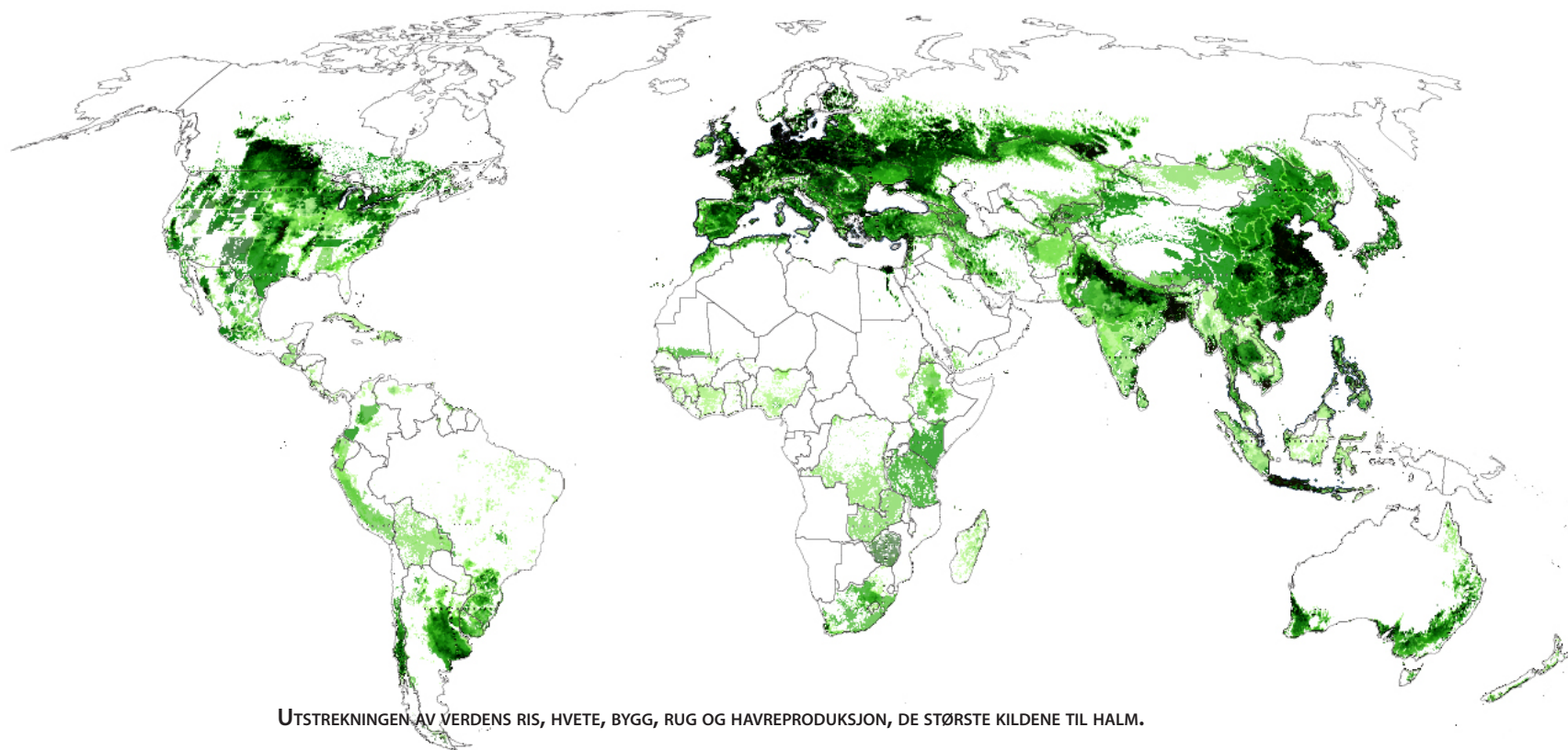
# VERDENS HALMPRODUKSJON

Halm er et biprodukt etter verdens korn og risproduksjon, verdens største og viktigste kilder til mat. De fem største kildene til halm er ris, hvete, bygg, havre og rug. Korn kan trives fra arktiske strøk til ekvator og kan dyrkes opp til 4000 m.o.h.

Enorme landareal går med til halmproduksjon, og produseres i store deler av verden. Dette gjør halm til et kortreist, lokalt og tilgjengelig materiale å bygge med i hele verden.

## HVA ER HALM?

*"Halm er strå og blad av modent korn, av belgvekster og av engvekster høstet til frø, særlig etter at kornet eller frøet er skilt fra ved tresking" (snl.no/halm)*



UTSTREKNINGEN AV VERDENS RIS, HVETE, BYGG, RUG OG HAVREPRODUKSJON, DE STØRSTE KILDENE TIL HALM.



## EN ENORM RESSURS

I 2010 ble det produsert om lag 1 478 millioner tonn hvete, bygg, havre, rug og ris. Ganget med korn-til-halm rater får vi en årlig halmproduksjon på om lag 2106 millioner tonn halm. (Brown, 2003; Heid, 1984; Larson, 1997a, 1997b). Det tilsvarer vekten av 42 130 store oljeplattformer representert av en prikk på illustrasjonen. Kun en brøkdel av dette overskuddet blir nyttiggjort. Håndteringen av overskuddet er ofte en utfordring.







#### ET KARBONLAGRINGSPOTENSIALE

Halm binder ca 2 865 millioner tonn CO<sub>2</sub> hvert år, 8,5% av verdens årlige CO<sub>2</sub> utslipp på 33 508 millioner tonn. Vanligvis frigis denne CO<sub>2</sub>-en i atmosfæren når halmen brennes eller brytes ned. Ved å anvende halm som byggemateriale, lagres karbonet og hindres fra å tilbakeføres i atmosfæren. Det forskes også på biokull (biochar) av halm hvor halm forbrennes uten å frigi karbon. Kullet som blir igjen er meget stabilt mot nedbrytning og kan lagres i jorden flere hundre år.

#### ET ENERGIPOTENSIALE

I form av energi utgjør verdens halmproduksjon 10 532 TWh, ca 7,5% av verdens totale energibruk på 143 841 TWh (tall for 2008, Energiläget in Sweden 2011). En energikilde som utnyttes i liten grad idag.





# HÅNTERING AV HALM IDAG

Det enorme mengdene halm som produseres årlig har få direkte brukssområde og regnes nærmere som en utfordring med tanke på håndtering, enn som en ressurs. En viss andel bør tilbakeføres i jorden for å opprettholde humusinnholdet, men jorden greier ikke å bryte ned all halmen. Halm kan brukes som strø og 2. rangs fôr til dyr, men kun en brøkdel av halmen benyttes til dette eller andre formål.



## ÅPEN BRENNING

Brenning på jordene er den billigste (Zhang) og mest praktiserte håndteringen av biomasse mange steder i verden. Åpen brenning på jordene er en viktig kilde til en mengde gasser og forurensende partikler i atmosfæren og er en betydelig faktor i atmosfærens kjemi. (Li) I år 2000 sto brenning av halm for utslipp av 2100 millioner tonn CO<sub>2</sub>, 10,8 % av verdens VOC og 7,7% av verdens karbonmonoksid. (Chang) I tillegg frigis det blant annet CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> og SO<sub>2</sub>. I Kina, India, og USA meldes det om betydelige helseproblemer knyttet til svevestøv og smog fra denne brenningen. Problemet blir særlig tydelig i områder med meget høy produksjon av halm og få ressurser til håndtering. Å finne alternative bruksområder av halm er dermed et direkte miljøtiltak.



CO<sub>2</sub>

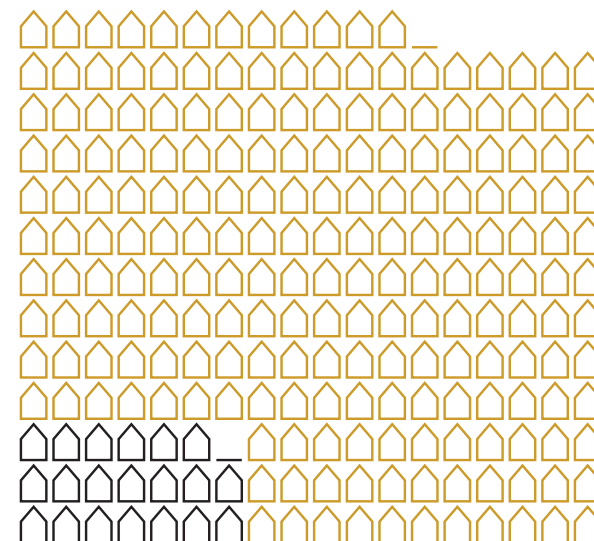
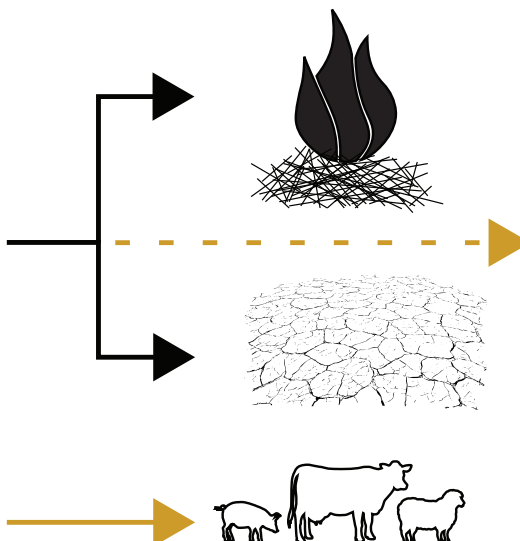
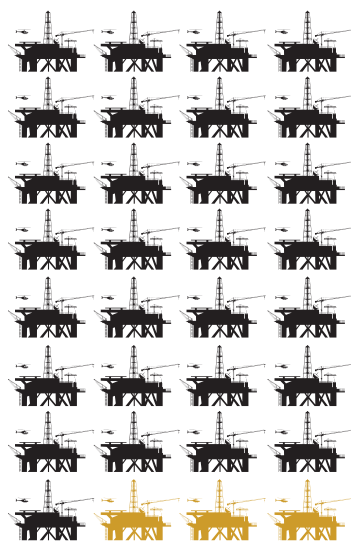
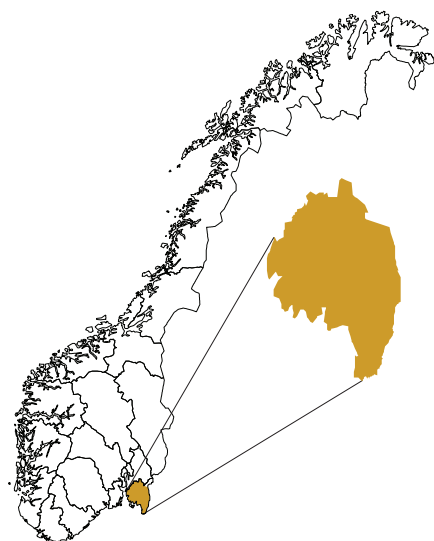
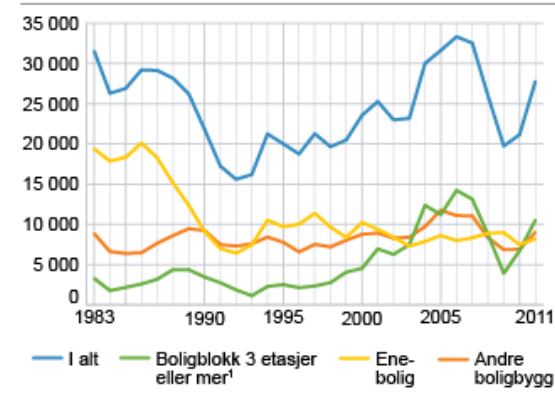
“Increasing environmental and public health concerns with conventional straw disposal methods, such as open-field burning, have made alternative uses of straw attractive in many countries”

Zhang, R. Jenkins, B

## HALMPRODUKSJON I NORGE

I Norge produseres det korn på over 3 millioner dekar, et område nesten på størrelse med Østfold fylke som gir om lag 1 628 000 tonn halm tilsvarende vekten av 32 store oljeplattformer. 150 000 tonn benyttes som for og strø til dyr. Resten tilbakeføres i jorden eller brennes på jordene. Av overskuddet kunne man produsert om lag 180 000 boliger i Norge over 9 ganger flere boliger enn det produseres i året.

Igangsatte boliger, etter bygningstype¹. 1983-2011



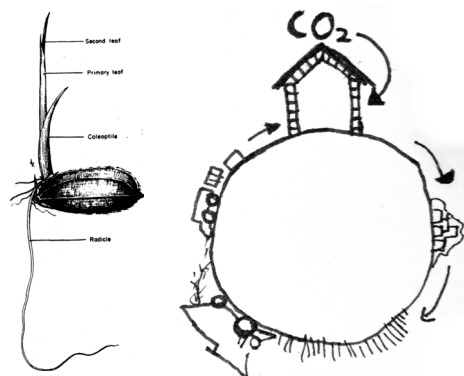




## HALMENS KARBONAVTRYKK

Et karbonavtrykk forteller hvor mye CO<sub>2</sub> som har gått med til å fremstille et materiale eller en gjenstand. Alle energiprosesser fra utvinning av råmaterialer til materialet står klart på byggeplassen regnes med i et byggematerials karbonavtrykk.

Halm har et unikt CO<sub>2</sub> regnskap. For det første er fremstilling av halm lite energikrevende. Som et biprodukt etter verdens kornproduksjon er det rimelig å regne energien til å treske kornet og presse halm på jordbrukets regning. I halmballhus benyttes pressede halmballer uten videre bearbeiding etter landbruket. Det eneste som da vil tilegnes halmballers innebygde energi er transporten til den aktuelle byggeplass og siden korn produseres de aller fleste steder i verden, er behovet for transport minimalt. Den totale fotavtrykket til halmballer som byggemateriale er 0,01 kg CO<sub>2</sub> / kg halm. (Hammond, 2008)

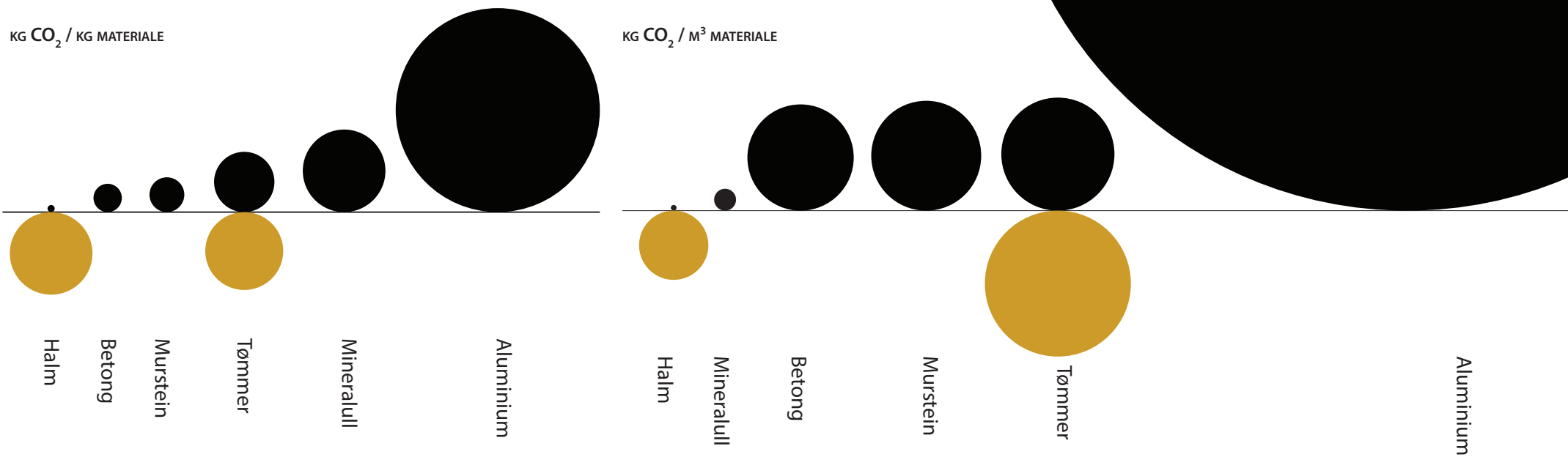


### KARBONLAGRING

Halm er en fornybar ressurs og en del av et naturlig karbonkretslop der kornplanten gjennom fotosyntesen binder 1,36 kg CO<sub>2</sub> per kg halm som frigis igjen ved nedbrytning eller brenning. Som en del av et naturlig karbonkretslop regnes ikke dette karbonet som en del av verdens klimagassutslipp, og kan dermed benyttes som en grønn energikilde og trekkes fra halmens karbonavtrykk siden karbonet hindres fra å slippe tilbake i atmosfæren. Bygging med halm vil binde store mengder CO<sub>2</sub> som ellers ville blitt frigitt i atmosfæren, og det er rimelig å regne med dette i et regnskap. Ved å trekke fra mengden CO<sub>2</sub> som lagres, oppnår halmen et negativt fotavtrykk på -1,35 kg CO<sub>2</sub> / kg halm. (Sodagar, 2011) Halmballer lagrer dermed over 136 ganger mer CO<sub>2</sub> enn den krever til fremstilling.

## SAMMENLIGNING MED ANDRE MATERIALER

Halm utmerker seg som et meget energigjerrig materiale sammenlignet med de fleste andre byggematerialer. Alternative isolasjonsmaterialer har en betydelig større energibelastning og ved å erstatte Materialers innebygde energi måles enten i  $\text{kg CO}_2 / \text{kg materiale}$  eller i  $\text{kg CO}_2 / \text{m}^3 \text{ materiale}$ . Avhengig av materialenes vekt vil materialene komme forskjellig ut på resultatene.



KILDE: (HAMMOND, 2008)

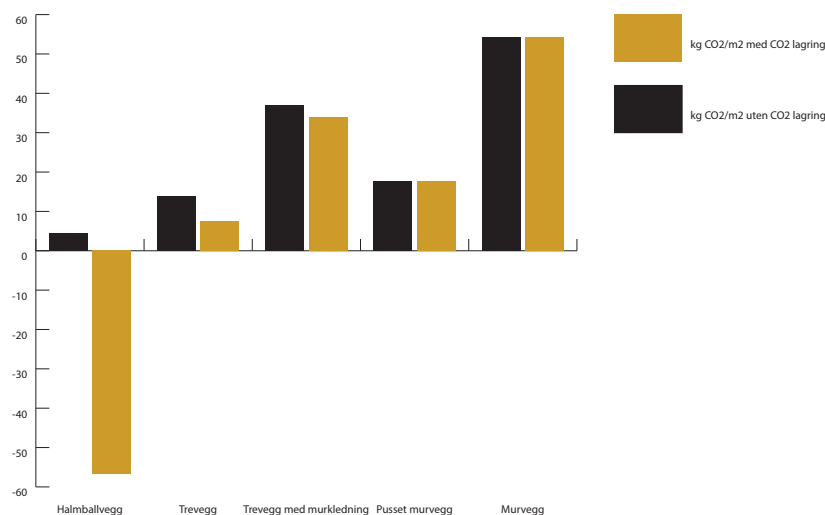


## OM DIAGRAMMENE

Diagrammene er egenproduserte etter data fra oppgaven "The carbon reduction potential of straw" som studerer halmbyggeteknikkens potensiale til å redusere CO<sub>2</sub> utslipp. Gjennom å bygge og drive to boliger av halmballer blir CO<sub>2</sub> utslipp vurdert i en livssyklusanalyse (LCA) på 60 år. Den innebygde energien i materialene og utslippene i forbindelse med bygging, drift og riving analyseres og sammenlignes med de fire vanligste alternative konstruksjonene i England bygget med samme U-verdi.

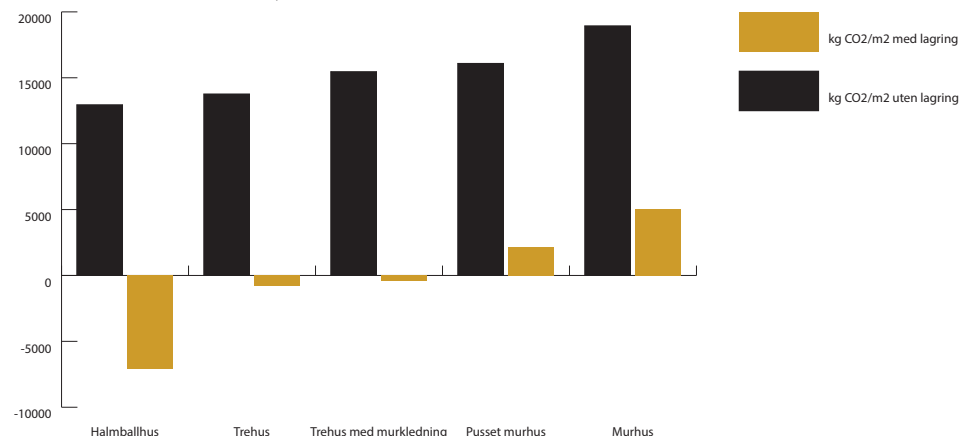
### INNEBYGGET ENERGI FOR ULIKE VEGGTYPEN

På grunn av mengden halm som går med til massive konstruktive vegger av halm og fraværet av behov for andre materialer viser sammenligninger med andre veggtyper at halmvegger har et mye gunstigere karbonavtrykk både uten og med karbonlagring. De store mengder CO<sub>2</sub> som lagregir faktisk et like stort negativt fotavtrykk som murvegger har et positivt karbonavtrykk.



### INNEBYGGET ENERGI FOR ULIKE HUSTYPER

Diagrammet viser fotavtrykket av alle hovedmaterialer som er gått med til byggingen av de ulike husene. Halmens negative karbonavtrykk gir et merkbart utslag på halmballhusets totale materialregnskap sammenlignet med andre hustyper.

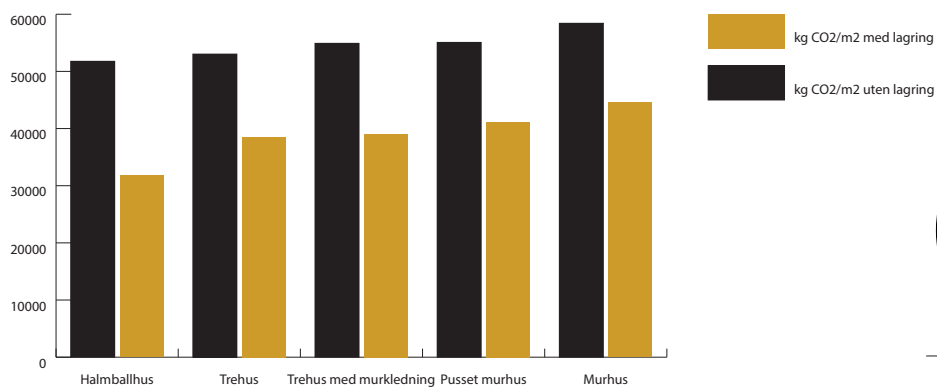


EGENPRODUSERTE DIAGRAMMER DATAKILDE: (SODAGAR, 2011)

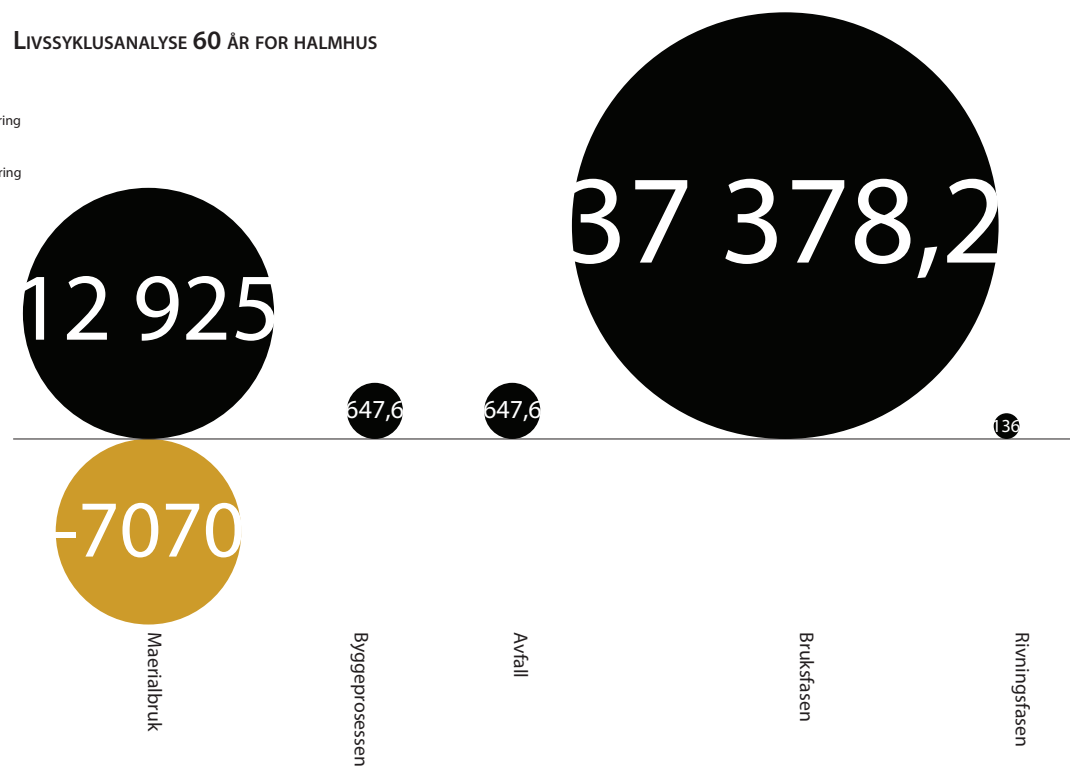
## LIVSSYKLUSANALYSE AV HALM

Selv om driftsfasen utgjør det største karbonavtrykket, viser livssyklus-analuser av halmhus at husets karbonlagring gir en betydelig reduksjon i husets totale fotavtrykk etter 60 år.

LIVSSYKLUSANALYSE 60 ÅR FOR ULIKE HUSTYPER



LIVSSYKLUSANALYSE 60 ÅR FOR HALMHUS



EGENPRODUSERTE DIAGRAMMER, DATAKILDE: (SODAGAR, 2011)



## RIVNINGSFASEN

Bygningsavfall er en av verdens største kilde til søppel. Ulikt mange andre byggematerialer er halm et uproblematisk avfall ved rivning. Halm som bygningsavfall kan enkelt tilbakeføres til jorden eller enda bedre utnyttes for sitt høye energiinnhold ved å omdannes til fornybar og grønn energi. Og fra jorden spirer det atter opp et nytt strå.

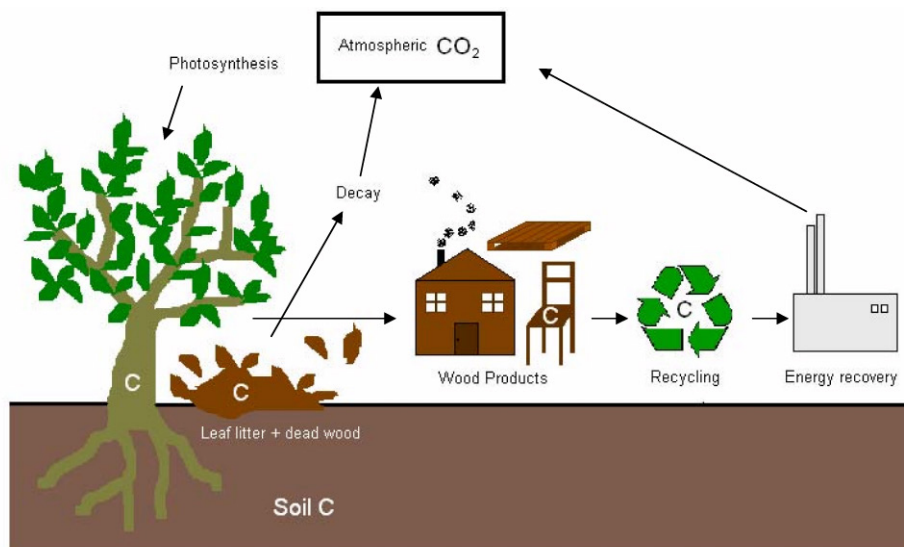
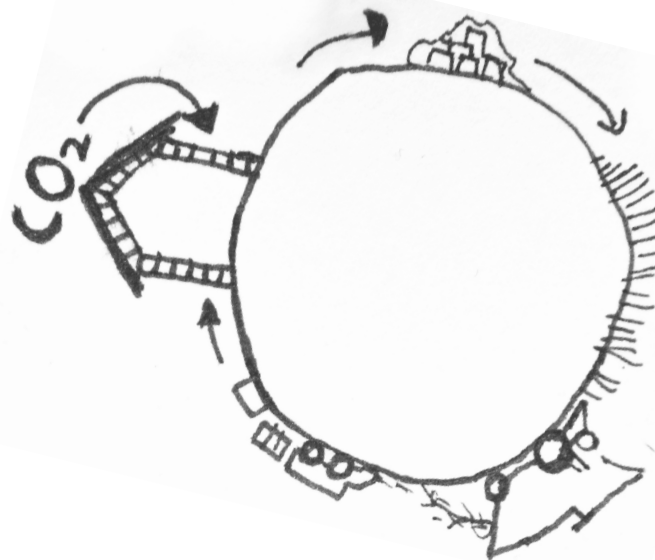


FOTO: THE EDINBURGH CENTRE FOR CARBON MANAGEMENT

## LEVETID

En bygnings levetid er et viktig punkt med tanke på bærekraft. Erfaringen fra de første bygde halmballhusene for over 100 år siden tyder på at halm har en lang levetid så lenge fuktighet holdes unna materialet på lik linje med treverk. Så ved riktig behandling av materialet, vil halm kunne leve langt lenger enn en bygnings forventede levetid.



# HALMBALLENS BYGGETEKNISKE EGVENSKAPER

## FORSKNING PÅ HALMBALLKONSTRUKSJONER

Etter gjenoppdagelsen på 80-tallet har systematisk forskning på halmballbygging blitt utført. Særlig USA og Canada var tidlig ute med å stadfeste brannmotstand og isolasjons- og bæreevne. Senere har europeiske land som Østerrike, Tyskland og England bidratt til forskning på halm. En rekke støttede forsøksbygg er satt opp, blant annet BaleHaus ved universitetet i Bath, et prefabrikert hus overvåket med monitorer i veggene og S-House, et . I USA finnes det idag offentlige byggeforskrifter og veiledere for bygging med halmballer.

Norske byggforskingsmiljøer har en større skepsis for halmballbygging, hovedsakelig i frykt for fuktproblemer i vårt klima og har ikke gjort noen offentlige tester på halm, eller gitt noen form for godkjenning av materialet til tross for en betydelig og økende bygningsmasse her til lands som viser gode resultater. Økende kunnskap har gradvis redusert den tidligere skepsisen til halmbygging.

## VARMEISOLERENDE EGENSKAPER



En av de mest åpenbare egenskapene til halm som byggemateriale er dens gode varmeisolerende evne. Tester i Tyskland og Østerrike har kommet frem til en lambdaverdi (spesifikk isolasjonsverdi)  $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$  på tvers av fiberretningen og  $0,06 \text{ W/mK}$  i fiberretningen. (Minke, 2005 s. 29)

En liggende halmball med tykkelse på 45 cm får da en U-verdi på  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ , tilsvarende 30 cm mineralull. På høykant med 35 cm tykkelse får en halmball en U-verdi på  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



## KONSTRUKTIVE EGENSKAPER

De første halmhusene bygget i Nebraska benyttet pussede halmballer som bærende element, og er levende bevis på at halm har konstruktive egenskaper til tross for snølast og andre påkjenninger i over 100 år.

### STYRKE



Tester ved University of Arizona som belastet en 3-strengs halmball iggende (vinkelrett på fiberretningen) ble ballen belastet med 33 tonn før man oppnådde bruddgrense (48 500 kg/m<sup>2</sup>). Fordelt på halmballens areal får man et trykk på bare 0,47 N/mm<sup>2</sup>. På kant (i fiberretningen) tålte halmballen 6,3 tonn eller 0,14 N/mm<sup>2</sup>, om lag 1/4 i forhold til en liggende halmball. Dette kommer av knekning eller kanskje retttere sagt at halmen i halmballene allerede har knukket. Til tross for

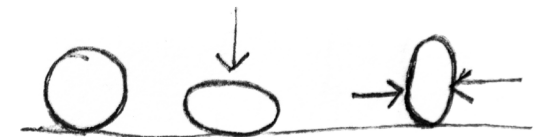
et relativt lavt trykk, har konstruksjoner av halm den fordel at lasten kan fordeles i hele halmveggen siden halmen også fungerer som isolerende element. Dette tillater at materialet i seg selv tåler et noe lavere trykk. Halmballkonstruksjoner er foreløpig godkjent i 1 og 2 etasjes bygninger.



### DEFORMASJON OG ELASTISITET

Den største utfordring for å kunne benytte halm konstruktivt er deformasjon. Etter det nevnte forsøket ble ballen presset sammen med 50%. Mesteparten av halmballens høyde ble i etterkant gjenvunnet, som viser at halm har en elastisk styrkeegenskap. En upusset vegg av samme halmballer, lengde 3,66 m og høyde 2,44 m ble påført en last på 7182 kg (1962 kg/lm). Veggen fikk en overraskende stor sammenpressing på 17,8 cm eller 7% av høyden, mye høyere enn hva som er sett på eksisterende bygg. Utførte tester viser at pusslaget bærer en betydelig del av lasten, noe som kan by på sprekkdannelser i pussen siden halmballer i stor grad er elastiske, mens puss er mye stivere.

Halmens deformasjon og elastisitet kan forklares ved å se på halmens sylinderform.



## JORDSKJELVMOTSTAND

Halmens elastiske egenskap har vist seg ypperlig i møte med jordskjelv. I kjølvannet av jordskjelvet i Pakistan, 2005 der rundt 100 000 mennesker døde har University of Nevada, Reno jobbet med et prosjekt, PAKSBAB (Pakistan Straw Bale and Aproprate Building), der de har utviklet prototypehus som benytter halmballer for å bygge jordskjelvtrygge hjem av lokale og billige byggematerialer. Prototypen har blitt testet for meget høye rystelser fremdeles stod intakt.

Halmens fleksibilitet/elastisitet gjør at den greier seg under store rystninger. Halmballkonstruksjoner er en ideell løsning i fattige og jordskjelvutsatte deler av verden.

Halm er et billig og tilgjengelig byggemateriale. Det samme gjelder pusslaget som vanligvis brukes på utsiden og innsiden som for det meste består av leire og sand. Med enkle løsninger vil halmbygging kunne være nærmest gratis gitt fri til-

gang på materialer og egen arbeidskraft. Halm kan dermed egne seg ypperlig som byggemetode i mange typer krisesituasjoner. Eksempler på dette finnes allerede. I Hviterussland ble 200 boliger av halm satt opp for flyktninger etter Tsjernobylulykken, og i Mongolia ble ca 100 boliger satt opp som et nødhjelpstiltak.





## BRANNMOTSTAND

Mange tror halm er et meget brannfarlig byggemateriale, noe som stemmer for løs halm. Dette bildet endres når halm presses hardt sammen. Utilstrekkelig med oksygen kommer til for å sette i gang en aggressiv flamme. Utildekte halmballvegger vil gløde og forkulle sakte og kontrollert, og erfaringer fra branner i slike konstruksjoner tilsier at det sjelden er fare for menneskeliv (Jacobsen). Halmballvegger dekkes vanligvis med et 3-5 cm ubrennbart pusslag på begge sider. Pusslaget forhindrer antennelse av veggen samtidig som halmen isolerer mot varmespredning gjennom konstruksjonen. Resultatet er nærmest ubrennbare vegger. Offisielle tester i Østerrike på en ikke-bærende halmvegg har fått klassifisering F90, som betyr at veggen kan opprettholde sin primære funksjon som bæring og lukking av rom i 90 minutter. Klassifiseringen er understøttet av flere andre tester i Østerrike og Tyskland. Ved en SHB AGRA test i USA har de oppnådd høyeste klassifikasjon på F120, og i Canada har de gjennomført branntester på over 4 timer med en temperaturøkning på motsatt side på 39 grader.



## FUKTEGENSKAPER

Halm er et biologisk nedbrytbart materiale, så i likhet med treverk er halm utsatt for biologisk aktivitet ved fuktighet over 18-20 % av tørrvekt, men en bør holde seg under 15 % (Minke). Halm er et hygroskopisk materiale som betyr at det transporterer og fordeler fuktighet og gasser gjennom sitt volum. Halmballvegger utføres derfor uten diffusjonssperre og stabiliserer seg vanligvis på rundt 10% fuktighet. Et forsøk på en tørr og en fuktig halmball lukket i samme plastpose viste at ballene kun etter et døgn hadde samme fuktighet. Med 8 % buffer opp til kritisk nivå vil en vanlig enebolig ha en buffer på 400 liter vann( Jacobsen). Forsøk på eksponering av halmballer i været har vist at vannet ikke trenger langt inn i halmballen, og dreneres ut av veggen raskt på grunn av god lufting.

## INNEKLIMA



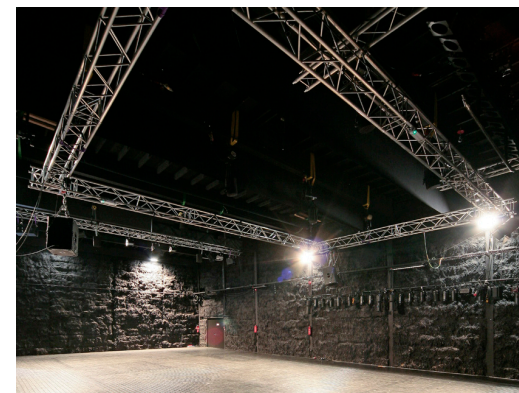
Mennesker i den vestlige verden bruker gjennomsnittlig over 90% av deres liv innendørs. Inneklima spiller en viktig rolle for et menneskes helse, velvære og produktivitet. Nye bygninger består av flere komponenter enn tidligere og bygningselementene inneholder flere og flere kjemiske forbindelser som frigis i inneluften. Tiltakene for å redusere energibruken kommer ofte på bekostning av et helsemessig inneklima. 30% av nye eller renoverte bygninger lider under Sick-Building-Syndrome, med andre ord har alvorlige inneklimaproblemer ifølge The US Environmental Protection Agency. I Norge er 1 av 5 barn rammet av astma, en betydelig økning de siste årene, og i USA har de anslått at dårlig inneklima er ansvarlig for 30 milliarder dollar i helseutgifter og 100 milliarder dollar i sykefravær. (Fisk m. fl, 1997)

Halm er et rent naturmateriale og inneholder ingen helsefarlige kjemiske stoffer sammenlignet med industrielt- og kjemisk fremstilte produkter. I tillegg regulerer halm både lyftfuktighet og andre gasser gjennom sitt volum på grunn av materialets hygroskopiske egenskaper. Tradisjonelle halmvegger som er pusset med en innvendig leirpuss regulerer både innnetemperaturen og luftfuktigheten i en bygning.

## LYDISOLASJON

Halmballer viser en ypperlig lydisolerende effekt. Tester i et lydstudio i Australia på en 45 cm tykk vegg gav en forskjell i desibel på 43-55 dB (John Glassford in GrAT 2001)

En annen test utført ved Technical University Eindhoven, Nederland sammenligner en 45 cm tykk halmvegg med både mur og betong på mellom 10-15 cm. Bildet under viser halmballer benyttet som lyddempende vegger i en black box teatersal i NO99 Straw Theatre, Salto Architects.



## TERMISK MASSE

Halm har en lav termisk masse, men pusslaget som påføres tradisjonelle halmballvegger har en god termisk masse som tillater en jevnere temperatur og utnyttelse av passiv solvarme.



# HALMBALLENS UTFORDRINGER

*"Hvor har du tjoret hesten?"*

Tilfeldig forbipasserende

*"Sa du Halm??"*

Ansatt ved Sintef

## ET MERKELØST MATERIALE

Få er kjent med halm som byggemateriale fordi halmballen ikke er et produkt, men et anonymt restmateriale etter jordbruket i skyggen av skrikende byggeprodukter. Halmballenes produsent er bonden, ikke et selskap, og finnes ikke i noen katalog, er ikke et merke, og blir ikke reklamert for eller gitt støtte til forskning. Dette fikk jeg erfare allerede i starten av min oppgave når jeg kontaktet SINTEF for å høre om det var mulig å gjøre noe tester av halm som byggemateriale. Svaret jeg fikk var at det trengtes økonomisk sponning for å kunne inngå et samarbeid. Så lenge halm fremstilles og selges som et restprodukt fra jordbruket og ikke som et byggemateriale, vil det ikke finnes særlig forteneste og dermed ikke et markedskrefter som fremmer halm som byggemateriale.

I tillegg til halmens nevnte ulemper tidligere i oppgaven har halmballen en upresis form og dimensjoner og en meget høy deformasjon som hindrer de fleste å bygge med halm konstruktivt. Bygging med halmballer er en ukonvensjonell og noe tidkrevende byggeskikk som krever personlig interesse og engasjement for å gjennomføre.



*"Er ikke halm sånn man bygger med i Afrika?"*

Medstudent

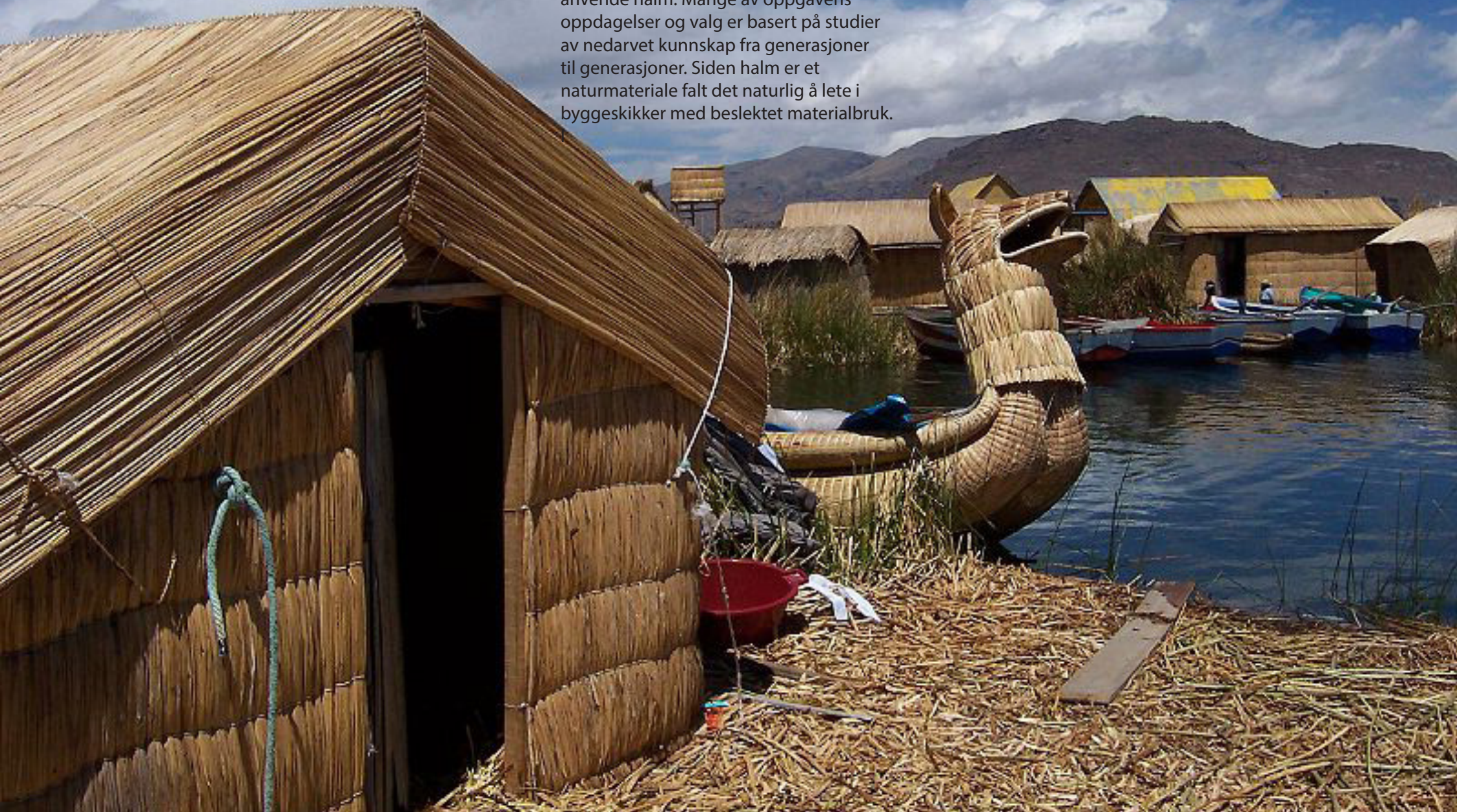


Mangelen på kunnskap om halmens egenskaper kommer som regel tvilen til gode. Det store flertall har aldri hørt om bygging med halm annet enn i eventyret om de tre små griser, som ikke direkte reklamerer for halmbygging. Halm er ikke anerkjent som et "mainstream" byggemateriale, men regnes som et "ytterst al-ternativt" byggemateriale av de fleste idag. Halmballer har blant mange et stigma som et bondsk, og gammeldags materiale.



# INSPIRERENDE BYGGESKIKKER

I oppgaven har jeg vært på leting etter teknikker og byggeskikker med en direkte eller indirekte relevans for nye måter å anvende halm. Mange av oppgavens oppdagelser og valg er basert på studier av nedarvet kunnskap fra generasjoner til generasjoner. Siden halm er et naturmateriale falt det naturlig å lete i byggeskikker med beslektet materialbruk.







## THATCHING

Thatching er håndtverket å tekke tak ved hjelp av tørr vegetasjon som strå, siv eller halm og har blitt praktisert i over 2000 år (Jacobsen). Et godt tekket tak sies å kunne stå i ca 50 år og er et bevis på materialets evne til å motstå fukt hvis materialets retning tas i betraktning.

Å studere teknikkene benyttet til taktekking med halm og siv har dermed vært interessant for å lete etter relevant kunnskap som kan overføres til bygging med halm.

## INNHØSTING

Hvis man ser på innhøstingsmetoden av siv og halm til denne beslektede takbyggeskikken, høstes materialet inn i bunter i sin hele lengde uten at stråene slås eller skades. Innhøstingsmetoden er avgjørende for at byggeskikken skal fungere. Viktigheten av stråenes retning kommer godt frem i denne byggeskikken hvor de høstede buntene legges med de kuttete endene vendt nedover på taket med fibre i samme retning.

Resultatet er en mer definert retning på stråene sammenlignet med halmballer.











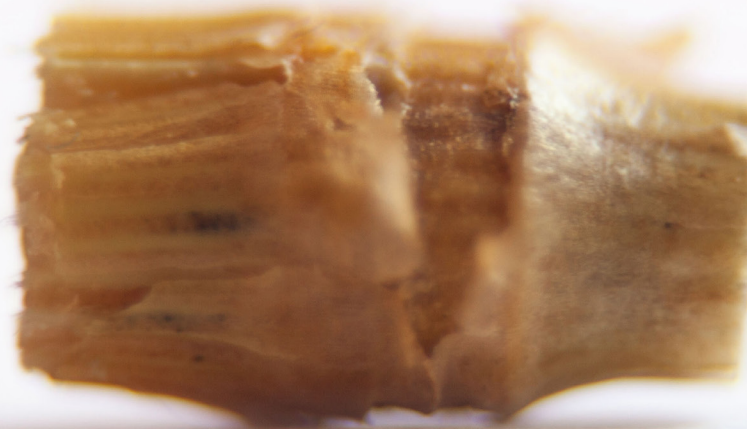
# ANALYSE AV DET OPPRINNELIGE HALMSTRÅET

*"For architecture to be truly constructed, the materials must be used with profound respect for their essence and possibilities"*

Eladio dieste

## TILBAKE TIL DET OPPRINNELIGE HALMSTRÅET

Det første jeg gjorde i den fysiske prosessen var derfor å studere halmstrået i detalj. Derfor var det en stor overgang å møte stråene som befinner seg i halmballen. I råmaterialet halm oppdager man et helt annet materiale enn det man finner i halmballen. Det falt seg dermed naturlig å undersøke det opprinnelige materialet for å utforske dets egenskaper og karakter.



For å forstå halmens karakter må råmaterialet studeres i detalj. Noen av halmens egenskapene kan virke opplagte, men kommer likevel ikke til nytte i dagens halmbygging. I min oppgave har jeg ønsket å finne råmaterialets opprinnelige egenskaper og karakter for å kunne utnytte materialet på best mulig måte.

Dette materialet er det få som får studere siden halm i de fleste tilfeller møter sin skjebne i korn-treskens destruktive kvern.

# HALMENS TAPTE EGENSKAPER

## HALM ≠ HALMBALL

Halm som byggemateriale blir ofte automatisk oversatt til halmballen som nærmest blir som å si at treverk er det samme som finerplater. Problemet med denne litt raske slutningen er at mange av halmens bygningsmessige egenskaper forandres totalt på veien til halmball. Halmballen må sees på en av halmens mange mulige former.

## DAGENS INNHØSTING

Halm høstes idag på en hardhendt og destruktiv måte som ødelegger noen av halmens iboende egenskaper som byggemateriale.

## KORNTRESKEN

I korntresken slås halmen for at kornet skal slippe strået som gjør at halmen brekkes og sprekker opp. Dette åpner de lukkede hulrommene som ligger inne i materialet.

Korntresken blander stråene og spyr ut halmen i tilfeldig retning som gir dårligere stabling enn





halm som ligger i samme retning og krever en hardere pressing av halmballen for å oppnå tilsvarende kompakthet. Halmstråets retningsspesifikke egenskapene neglisjeres når halmstråene veltes i vilkårlig retning

godtas som den er uten å videreutvikles eller bli stilt spørsmål ved. Halmballen ser i dag lik ut som de første ballene brukt til bygging for over 100 år siden.

## HALMBALLPRESSEN

Halmen presses mer eller mindre flate av halmballpressen.

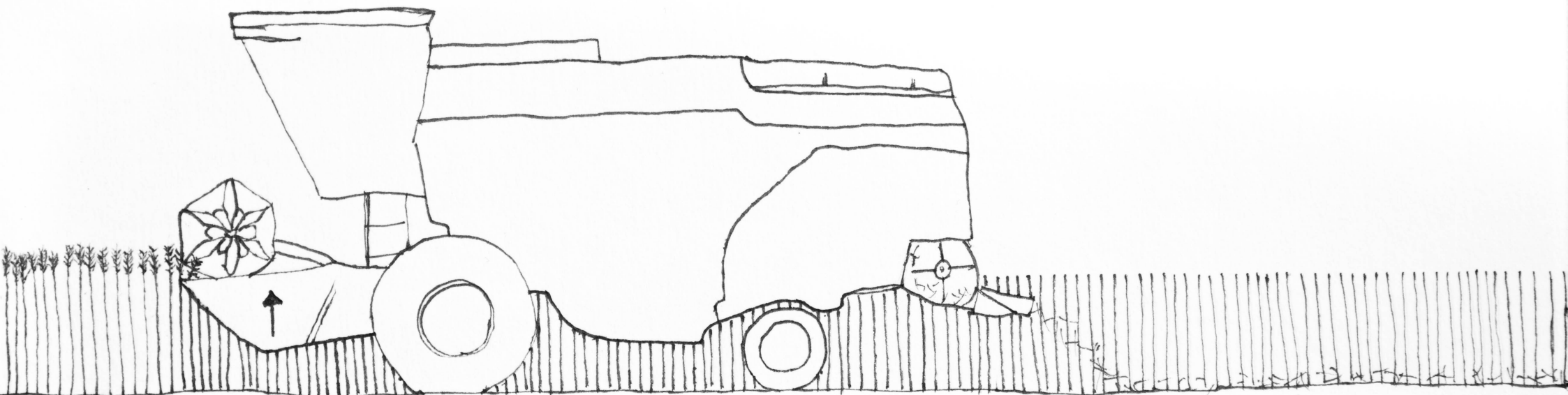
De gamle 2-strengs halmballer som brukes til bygging idag er allerede avleggs i landbruket, og vil bli vanskeligere å få tak i i fremtiden. Halmballens format styres av landbruket, ikke byggeindustrien og må



# EN NY INNHØSTING PÅ HALMENS PREMISER

For en innhøsting på halmens premisser må halm ansees som et byggemateriale allerede ved innhøsting. Kornets aks kuttes fra halmstammen så halmens nedre del unngår å havne i korntresken.

En optimal innhøsting av halm bevarer den naturlige retningen som allerede finnes i stråenes definerte oppstilling på åkeren.



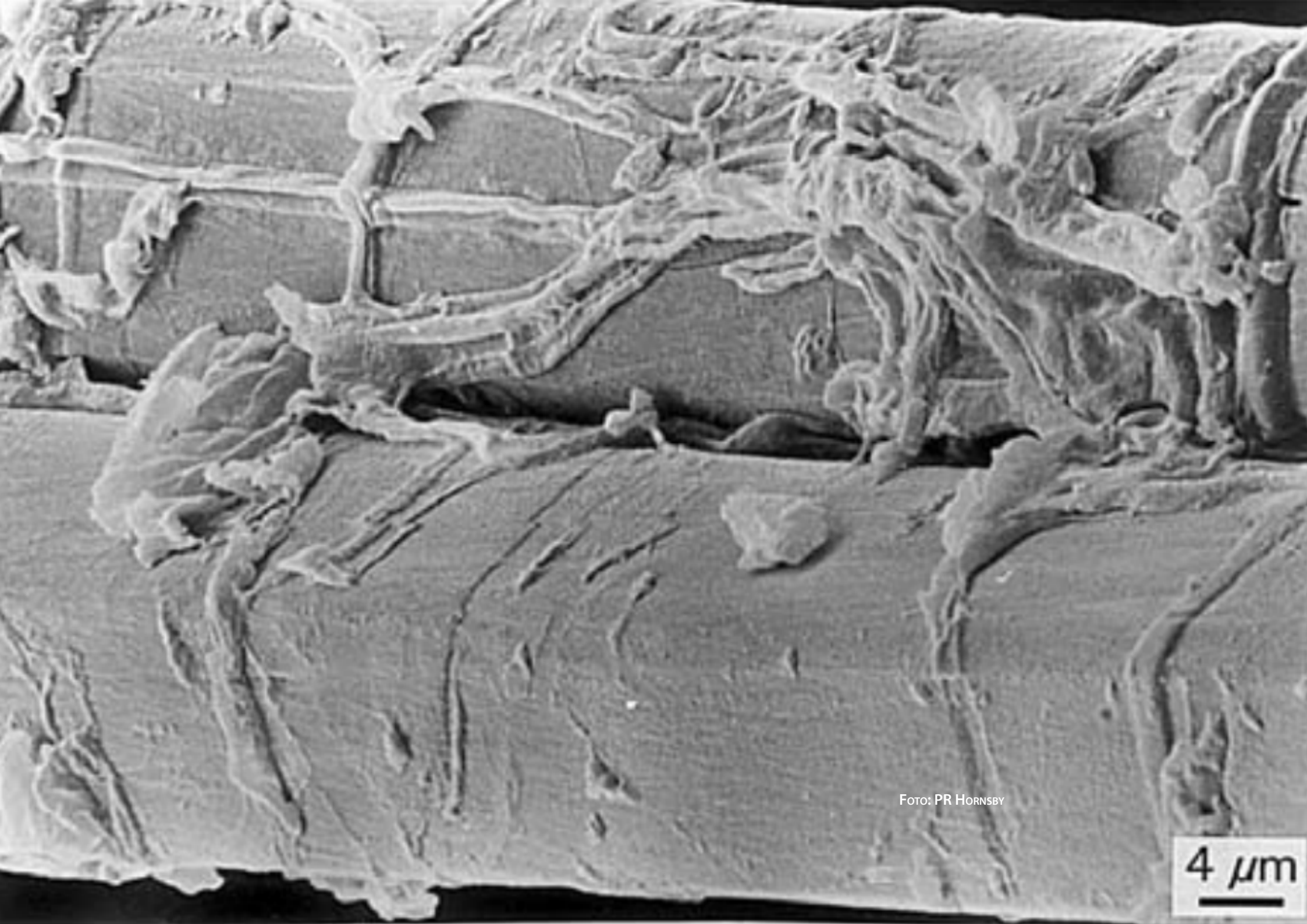


Foto: PR HORNSBY

4 μm



# HALMENS OPPBYGNING OG KJEMI

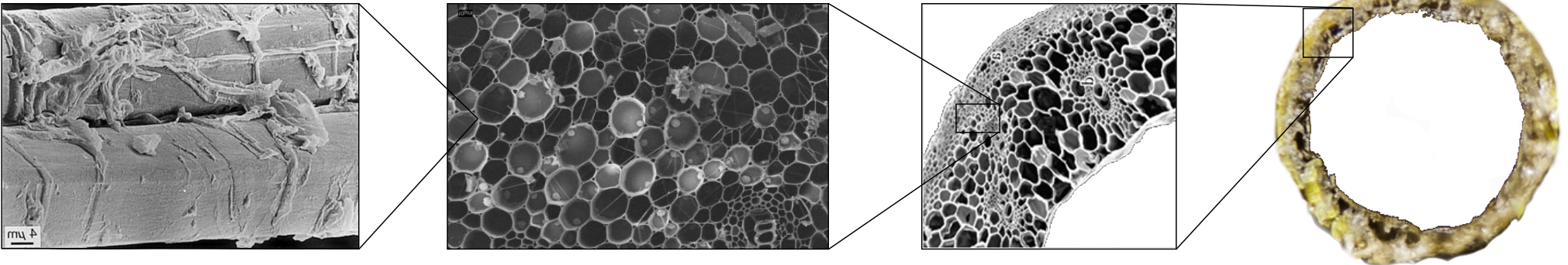
## FIBERSTRUKTUR

Halm består av lange fibre som strekker seg i halmstråets lengderetning. Bildet til venstre viser fiberstrukturen til et halmstrå som er forbundet av intercellulære bindinger. Lengden på fiberene er lenger enn treverkets fibre som gjør den aktuelle å bruke i flere sammenhenger, blant annet som armering i diverse strukturer.

## KJEMI

Halm består av om lag 36 % cellulose ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, 26% hemicellulose ( $C_5H_{10}O_5$ ), 17 % lignin  $C_9H_{10}O_2$ ,  $C_{10}H_{12}O_3$ ,  $C_{11}H_{14}O_4$ , 4 % aske, 2,9 % Protein og 1,2 % Voks i form av en beskyttende film rundt halmens overflate. Halm har en karbonandel på om lag 36,7 % ved 10 % fuktighet. (Sodagar, B. m. fl, 2011)

Halm har mye av de samme bestanddelene som treverk, men en mer porøs oppbygning.



# HALMENS RETNINGSBESTEMTE EGENSKAPER

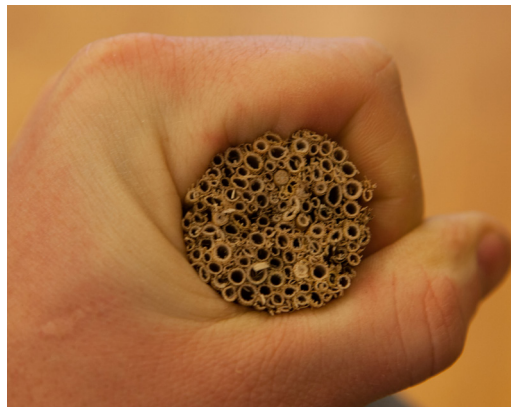
Halmens oppbygning gjør halm til et retningsbestemt materiale med ulike egenskaper avhengig av hvilken retning materialet angripes fra.



Vi kan dele inn i to retninger som det er vesentlig å skille mellom for å forstå halmens iboende egenskaper: Halmens fiberretning, og på tvers av fiberretningen.

## ORGANISERING EN FORUTSETNING

Å bevare halmens retning er en forutsetning for å kunne benytte seg av disse retningsbestemte egenskapene. Parallele halmstrå gir den mest kompakte organiseringen av sylindreformene som betyr mindre luft mellom stråene og mer luft lukket inne i stråene. En mest mulig kompakt organisering er en forutsetning for mange av halmens egenskaper, blant annet brannmotstand og vindtetthet.



## NODE/BLADFESTE

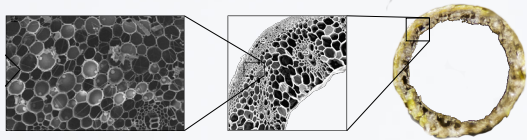
## INTERNODE





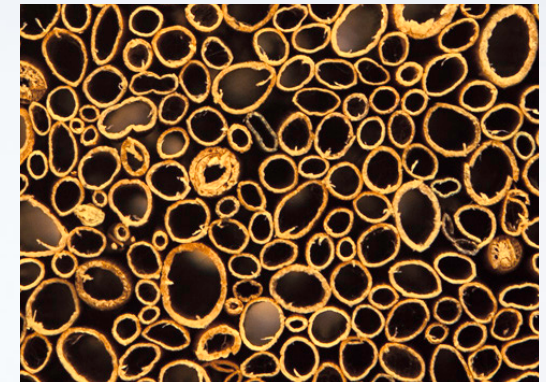
# HALMENS ISOLERENDE SIRKEL

I halmens tverrsnitt kan man se lufttrommene som befinner seg inne i halmstrået. Halmes hovedrom er et lukket luftrom takket være nodene eller bladfestene som deler sylindren opp.



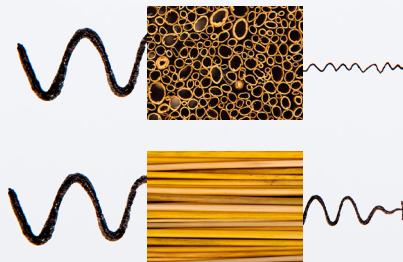
Også sylinderveggen og bladene i halmstrået består av uendelig mange luftfylte porer. Disse lufttrommene er årsaken til halmens gode varmeisolerende evne, så desto helere halmstrået bevarer, desto mer av halmens isolerende luftrom vil bevarer. I dagens behandling av halm blir mesteparten av disse indre luftrom presset sammen, eller åpnet opp av en røff behandling.

Halm isolerer bedre på tvers av fiberretningen enn i fiberretningen. Dette bekreftes av tester på halmballer. ( $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$  på tvers av fiberretningen og  $0,06 \text{ W/mK}$  i fiberretningen) Ved å strukturere hele halmstrå i samme fiberretning vinkelrett på varmestrømmen vil varmeisolasjonen trolig forbedres ytterligere sammenlignet med halmballen



Den parallele organiseringen av hele halmstrå gir mest mulig luft lukket inne i stråene og minst mulig luft mellom stråene.

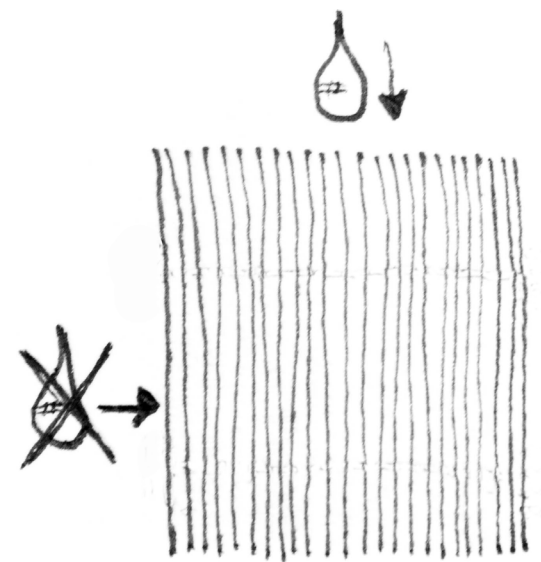
Dermed er det rimelig å anta at halmblokkens varmeisolerende evne vil forbedres ytterligere sammenlignet med halmballen men har til gode å testes med tanke på isolasjonsevne, noe som bør utføres i et videre arbeid.



## FUKTTTRANSPORTERENDE RETNING

Halmstrået er laget for å suge fuktighet fra bakken gjennom fiberretning. Halmens overflate er dekket av et tynt vokslag som gir strået en vannavvisende overflate. Med andre ord transporterer halm fuktighet i halmens fiberretning, ikke på tvers av den. Ved å organisere halm parallelt med hverandre vertikalt vil gi en vannavvisende ytterside som reduserer fukttransport gjennom veggen og samtidig gir den beste retningen med tanke på vannavrenning ved å benytte halm direkte som værhud. Byggeskikken thatching beviser at halm som er bevart hel og organisert i samme retning, kan tåle 50 års fuktpåkjenning selv som takteking.

i motsetning vil skadet og omveltet halm trekke vann fra alle retninger, inkludert vertikalt på strået siden stråene har sprukket opp.





A photograph of a cylindrical block made of straw, held between two metal plates of a mechanical press. The straw block is light yellow and shows some internal texture and slight fraying. The metal plates are silver-colored and have circular indentations. The background is a warm, brownish-gold color.

# HALMBLOKKENS KONSTRUKTIVE EGENSKAPER

I mine studier av halm har jeg sett på potensialet i å benytte halmens konstruktive egenskaper i fiberretningen. En egenskap som har vært viktig for oppgaven av flere grunner. Halmens konstruktive egenskaper er avgjørende for hvilket potensiale materialet har som et konvensjonelt byggemateriale i en større skala.



# HALMSTRÅETS KONSTRUKSJON

Halm er i utgangspunktet mange ganger sterkere og mer trykkfast i fiberretningen enn på tvers av den både på grunn av fiberets retning, men også på grunn av halmens sylinderform. Et enkelt bevis på det er å skjære seg et kort halmstrå og forsøke å trykke det mellom fingrene både i og på tvers av fiberretningen. Det bekreftes også i plantens egen natur der tyngden fra kornet føres rett ned gjennom stråets stamme. Desto rettere kreftene blir ført i halmens fiberretning, desto større blir halmens bæreevne.

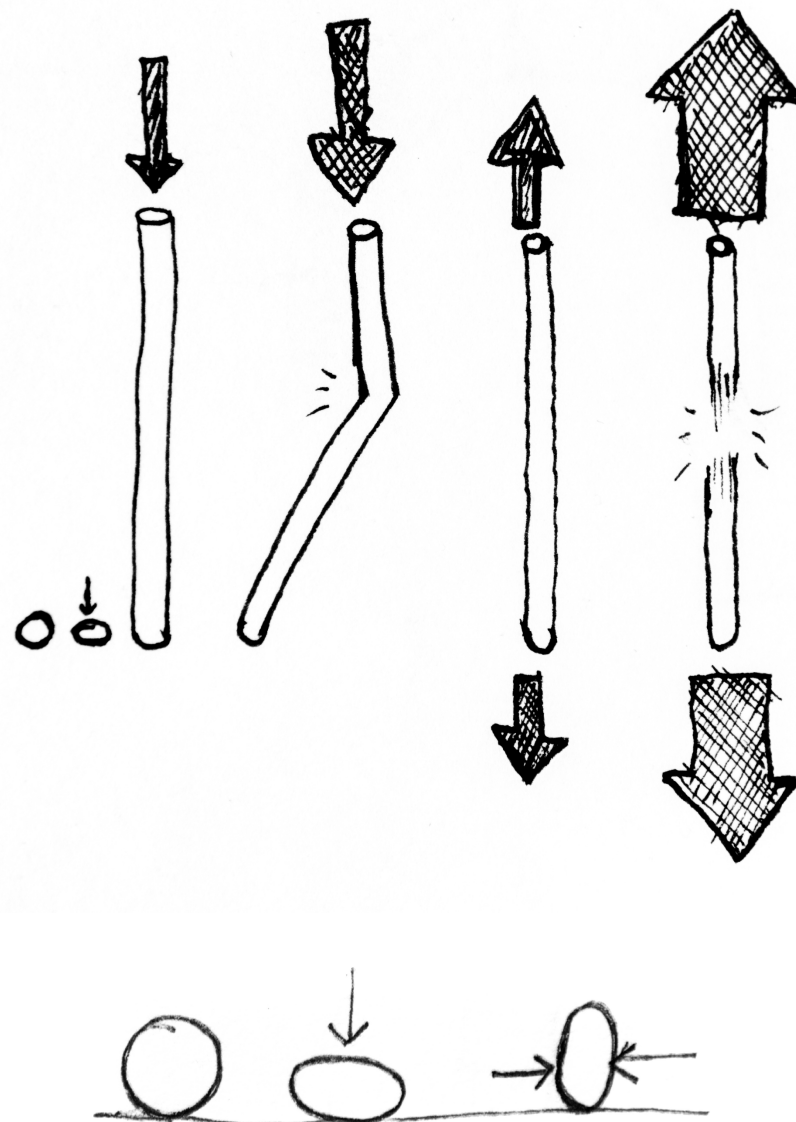
## KNEKNING

Enkeltstående halmstrå som trykkes i fiberretningen er relativt utsatt for knekning, som vil inntreffe lenge før halmens egentlige lastbærende potensiale er nådd. Ved å eliminere knekning kan halmens potensielle bæreevne i fiberretningen utnyttes. Halm kan sammenlignes med en brusboks som har en sylinderform på bare tidelers millimeter som tåler enorme krefter så lenge boksen er inntakt og lasten fordeles jevnt i sylindere. Så fort noen knipser på sylinderveggen kollapser boksen for trykket.

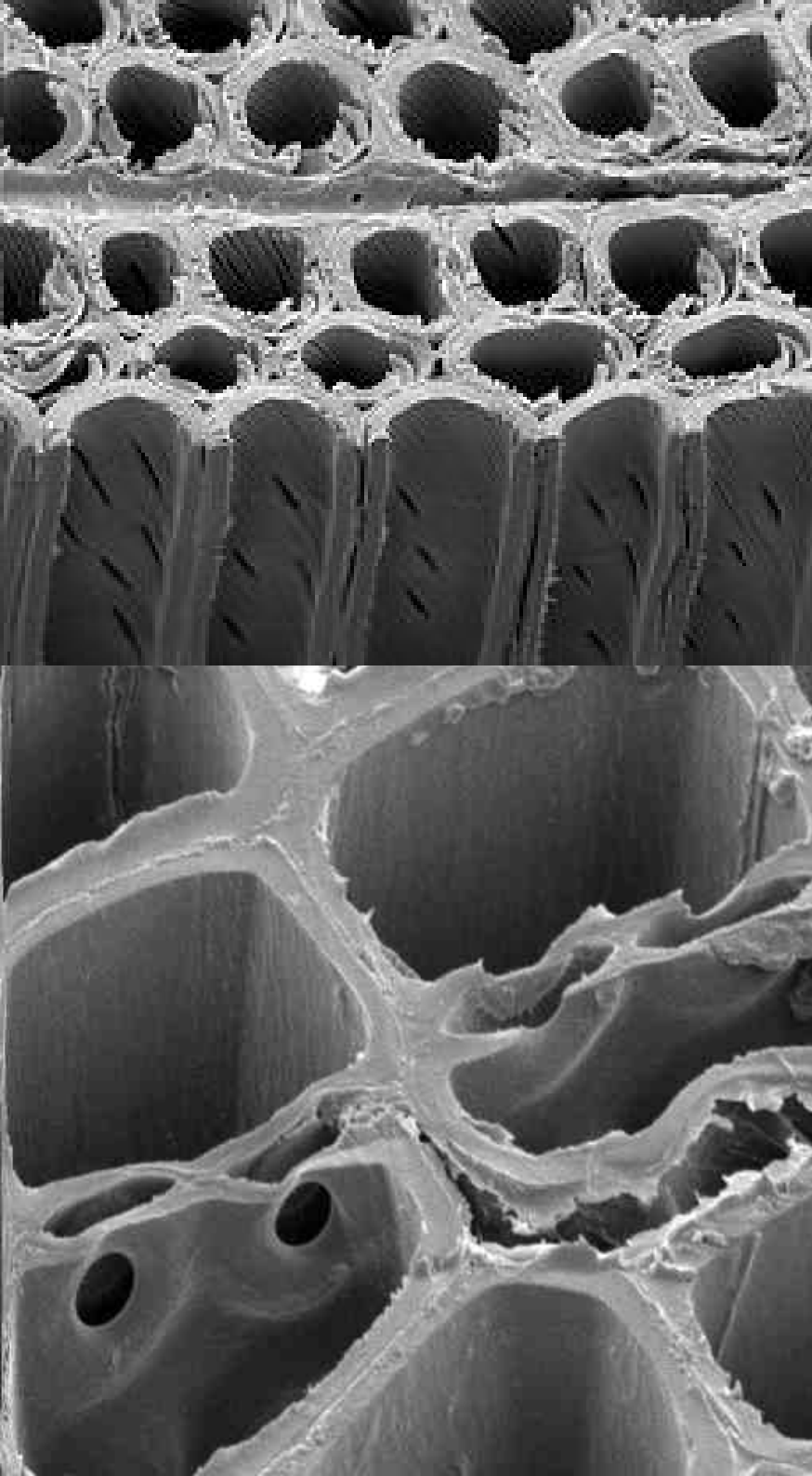
Knekning oppstår i det svakeste ledd, så første forutsetning for å utnytte halmens lastbærende potensiale er halmstrå som ikke er slått i stykker. I tillegg må lasten føres rett gjennom fiberene. Halmstrå som ligger i vilkårlig retning vil ikke få kreftene ført gjennom strået.

## HALMENS ELASTISITET

Sylinderformen gjør halmen tøyelig vinkelrett på stråenes retning, som gir halmen elastisk styrke på tvers av fiberretningen. Dette gir materialet stor deformasjon som er en utfordring konstruktivt, men gir også materialet en stor formbarhet.







## TREVERKET'S KONSTRUKTIVE BESLEKTNING

Treverkets oppbygning har vært til inspirasjon for å forstå hvordan halmens konstruktive egenskaper kan utnyttes. Under mikroskoper ser vi at treet har lange sylinderformede celler som ligner mye på halmstrå, om enn i et mindre format. Cellene står tett i tett prarallelt med hverandre og er bundet sammen av lignin. Sammenbindingen og den tette stablingen av cellene er helt avgjørende for treverkets store styrke som er mange ganger sterkere og trykkfast i fiberretningen enn på tvers av den.

Halmblokken kan sees på som en porøs og luftig versjon av treverket. Sammenliming av hele halmstrå i samme retning vil gi en tilsvarende struktur som cellene i treverk. Limte halm vil ikke greie å gli mellom hverandre slik at skjærkrefter tas opp. I stedet for at halmstråene gir etter for bøyning blir stråene nødt til å knekke på andre måter som ytterligere øker halmens lastbærende evne. Om noen halmstrå belastes mer enn andre vil kraften i teorien fordeles jevnere mellom halmstråene. Dette øker halmstråenes samlede

# TRYKKTESTER

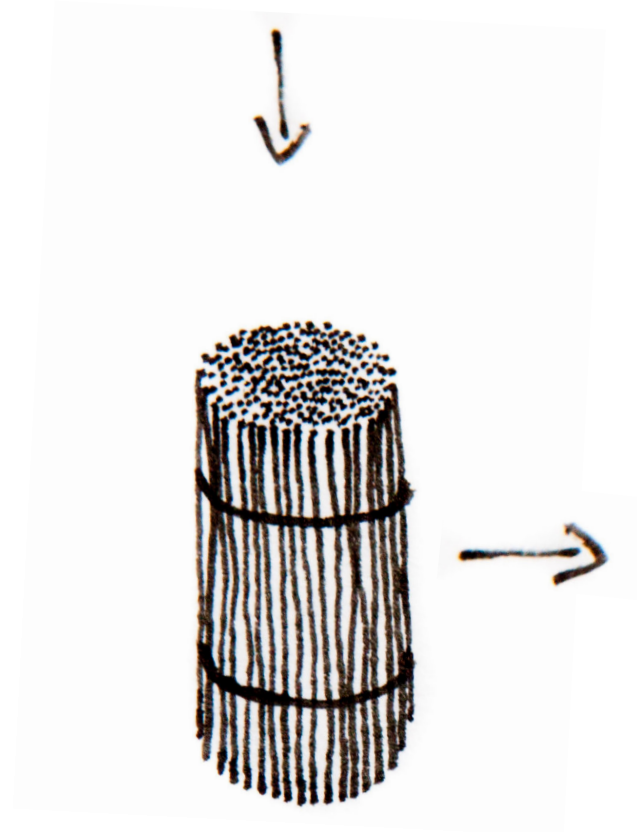
For å bestemme halmens konstruktive egenskaper i fiberretningen har jeg utført ulike trykktester av halm ved ulike måter å hindre knekning, fra å bunte halm sammen med strips til å teste sammenlimte halmstrå.

## FORMÅL

Idag finnes det ingen byggematerialer som benytter halmens fiberretning konstruktivt av den enkle grunn at all halm høstes i korntresken og slås i stykker. Trykktester av halmballer viser at stående halmballer med stråene vertikalt tåler 1/4 trykk sammenlignet med liggende halmballer (Jacobsen s.42)

Jeg hadde en teori om at halm hadde et mye større konstruktivt potensiale i fiberretningen både med tanke på trykk og deformasjon.

Ved å konstatere disse konstruktive egenskapene håpet jeg å stadfeste nye arkitektoniske potensialer og et markedspotensiale for å gjøre halm aktualitet som et konvensjonelt byggemateriale.



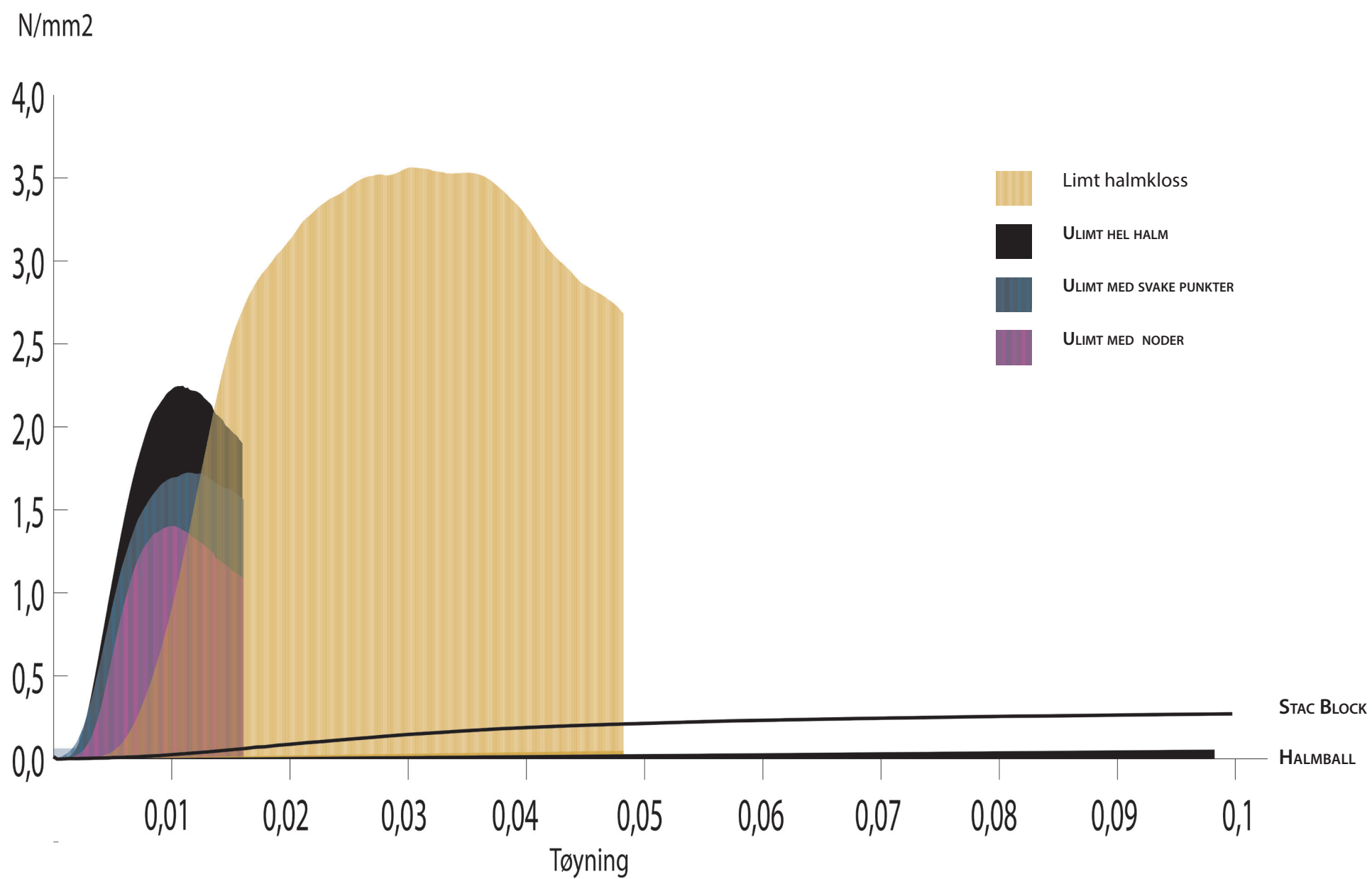


## MATERIALTEKNISK INSTITUTT

### MØTE MED PROFESSOR KJELL ARNE MALO

Jeg avtalte et møte med Kjell Arne Malo ved Materialteknisk Institutt for å høre om mulighetene for å gjøre noen trykktester av halm i fiberretningen, og for å høre hans synspnker på temaet. Kjell Arne fattet stor interesse for temaet og hvilken relevans nye anvendelser av halm ville kunne ha i en større sammenheng, og lurte på om jeg ikke skulle fortsette med en doktorgrad på temaet.







## Nøkkektall fra forsøkene



FORSØK NR	1	2	3	4	5	6	TIL SAMMENLIGNING
BESKRIVELSE	HALM BUNDET I SAMME RETNING	HALM I KORTERE RØR	ULIMT HEL HALM	ULIMT MED SVAKE PUNKTER	ULIMT MED NODER	LIMT HEL HALM	6 HALMBALLER (Walker, 2004)
MAKS LAST (N)	7848	10791	7210	5547	4503	4823	27600
TRYKK VED MAKS LAST (N/MM <sup>2</sup> )	0,235	0,68	2,24	1,72	1,40	3,57	0,056
ANTALL GANGER TRYKK HALMBALLER - (LIGGENDE RETNING)	4,2	12,2	40,2	30,9	25,1	63,9	
DEFORMASJON VED MAKS LAST (MM)	x	x	1,53	1,61	1,41	2,56	220
TØYNING	x	x	0,01090	0,01148	0,01010	0,02909	0,09821
E MODUL	x	x	423	350	354	342	0,56771
BÆREEVNE I KG/LØPEMETER - 30 CM VEGG	7201	20772	68542	52728	42806	109030	1705
DEFORMASJON PR ETASJE I MM - (30 CM VEGG, 1500 KG/LØPEMETER 3 M PR ETASJE)	x	x	0,348	0,420	0,416	0,430	259,2

## RESULTATER

*“materialet ditt ligner på en middels god trekvalitet med kraftretning tvers på fiberretningen... Du kan sammenligne det med laftakonstruksjoner som bærer lasten tvers på fiberretningen.”*

Professor Jan Siem

Forsøkene bekreftet teorien om at halm deformeres betydelig mindre og har en mye større bæreevne ved å struktureres i fiberretningen. Forsøkene er sammenlignet med tester utført på 6 halmballer (Walker 2004) og Stac Block som nevnes i kapittelet om industrialisering og prefabrikerings idag. Begge disse rapportene legges ved.

Den største forskjellen fra halmballene var forskjellen i deformasjon. E-modulen som sier hvor mye et materiale vil tøyes ved et gitt trykk gav 423 N/mm<sup>2</sup> for hel og ulimt halm. Til sammenligning er trykkfastheten til C30 treverk 400 N/mm<sup>2</sup> sammenlignet mot halmballenes 0,57 N/mm<sup>2</sup>. I praksis betyr det at hel og ulimt halm i fiberretningen vil deformeres om lag 745 ganger mindre enn halmballer. Det maksimale trykket som ble oppnådd på 3,57 N/mm<sup>2</sup> for den sammenlimte halmklossen tålte 64 ganger mer trykk. (Sammenlignet forsøk: Walker, 2004)

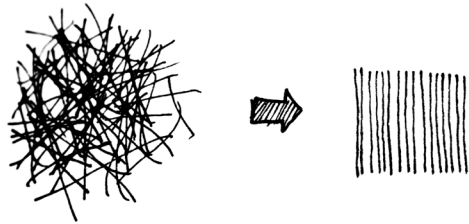
Det er også rimelig å regne med at både varmeisolerende egenskaper, fuktavvisende egenskaper, brannmotstand og vindtetthet er forbedret sammenlignet med halmballen, men dette må stadfests ved et eventuelt videre arbeid.

Med de nye egenskapene som oppstår på grunn av den nye organiseringen og behandlingen av halm, åpner det nye muligheter for nye formater med ulike arkitektoniske muligheter.



# HALMBLOKKEN

Denne blokkens hovedforskjell fra halmballen og andre industrielt fremstilte produkter er at den tar utgangspunkt i det hele halmstråets egenskaper.



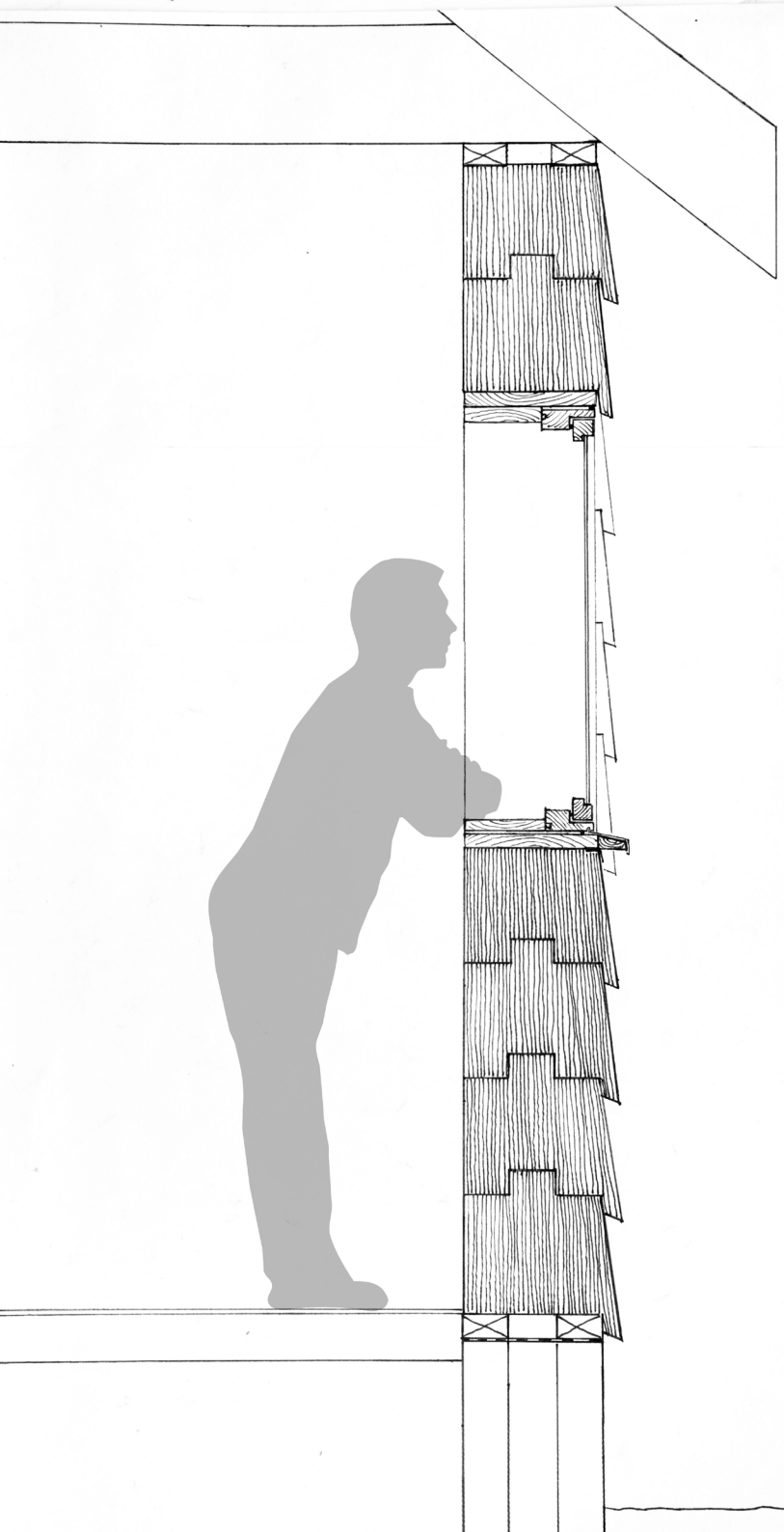
Å sammenligne hel uskadet halm med halm fra en halmball er som å studere to ganske forskjellige materialer med ganske forskjellige egenskaper. For å ivareta halmens egenskaper har skiller halmblokken seg ut på to enkle punkt.

**1: HALMSTRÅENE ER BEVART HELE OG USKADET.**

**2: HALMENS PARALELLE ORGANISERING ER BEVART.**

Denne blokken er et resultat av en undersøkelse av det hele halmstråets egenskaper.



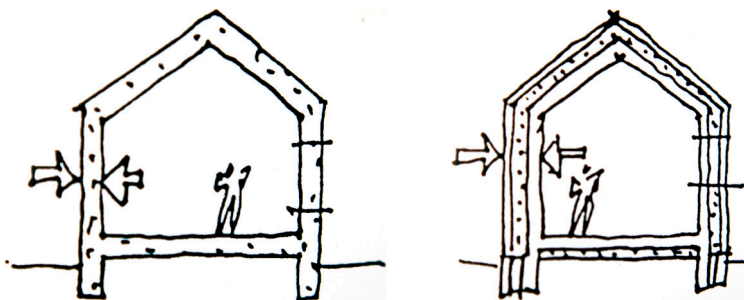


# DEN HOMOGENE VEGGEN

*«Homogene ydervægge løser alle klimaskærmens funktioner med et enkelt material... den homogene væg har den klare miljømæssige fordel, at der kan bygges enkelt og med et minimum af ingredienser. Det minimerer igjen forbruget af energi til fremstilling og til transport af en mængde delkomponenter»*

*Renarch, 2006*

I blokken sammenfaller halmens retningsspesifikke egenskaper som bæring, isolasjon og fuktavvisning på en best mulig måte. Resultatet er et produkt som potensielt kan imøtekomme alle veggens behov fra værhud på utsiden, til finish på innsiden som gjør halmblokken egnet for en homogen vegg.



DEN HOMOGENE MOT DEN LAGDELTE VEGG SKISSE: PETER SØRENSEN



# DEN HOMOGENE VEGGENS FORDEL

## ET ALTERNATIV TIL DAGENS BYGGERI

Dagens byggetrend består av hermetisk tette hus med vegger som består av flere og flere lag og sjikt av ulike materialer og komponenter, vegger som er avhengige av mekaniske ventilasjonsanlegg for ikke å råtne. Den homogene halmveggen er et motsvar til denne trenden.

## ENKELHET

Halmblokken løser både bæring, klimaskille og værhud i ett og samme format. Dette gir en meget enkel veggkonstruksjon uten behovet for flere lag og sjikt som vil gi en meget rask og enkel byggeprosess. Blokkene kan stables opp nærmest som legoklosser og åpninger i veggen kan skjæres ut der det måtte passe. Arbeidskraft er en stor utgift i byggesammenheng, så en rask og enkel byggeprosess vil bidra positivt på bygningens totale pris. Det vil også minimere eksponeringstiden for vær og vind som sikrer en tørrere byggeplass.

## KONSTRUKTIVE FORDELER

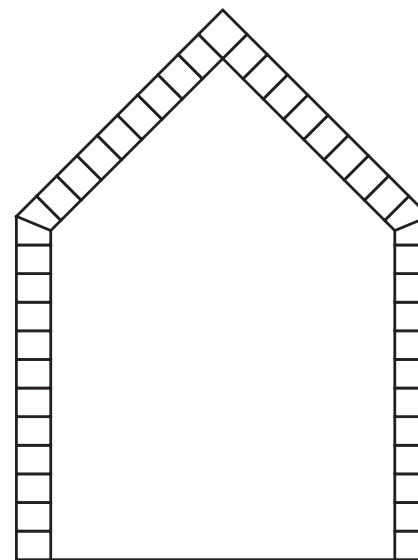
Den homogene veggen har den konstruktive fordel at lasten fordeles i hele veggens volum ikke i et rammeverk som gir tilfredsstillende konstruktive egenskaper til tross for en lavere styrke og trykkfasthet i fiberretningen enn treverk. Den massive veggen vil også oppføre seg som en avstivet skive. Med en bæreevne på 3,57 N/mm<sup>2</sup> som målt for sammenlimt halm vil en 30 cm massivvegg av halmblokker ha en bæreevne på 109 tonn pr løpemeter, langt over hva en vegg vil kreve.

## VARMEISOLERENDE FORDELER

Med bæring og isolasjon i samme materiale elimineres behovet for et konstruktivt rammeverk. Dermed unngås kuldebroer og behovet for kompliserte og fordyrende detaljer. I kombinasjon med halmblokkens gode isolerende egenskaper vil isolasjonskravet kunne oppfylles ved vanlige veggtykkelser. Til sammenligning har massivtrevegger en lavere isolasjonsverdi og må bygges med meget tykke vegger for å oppnå isolasjonskrav.

## VEGGEN FORTSETTER SOM TAK?

Blokkens konstruktive egenskaper gjør det også mulig for veggen å fortsette som tak uten å skape kuldebroer. Dette vil ytterligere redusere behovet for andre materialer, forenkle bygningen og øke bygningens fuktighetsbuffer og karbonlagring.

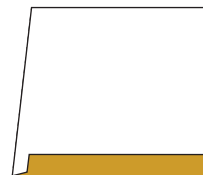
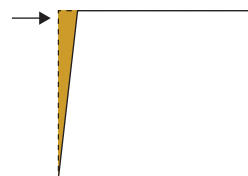


# VEGGENS PRINSIPPER

## BLOKKENS UTFORMING

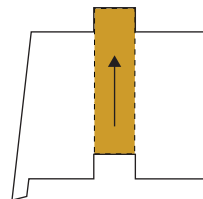
Halmblokken får naturlig et svakt trapesformet tverrsnitt på grunn av halmstråenes noe koniske form.

Blokkens underside kuttes med en skråskjært overlapping i ytterenden av blokken som gir en naturlig overlapping mellom blokkene



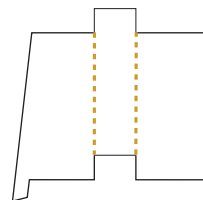
## SAMMENKOBLING

Halmblokken utformes med et not og fjærprinsipp både vertikalt og horisontalt som gir en bedre kobling mellom blokkene og hindrer luft fra å trenge inn mellom skjøtene. Med stående halmstrå vil blokken kunne gjennombores vertikalt for å forbinde blokkene til hverandre, enten med dymlinger som forbinder to eller 3 blokker eller med gjennomgående stag som fester hele veggen til bakken.



## INDRE HULROM

Blokkene kan utføres med et indre hulrom der rørføringer og ledninger kan trekkes mellom etasjene. I tillegg kan dette enkelt bores på byggeplass.

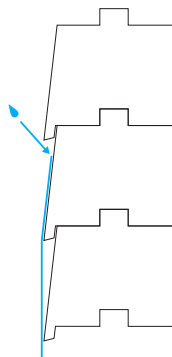




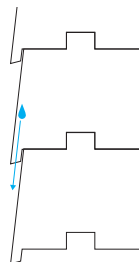
# FUKT

## VÆRHUD

Halmblokken foreslås anvendt direkte som værhud på grunn av halmblokkens intakte og vertikalt organiserte halmstrå. Halmblokkenes overlapping fungerer som et naturlig beslag som beskytter halmens ender fra å utsettes for vann. Blokkenes trapesform og de skråkuttete overlappingene hindrer vannet fra å renne nedover hele fasaden, men slipper veggen ved første overlapping.



Regn som allikevel trenger gjennom de første lagene med halm vil på grunn av halmens hygroskopiske egenskaper raskt transporteres ut av veggen. En direkte bruk av halm som værhud vil gi den beste luftingen av halmveggen.



*“Cellulosebasert isolasjon kan ha bedre motstand mot råte enn glassfiberisolasjon på grunn av dens evne til å transportere fuktighet”*

Kai Toven, Senior scientist ved Papir og Fiberinstituttet

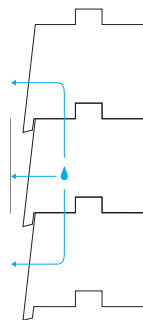
## REFERANSE

Gjennom den over 2000 år gamle byggeskikken thatching har halm bevist en potensiell holdbarhet på 50 år som takteking, som er et velprøvd bevis på at halm kan fungere som værhud.

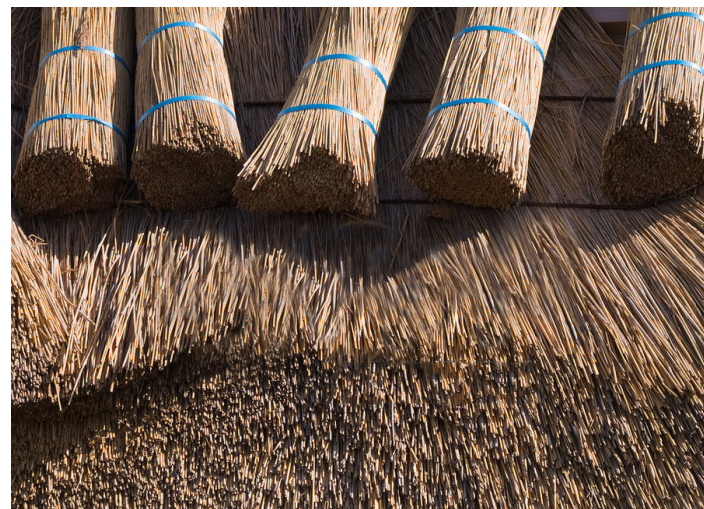
Stående vertikalt med

## DIFFUSJONSÅPENHET

All erfaring tilsier at halm egner seg best som en diffusjonsåpen veggkonstruksjon på grunn av halmens hygroskopiske egenskaper. Det betyr at halm vil transportere fuktighet og fordele den likt i veggens volum. Med et massivt volum av halm vil en vegg få en meget stor fuktighetsbuffer som eliminerer fare for råte på utsatte plasser. Den massive halmveggen utføres som en diffusjonsåpen vegg uten dampsperre på samme måte som massivtrevegger.

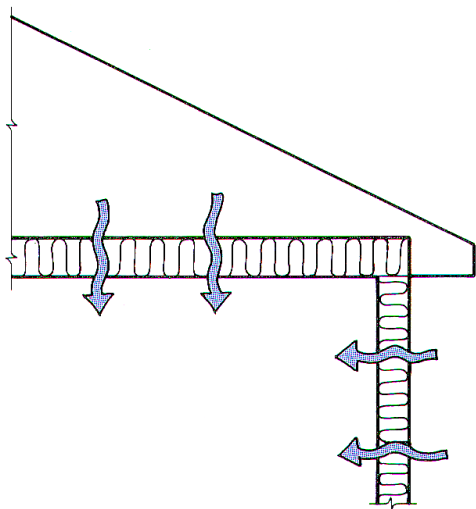


Ved en eventuell kondens inne i veggen vil fuktigheten automatisk fordeles jevnt i veggens volum for deretter å transporteres ut av veggen.



## DYNAMISK VENTILASJON

Hus av massive halmvegger vil ha en viss permeabilitet og foreslås med en åpen dynamisk motstrømsventilasjon der luft drives gjennom veggens volum av et undertrykk som gir en kontrollert luftstrøm i motsatt retning av varmestrømmen. Luften vil da kjøle ned hele veggens som ved riktig luftstrøm kan eliminere fullstendig transmissjonstapet som følge av den minimale forskjellen i uteluftens og veggens ytre temperatur. Luften vil oppvarmes på vei gjennom veggens som vil redusere luftens relative fuktighet og kondens vil dermed forhindres. Undertrykket vil kunne drives naturlig av skorsteinseffekten og utkastluften vil kunne varmegjenvinnes.



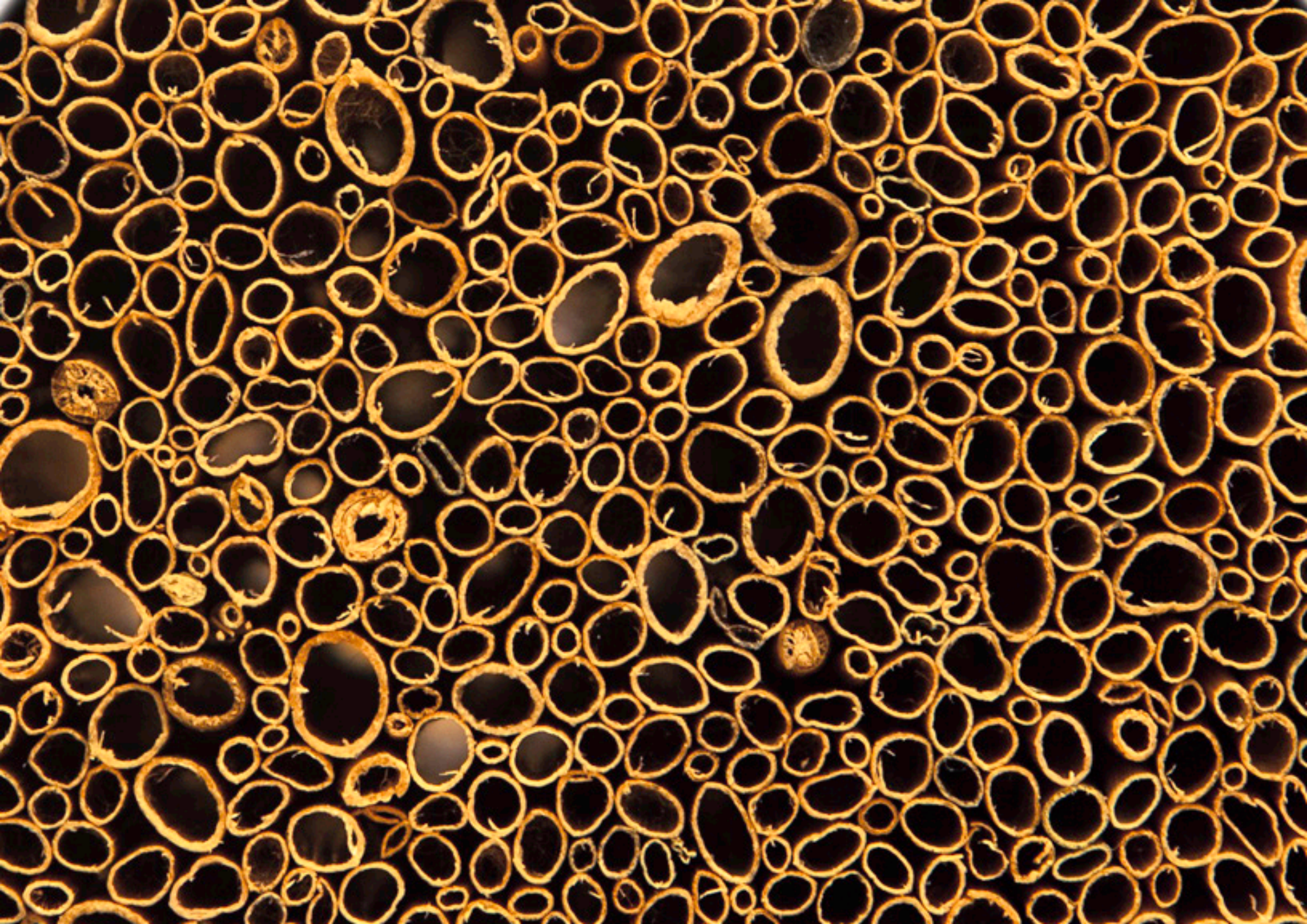
## ENERGIBRUK

Bruksfasen er den største kilden til en bygningens energibruk så en bygningsevne til å redusere energibehovet i bruksfasen er kanskje det viktigste tiltaket for å redusere en bygningens totale klimaregnskap.

Oppvarmingsbehovet regnes som en bygningens største kilde til energibruk. God isolasjon er dermed en bygningens viktigste bidrag til redusert energibehov i bruksfasen.

En massivvegg av halm vil kunne ligge under dagens passivhusstandard med en vegg tilsvarende dagens veggtykkelser, og vil kunne tilfredstille kravene i mange år fremover. Den massive halmvegg er en enkel og rimelig måte å bygge godt isolerte hus på og kan derfor bidra til en raskere oppgradering av boligmassene.







# VEGGENS ESTETIKK

## EN NY ESTETIKK

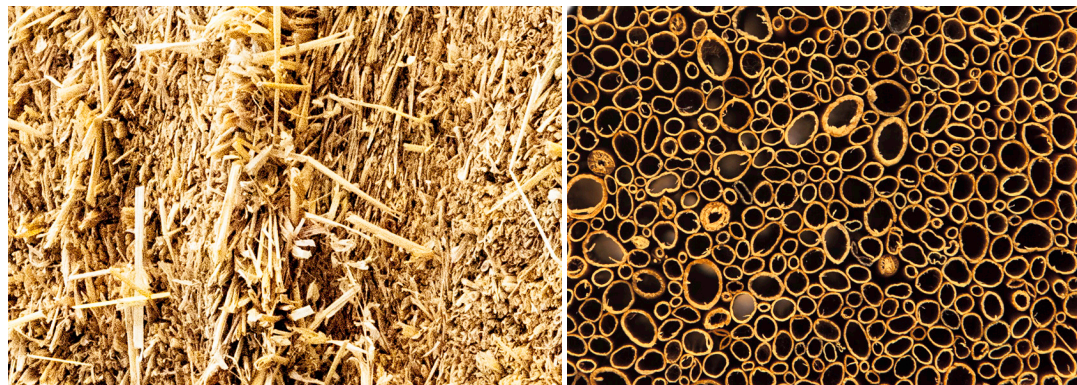
Med bevaringen av halmstråenes form og retning trer halmstråenes egen estetikk frem, fra et kaotisk til et mer definert og retningsgivende uttrykk.

## ENKELHET SOM ESTETIKK

Den homogene halmveggs enkelhet uttrykker en ærlighet og åpenhet om sin oppbygning og gir en rask og umiddelbar forståelse. Den massive halmblokken byr på en ny byggemåte med nye uttrykk.

## ET NYTT FASADEMATERIALE

Halm er relativt ukjent som fasademateriale. Bevaringen av halmens retning er en forutsetning for å utnytte halmens bestandighet mot vær og vind. Med den nye organiseringen av materialet vil halm muligens kunne utnyttes som fasademateriale.



## Patinerings

Som et naturmateriale vil halm eldes over tid. En fasaden av halm vil på samme måte som ubehandlet treverk gjennomgå en patinering over tid fra levende gult til grått.





# ET NYTT MARKED

For å kunne utgjøre en forskjell i en bærekraftig sammenheng er det nødvendig med et produkt som er aktuelt å bruke i en. Med disse nye egenskapene håpet jeg å stadfeste og utforske nye arkitektoniske muligheter og et markedspotensialer for å gjøre halm aktualitet som et konvensjonelt byggemateriale.

## ET KONKURRANSEDYKTIG FORMAT

Hovedforutsetningen for at halm skal være konkurransedyktig i et kommersielt marked er å ha et godt produkt å selge. Halm har mange uforløste egenskaper som ved en nøyere raffinering kan gjøre halm til et meget attraktivt som et produkt. Halmblokken er et format tilpasset den kommersielle byggebransjen for å anvendes i en større målestokk. Blokken er sterkere, mer kompakt og presis enn halmballen. De nye konstruktive egenskaper åpner opp for arenaer der halmen kan benyttes. Blokken tilbyr en mer standardiserte byggemåte der forspenning unngås. Blokkens kombinasjon av bæreevne og isolasjonsevne deles med få andre materialer som kan gjøre halmblokken til et meget ettertraktet materiale som vil gi rask byggetid og reduserer behovet for andre materialer.



# ØKONOMISKE VURDERINGER

## BYGGEKOSTNADER

Lønnsomhet er en vesentlig faktor for at halm skal kunne vurderes som et reelt byggemateriale både av en produsent og en eventuell byggherre. Dagens byggeindustri preges av stor konkurranse og krav om kostnadseffektivitet. Konkurransedyktige løsninger er en forutsetning for at halm skal kunne benyttes i det kommersielle byggemarkedet. Uten økonomiske krefter i bakhånd vil ikke et produkt hverken markedsføres eller forskes på. Markedspotensialet til halm er ikke fraværende, men heller uoppdaget etter min mening.

## IKKE LENGER MERKELØST

Ved en industriell fremstilling av halm vil materialet gå fra å være et merkeløst materiale til et markedsført produkt som vil gi grunnlag for videre testing og forskning på halm som byggemateriale. Halm kan markedsføres som et ytterst miljøvennlig produkt som i de senere årene mer og mer er blitt et salgsargument. Halmens unike miljøegenskaper vil i stadig økende grad kunne selges som merkevare.

## EN BILLIG PRODUKSJON

Produksjonen av halm som byggemateriale har alle forutsetninger for en billig og enkel produksjon. Halm er et meget billig og lokalt tilgjengelig råmateriale. Prisen på halm er i liten grad regulert av markedskrefter og kan variere fra å være gratis til å koste 20-30 kr halmballen. For et 100 m<sup>2</sup> stort hus vil den totale kostnaden for halm ligge på mellom 4000-8000 kr.



## BONDENS NYE INNTEKT

### HALM - EN UTGIFT IDAG

Idag utgjør halm en utgift i form av håndtering. Tall fra USA viser at kostnader ved åpen brenning på jorden er lavere (7-12 \$ per hektar) enn å pløye halm ned i jorden igjen (15-200 \$ per hektar) og håndtering utenfor jordet (60 - 250 \$ per hektar) (Zhang, m. fl).

### EN NY FORTJENESTE

I stedet for å brenne halmen som er vanlig praksis globalt sett (selv om dette ikke forekommer i like stor grad i Norge), vil en kornbonde kunne supplere på inntekten sin ved å omsette halm til ferdige byggeklosser.

Lønnsomheten i kornindustrien er beskjeden med tanke på mengdene som produseres. I korninntekter tjener en bonde ca 2 kr pr kg produsert halm eller 29 kr pr halmball. Verdien av halm i form av et trykkfast og isolerende byggemateriale vil kunne mangedobles sammenlignet med verdien av det tilhørende kornet og vil kunne utgjøre en betydelig tilleggsinntekt for kornindustrien. Økt lønnsomhet i kornindustrien vil kunne stimulere til mer lokalprodusert korn og redusere import av korn fra andre land.



I Norge ble det i 2007 produsert 1 134 000 tonn korn i ifølge opplysningskontoret for brød og korn. Med kornprisene fra 2007 (FK Statistikkksamling) hadde det en salgsverdi på 2 074 950 000 kr for bøndene.

Halm-til-korn faktoren for de ulike kornsortene (Brown, 2003; Heid, 1984), gir en halmmengde i Norge på 1 628 000 tonn. Overskuddet på 1 478 000 tonn tilsvarer om lag 7,1 millioner halmballer. Verdien av kornet tilhørende en halmball er 29 kr eller 2 kr pr kg halm. Areal brukt til kornproduksjon i Norge har minnet fra 3 266 052 dekar i år 2000 til 3 004 842 dekar i 2010. Samtidig øker Norges kornimport 44 % i år 2000 mot 59 % i 2010 (FK Statistikkksamling). Økt fortjeneste i kornproduksjonen vil kunne stimulere til å produsere mer korn i Norge og dermed redusere import fra andre land.



# FREMSTILLING AV HALMBLOKKEN

En fremstillingsprosess er veien fra råmateriale til ferdig produkt hvor råstoffer bearbeides for å fremheve og ta i bruk materialenes egenskaper. Ofte kombineres flere materialer for å fremheve og utfylle hverandre til å skape et best mulig produkt til sin oppgave. Innhøsting er første og avgjørende steg i fremstillingen av halm som byggemateriale.

## BRUK AV EKSISTERENDE MASKINER

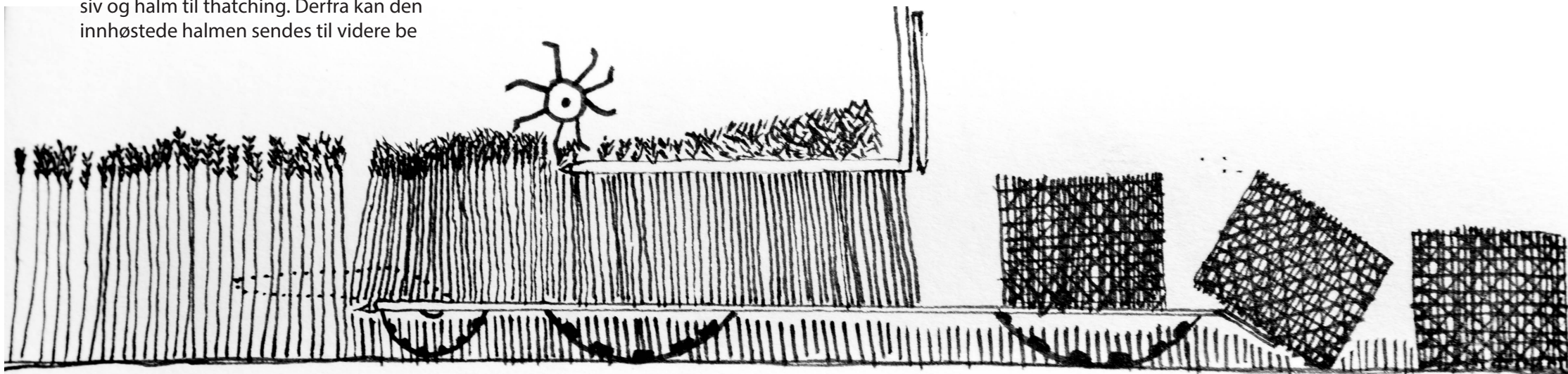
Det mest nærliggende er å benytte eksisterende maskiner og utstyr. Dette kan enkelt oppnås ved å heve skjæret på korntresken til like under kornets aks, og la halmstråene stå igjen. I etterkant kan man høste halmen med en maskin som bevarer halmens retning og form. Eksempler på slike maskin er selvbinderen eller andre maskin som brukes til innhøstingen av siv og halm til thatching. Derfra kan den innhøstede halmen sendes til videre be



SELVBINDEREN

## FREMTIDIGE LANDBRUKSMASKINER

Fremstillingsprosessen til egnede blokker av halm er en relativt enkel prosess og kunne tenkes produsert direkte under innhøstingen med spesialproduserte landbruksmaskin. Den store fordelen med denne varianten er at materialet blir produsert på stedet som reduserer transport til og fra en eventuell fabrikk og beholder materialets lokale tilgjengelighet, som er en av de store fordelene med halmballen. Verdien av halmen som byggemateriale kan langt overgå verdien av kornet som strået bærer, så det ikke vanskelig å se en lønnsomhet i et slikt scenario på sikt.



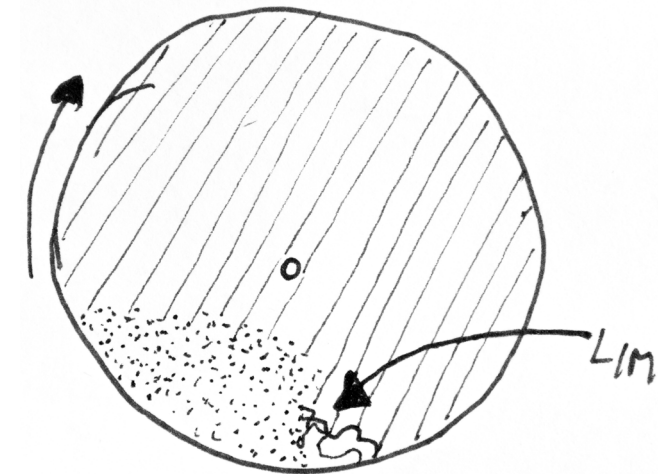
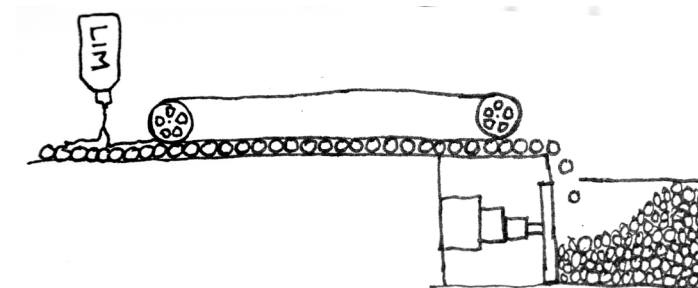
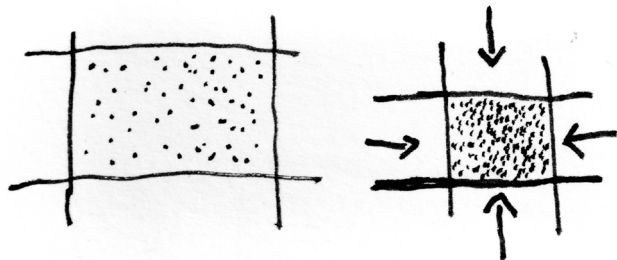


# INDUSTRIALISERING

Damping, pressing, varmebehandling, sying, innramming, forspenning, fletting, ferdighus, modulvegger, blokker, matter, bunter...I oppgaven har jeg undersøkt mulighetene som ligger i en industriell fremstilling av halm som byggemateriale der halmens retning og form ivaretas. I første omgang vil produksjon på fabrikk være mest aktuelt og gir mulighet for mange typer behandling. Det finnes allerede gode eksempler på industriell fremstilling av halm som byggemateriale, men potensialet er fortsatt relativt utforsket.

## SAMMENLIMING

Sammenliming av halmstrå vil gi en tilsvarende oppbygning som treverk og som trykktestene viste øker halmens konstruktive egenskaper ved sammenliming. Limt halm vil ikke greie å gli mellom hverandre slik at skjærkrefter tas opp. I stedet for at halmstråene gir etter for bøyning blir stråene nødt til å knekke på andre måter. Sammenliming kan tenkes utført på to forskjellige måter. Den første er ved å benytte seg av halmens eget lignin som bindemiddel, og det andre er å lime halmstråene sammen ved å tilsette et naturlim.

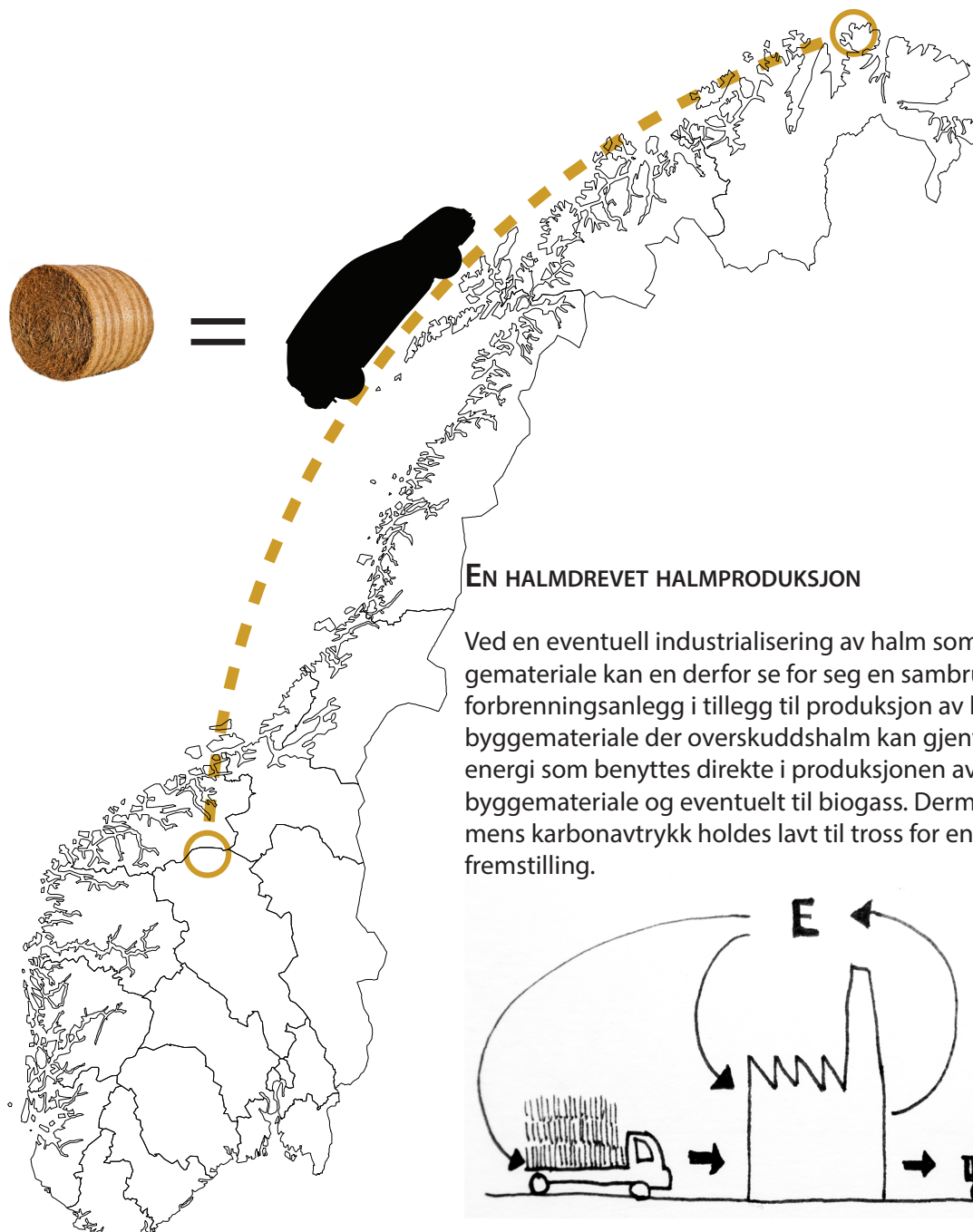


## HALM SOM ENERGIKILDE

Halm er en fornybar energikilde og har høy brennverdi på om lag 5 kWh/kg (Jacobsen, 1999). I form av biogass tilsvarer halm cirka 3 kWh per kilo halm. En biogassbil kan kjøre 6 km pr kg halm, eller fra dombås til Nordkapp på en rundball av halm. (forskning.no) Danmark er et foregangsland med tanke på utnyttelse av halm som fornybar energikilde og har mange små og store eksempler på konkurransedyktige forbrenningsanlegg.

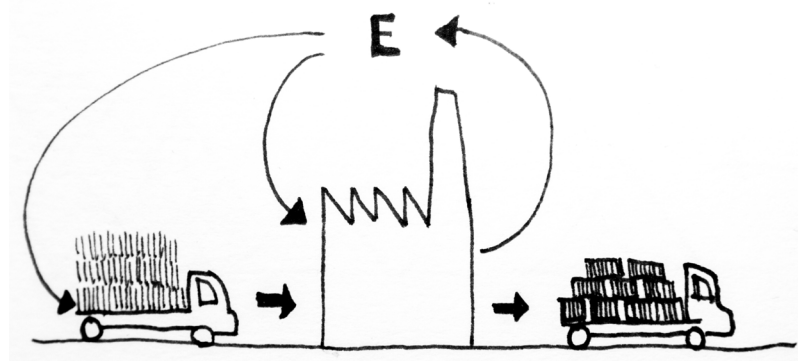
Avlastning av halmpellets ved Amager kraftstasjon, Danmark

Foto: Torben Skøtt/ BioPress



### EN HALMDREVET HALMPRODUKSJON

Ved en eventuell industrialisering av halm som byggemateriale kan en derfor se for seg en sambruk av et forbrenningsanlegg i tillegg til produksjon av halm som byggemateriale der overskuddshalm kan gjenvinnes til energi som benyttes direkte i produksjonen av halm som byggemateriale og eventuelt til biogass. Dermed kan halmens karbonavtrykk holdes lavt til tross for en industriell fremstilling.





## HALMENS LIGNIN SOM LIM

I halmplateindustrien benyttes halmens lignin for å binde stråene sammen ved å påføre halmen både trykk og varme. Ligninet vil da løses opp og danne nye forbindelser som får halmplatene til å henge sammen. Dette er en stor fordel industrielt da man uten behov for andre tilsetningsstoffer kan produsere halmplater med en store styrkeegenskaper.



## MØTE MED PAPIR OG FIBERINSTITUTTET

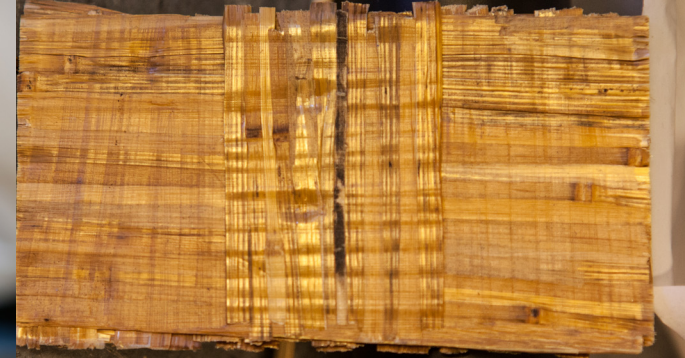


Jeg var meget interessert i å finne ut om ligninet kunne brukes til å binde sammen hele halmstrå. Etter anbefaling fra professor Jan Siem tok jeg kontakt med PFI (Papirindustriens Forskningsinstitut) og fikk avtalt et møte med seniorforsker Kai Toven for å forstå litt mer av halmens kjemi.

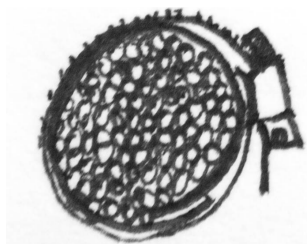
Kai forklarte hva som måtte til for å binde halmstråene sammen. Med en temperatur over 120 grader, meget høyt trykk og helst en viss fuktighet skulle det i teorien gå an å binde halmen sammen.

Kai mente at trykket som skulle til for å få halmen til å bindes sammen ville knuse halmstråene sammen, men at jeg godt kunne gjøre noen tester for å se hvordan det ville fungere. Hvis målet var å beholde de isolerende luftrommene inne i halmstråene anbefalte han heller å bruke et lim. Han forklarte at det finnes mange typer naturlim som er meget billig å produsere, bl.a stivelsesbaserte limtyper. Denne fremgangsmåten er den jeg ser for meg er den mest nærliggende etter egne forsøk.





## FORSØK MED HELE HALMSTRÅ

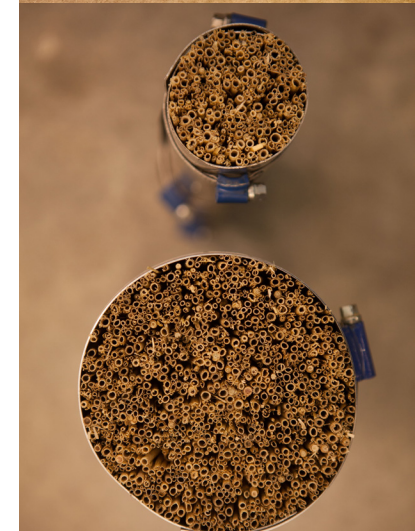


Formålet med testene var å teste ut om det var mulig å binde sammen hele halmstrå ved en eventuell varme- og trykkbehandling. Jeg tok kontakt med verkstedet til Produktdesign der de har en varmeovn stående og fikk tilgang på både materialer og maskiner der.

## RESULTATER

Målet med forsøkene, å lime hele halmstrå til trykkfaste blokker ved hjelp av varme og trykk viste seg vanskelig ved egne forsøk. Det oppsto bindinger mellom stråene, men alt for svake til å gi noe særlig utslag ved påført trykk. Det finnes mange faktorer som vil spille inn i en slik prosess og jeg var klar over at forsøkene mine var litt som skudd i mørket. Siden halm er et meget isolerende materiale var det vanskelig å vite hvor varme forsøkene egentlig ble i midten og hvor stor forskjell det var på kjernen og kanten. I tillegg var det vanskelig å vite Selv om mine forsøk ikke gav det resultatet jeg håpet på er det godt mulig at det lar seg gjøre ved andre mer kontrollerte prosesser der man har mer styring på både varme, trykk og fuktighet. Damptrykk er en prosess som muligens ville kunne gi resultater.

Av forsøkene virket det som om halmstråene satt best sammen ut mot kanten av forsøkene som kan tyde på at kjernen i forsøkene har blitt isolert mot varmen. Forsøket som bandt seg best var det første forsøket med metallplate og slangeklemme





## PELLETSTESTER

PFI tilbød seg å ta med seg litt av halmen min for å lage noen pellets i en maskin som både påførte trykk, fuktighet og varme for å teste halmens egen bindeevne.

Den 7. Mai ble det produsert en serie hammermøllede pellets påført en varme på 125 grader og 9000 N trykk. De første forsøkene ble presset sammen av oppstrimlet halm til under 2 mm tykkelse. Siden ble hele halmstrå kuttet i sylindere på ca 5 mm prøvd, og til slutt ble hele halmstrå sluppet ned i kammeret og presset sammen.



## RESULTATER

Alle testene ble til knallharde pellets som hadde limt seg godt sammen. Dette bekrefter at halmen har et potensiale til å limes sammen ved hjelp av varme og trykkbehandling som gir flere muligheter i en industriell sammenheng.

Dette kan være relevant for produksjon av kompakte blokker eller andre formater til byggeformål da disse trolig vil kunne ha en meget god isolasjonsverdi. Både egne og PFI's tester tyder foreløpig på at lignin krever et såpass stor trykk at halmens hovedhulrom nødvendigvis vil knuses for å oppnå bindinger, men i hvilken grad dette er avgjørende for isolasjonsverdien er enda ikke avklart.



# KILDER

## BØKER

MINKE, G. MAHLKE, F. (2005) BUILDING WITH STRAW, DESIGN AN TECHNOLOGY OF A SUSTAINABLE ARCHITECTURE, BIRKHÄUSER - PUBLISHERS FOR ARCHITECTURE, BASEL, SVEITS

JACOBSEN, R. (1999) HALM SOM BYGGEMATERIALE, LITERA FORLAG, TØNSBERG

LARSEN, L, SØRENSEN, P (2006) RENARCH SUSTAINABLE BUILDINGS, KUNSTAKADEMIETS ARKITEKTSKOLE, VILHELM JENSEN & PARTNERE, KØBENHAVN

## ARTIKLER

### KONSTRUKSJON:

CAMANN R. (2010) DESIGN AND PERFORMANCE OF LOAD BEARING SHEAR WALLS MADE FROM COMPOSITE RICE STRAW BLOCKS, DEPARTMENT OF CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING, CALIFORNIA POLYTECHNIC STATE UNIVERSITY, SAN LUIS OBISPO, CA, USA

WALKER, P. (2004) COMPRESSION LOAD TESTING STRAW BALE WALLS, DEPT. ARCHITECTURE & CIVIL ENGINEERING, UNIVERSITY OF BATH, BATH

### KORN TIL HALMRATER:

BROWN, ROBERT C. (2003) BIORENEWABLE RESOURCES—ENGINEERING NEW PRODUCTS FROM AGRICULTURE. AMES, IA. IOWA STATE PRESS.

HEID, W.G., JR., (1984) TURNING GREAT PLAINS CROP RESIDUES AND OTHER PRODUCTS INTO ENERGY. AGRICULTURAL ECONOMIC REPORT No. 523. ECONOMIC RESEARCH SERVICE. USDA. NOVEMBER.

### INNEBYGGGET ENERGI:

HAMMOND, G.P. JONES, C.I (2008) INVENTORY OF CARBON AND ENERGY (ICE), BATH UNIVERSITY, BATH

ATKINSON, C. (2008) ENERGY ASSESSMENT OF A STRAW BALE BUILDING, MSc THESIS, SCHOOL OF COMPUTING AND TECHNOLOGY, UNIVERSITY OF EAST LONDON, LONDON.

ABBOTT, J. (2008) WHAT IS CARBON FOOTPRINT? , No. ECCM-EM-483-2007, EDINBURGH CENTRE FOR CARBON MANAGEMENT, EDINBURGH(TILGJENGELIG PÅ [HTTP://WWW.PALLETCARBONCALCULATOR.ORG/CARBONFOOT-PRINTREPORT10\\_LOGO.PDF](http://www.palletcarboncalculator.org/CarbonFootprintReport10_logo.pdf)) (SETT 14.02.2013)

### HÅNDBTERING OG BRENNING AV HALM:

ZHANG, R. JENKINS, B. AGRICULTURAL MECHANIZATION AND AUTOMATION - VOL II - COMMERCIAL USES OF STRAW. BIOLOGICAL AND AGRICULTURAL ENGINEERING DEPARTMENT, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, DAVIS, USA

CHANG, P.( NOVEMBER 2007) TOWARDS SUSTAINABLE AGRICULTURE: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES, APCAEM POLICY BRIEF. UNITED NATIONS ASIA AND PACIFIC CENTRE FOR AGRICULTURAL ENGINEERING AND MACHINERY. APCAEM, BEIJING, CHINA.

LI, XINGHUA M. FL (2007) PARTICULATE AND TRACE GAS EMISSIONS FROM OPEN BURNING OF WHEAT STRAW AND CORN STOVER IN CHINA, DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING, TSINGHUA UNIVERSITY, BEIJING 100084, P. R CHINA

### INNEKLIMA OG VENTILASJON:

SINTEF BYGGFORSK (1995) 472.451 DYNAMISK ISOLASJON, TEORI OG PRINSIPPESKRIVELSE

FISK W. AND ROSENFELD A. (1997) "IMPROVED PRODUCTIVITY AND HEALTH FROM BETTER INDOOR ENVIRONMENTS", CENTER FOR BUILDING SCIENCE NEWSLETTER, LAWRENCE-BERKELEY LABS, SUMMER,



LIVSLØPSANALYSE:

BEHZAD SODAGAR , DEEPAK RAI , BARBARA JONES , JAKUB WIHAN & ROSI FIELDSON (2011): THE CARBON-REDUCTION POTENTIAL OF STRAW-BALE HOUSING, BUILDING RESEARCH & INFORMATION, 39:1, 51-65

PR HORNSBY M. FL, PREPARATION AND PROPERTIES OF POLYPROPYLENE COMPOSITES REINFORCED WITH WHEAT AND FLAX STRAW FIBRES. WOLFSON CENTRE FOR MATERIALS PROCESSING, BRUNEL UNIVERSITY, Uxbridge, MIDDLESEX, STORBRITANNIA

## BILDER

PR HORNSBY M. FL, PREPARATION AND PROPERTIES OF POLYPROPYLENE COMPOSITES REINFORCED WITH WHEAT AND FLAX STRAW FIBRES. WOLFSON CENTRE FOR MATERIALS PROCESSING, BRUNEL UNIVERSITY, Uxbridge, MIDDLESEX, UK [HTTP://BURA.BRUNEL.AC.UK/BITSTREAM/2438/6014/2/FULLTEXT.PDF](http://bura.brunel.ac.uk/bitstream/2438/6014/2/fulltext.pdf) (LASTET 10.04.13)

LAWRENCE, M M. FL, (2009) DETERMINING MOISTURE LEVELS IN STRAW BALE CONSTRUCTION, BRE CENTRE FOR INNOVATIVE CONSTRUCTION MATERIALS, DEPARTMENT OF ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING, UNIVERSITY OF BATH, STORBRITANNIA

[HTTP://WWW.MYLEARNING.ORG/ANCIENT-EGYPTIANS-OBJECTS-FROM-DAILY-LIFE/IMAGES/2-3250/](http://www.mylearning.org/ancient-egyptians-objects-from-daily-life/images/2-3250/) (LASTET 13.02.13)

[HTTP://TV.NRK.NO/SERIE/HAAKON-OG-HAFFNERS-BYGGEKLOSSER/DNPR61000209/31-01-2011](http://tv.nrk.no/serie/haakon-og-haffners-byggekløsser/dnpr61000209/31-01-2011) (LASTET 13.02.13)

[HTTP://WWW.DEZEEN.COM/2011/07/14/NO99-STRAW-THEATRE-BY-SALTO-ARCHITECTS/](http://www.dezeen.com/2011/07/14/no99-straw-theatre-by-salto-architects/)

[HTTP://URBANTIMES.CO/2010/12/OBSERVE-LEARN-UNBEARABLE-LIGHTNESS/EARTH-FROM-SPACE-WESTERN/](http://urbantimes.co/2010/12/observe-learn-unbearable-lightness/earth-from-space-western/)

[HTTP://WWW.BIOFORSK.NO/IKBVIEWER/PAGE/PROSJEKT/TEMA?P\\_DIMENSION\\_ID=22167&P\\_MENU\\_ID=22182&P\\_SUB\\_ID=22168&P\\_DIM2=22177](http://www.bioforsk.no/ikbviewer/page/prosjekt/tema?p_dimension_id=22167&p_menu_id=22182&p_sub_id=22168&p_dim2=22177) (LASTET 15.02.13)

MONFREDA, C., N. RAMANKUTTY, AND J.A. FOLEY. 2008. FARMING THE PLANET: 2. GEOGRAPHIC DISTRIBUTION OF CROP AREAS, YIELDS, PHYSIOLOGICAL TYPES, AND NET PRIMARY PRODUCTION IN THE YEAR 2000. GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES 22: GB1022 (VIDERE REDIGERT)

## NETTSIDER

[HTTP://WWW.SSB.NO/EMNER/10/09/BYGGEAREAL/OM-STAT\\_TAB8.HTML](http://www.ssb.no/emner/10/09/byggeareal/om-stat_tab8.html) (LASTET 21.02.2013)

[HTTP://BIOWEB.SUNGRANT.ORG/TECHNICAL/BIOMASS+RESOURCES/AGRICULTURAL+RESOURCES/CROP+RESIDUES/MISCELLANEOUS+GRAIN+CROP+STRAWS/DEFAULT.HTM](http://bioweb.sungrant.org/technical/biomass+resources/agricultural+resources/crop+residues/miscellaneous+grain+crop+straws/default.htm) (LASTET 26.04.2013)

[HTTP://WWW.FELLESJOPET.NO/LANDBRUK/SIDER/LOKALE-KORNPRISER.ASPX](http://www.felleskjopet.no/landbruk/sider/lokale-kornpriser.aspx) (LASTET 26.04.2013)

[HTTP://WWW.BRODOGKORN.NO/FAKTA/KORN/](http://www.brodogkorn.no/fakta/korn/) (LASTET 26.04.2013)





**"THIS STRAW APPEARS SMALL AND LIGHT, AND MOST PEOPLE DO NOT KNOW HOW REALLY WEIGHTY IT IS. IF PEOPLE KNEW THE TRUE VALUE OF THIS STRAW, A HUMAN REVOLUTION COULD OCCUR, WHICH WOULD BECOME POWERFUL ENOUGH TO MOVE THE COUNTRY AND THE WORLD."**

**MASANOBU FUKUOKA - THE ONE-STRAW REVOLUTION**

