

LETH & GORI | REALDANIA BYG

MINI  
CO2  
HUSENE

FOTO: STAMERS KONTOR

DE VEDLIGEHOELDESESFRI HUSE  
TRADITION | DET MUREDE HUS

EVALUERING AF FORSØGSProjektET | JUNI 2014



Buro Happold

EBBE BERNTH  
MURER OG TØMRER

LETH & GORI



**DE VEDLIGEHOELDESESFRI HUSE | TRADITION | DET MUREDE HUS**  
Evalueringsrapport vedr. forsøgsprojektet - LETH & GORI, Juni 2014

PROJEKTETS AKTØRER

<i>Bygherre</i>	Realdania Byg
<i>Totalrådgiver / arkitekt</i>	Leth & Gori I/S
<i>Underrådgiver Konsulenter / eksperter</i>	Buro Happold ApS Teknologisk Institut Nini Leimand, KADK - Institut 2 Muro
<i>Hovedentreprenør</i>	Ebbe Bernth Murer og Tømrer
<i>Murer</i>	Murermester Ask Askholm
<i>Tømrer</i>	Ole Larsen & Sønner v. Anders Larsen ApS
<i>Jord / beton</i>	Alf Jensen A/S
<i>Anlægsgartner</i>	Th. Skov Larsen ApS
<i>VVS</i>	Skovhavens VVS ApS
<i>Elektriker</i>	Flemming Nielsen A/S
<i>Maler</i>	Malermester Henrik Aaskov Eriksen
KONTAKTPERSONER	Realdania Byg   Frants Frandsen   ff@rdbyg.dk LETH & GORI   Karsten Gori   kg@lethgori.dk
ADRESSE	Steensager 4, DK-5800 Nyborg

## INDHOLD

### 1. INTRODUKTION

- 1.1 *Vision / målsætning*
- 1.2 *Baggrund*
- 1.3 *Formål med rapporten*
- 1.4 *Økonomiske forudsætninger*

### 2. FORSØGSPROJEKTET

- 2.1 *Projektbeskrivelse / det oprindelige projekt*
- 2.2 *Integreret levetidsdesign*
- 2.3 *Levetidsbetragtninger*

### 3. ERFARINGSOPSAMLING

- 3.1 *Arkitektur, materialevalg og konstruktion*
- 3.2 *Indeklima og sundhed*
- 3.3 *Målinger / analyser*
- 3.4 *LCA-analyse / CO<sub>2</sub>-fodaftryk*
- 3.5 *Byggeproces*
- 3.6 *Organisation og proces*
- 3.7 *Økonomi*

### 4. MULIGHEDER OG FREMTID

- 4.1 *Forsøgsprojektet*
- 4.2 *Generation 2.0 / muligheder og fremtid*























## Tradition

En tradition (lat. *Tradere, overgive*), overlevering af fx skikke, sædvaner, værdier og regler fra generation til generation.

[*Den Store Danske, Gyldendals åbne encyklopædi*]

# 1. INTRODUKTION

## *Bæredygtig fremtid*

Det vedligeholdelsesfri Hus – Tradition, eller Det Murede Hus, er et af i alt seks forsøgshuse som Realdania Byg under navnet Mini-CO2 husene har opført på en grund i udkanten af Nyborg. Projektet går ud på at udvikle CO2-venlige boliger i samme prisniveau som traditionelle typehuse. Det vedligeholdelsesfri Hus – Tradition, har to overordnede målsætninger; dels at huset er reelt vedligeholdelsesfrit i en periode på 50 år, og dels at huset har en lang levetid på minimum 150 år.

### 1.1 Vision / målsætning

#### *Det levende hus*

Det vedligeholdelsesfri Hus – Tradition, er resultatet af en vision om et hus der lever – og lever længe!

Visionen om huset bygger på en målrettet strategi: Ved at reducere klimaskærmens opbygning til en homogen muret konstruktion i tegl – til ét materiale – skabes en enkel konstruktion ift. diffusionsåbenhed, fugt, indeklime mv. I denne reduktionsproces reduceres sammenbygningsdetaljer hvorved bevægelser i konstruktionen mellem forskellige materialer undgås. Ingen dilatationsfuger, ingen tapede samlinger. Større enkelhed. Et robust og levedygtigt hus med ekstraordinær lang levetid, der samtidig tilbyder et optimalt og sundt indeklime til sine beboere.

#### *Lang levetid og 'Bedre Byggeskik'*

Det er projektets formål at demonstrere, genopdage og implementere teknikker og viden fra det traditionelle murede byggeri i Danmark og løfte disse over i en ny og moderne bolig med lang levetid.

Husets lange levetid bygger på god byggeskik, gode detaljer og materialer, håndværkstraditioner og 'Best practise' – den viden der ligger i hænderne. Med andre ord: Sunde og robuste løsninger og detaljer – fra sokkel til tagfod, fra ydervæggens konstruktion til tag. Huset viderefører således det bedste fra vores byggetradition, men giver samtidig plads til, at en ny [bygnings-]kultur og nye teknologier kan finde anvendelse.

Huset opstået med en vision om en arkitektur 'der holder' og som tilbyder husets beboere rige rumlige oplevelser flere generationer frem. Huset er organisk og levende i sin rumudfoldelse - og giver på den måde plads til, at alt det bedste i (hverdags-)livet kan udfolde sig indenfor boligens ramme.

Resultatet er et hus som udstråler arkitektonisk og håndværksmæssig kvalitet og robusthed.

## 1.2 Baggrund

### *Mini-CO2 husene*

Det vedligeholdelsesfri Hus – Tradition, er ét ud af seks demonstrationshuse, som Realdania Byg har opført i kystbyen Nyborg. De fem af husene undersøger forskellige måder, hvorpå CO<sub>2</sub>-udledningen kan minimeres, mens det sjette hus samler erfaringerne fra de fem. Det overordnede formål med udviklingsprojektet er at få erfaring og skabe debat om ressourceforbrug og CO<sub>2</sub>-udledning i hhv. opførelse, drift og vedligeholdelse af et hus.

De realiserede projekter blev udvalgt på grundlag af indbudte arkitektkonkurrencer, og Det Vedligeholdelsesfrie Hus - Tradition, er resultatet af en af disse konkurrencer vundet af LETH & GORI.

De seks huse er baseret på samme overordnede rammer:

- Bygningstype: Enfamiliehus
- Størrelse: 130 til 172 m<sup>2</sup>
- Budget: Gennemsnitlig økonomi
- Arkitektonisk design: Bred appel
- Fremtid: Salg af huset efter afsluttet eksperiment





### 1.3 Formål med rapporten

#### *Generation 2.0 – Det murede hus' muligheder og fremtid*

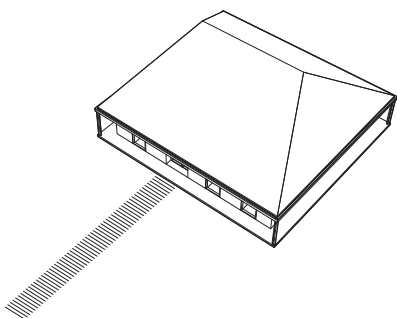
Nærværende rapport evaluerer forsøgsprojektet Det Vedligeholdelsesfri Hus, med primært fokus på projektets muligheder og fremtid. Evalueringen er gennemført på baggrund af en workshop med deltagelse af projektets involverede parter, bygherre, rådgivere og håndværkere.

Workshoppen blev afholdt efter at projektet var fuldt gennemført, med det formål at opsamle og identificere erfaringer og resultater, der ville kunne videreudvikles til en fremtidig version 2.0 af Det Murede Hus, herunder byggesystem(-er), materialevalg, detaljløsninger og processer.

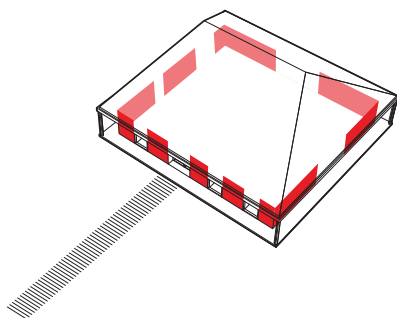
#### *Status*

Rapporten er opbygget, så der i hvert afsnit formuleres en kort delkonklusion, og til sidst formuleres en samlet konklusion på hele forsøgsprojektet, ift. justering og optimering af projektet, teknisk, tidsmæssigt, økonomisk og kvalitativt.

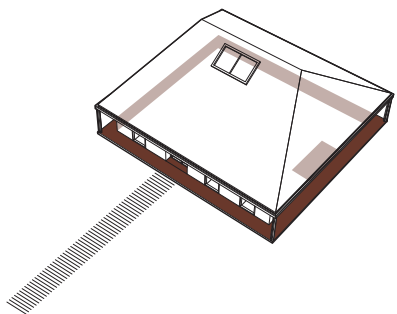




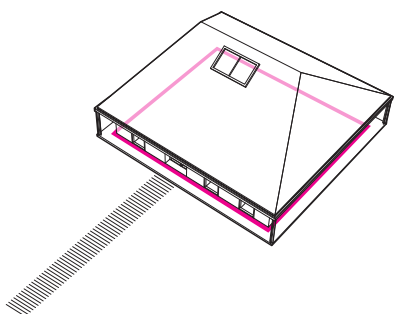
**BASISHUS**



**OPTION 1\_YDERVÆGGE UDFØRT SOM FLETMURVÆRK**



**OPTION 4\_VERANDA**



**OPTION 10\_OMFANGSDRÆN**

## 1.4 Økonomiske forudsætninger

Budgettet for Det vedligeholdelsesfri Hus - Tradition, er tilpasset priseniveauet på typehus-markedet og er opdelt i en pris for et såkaldt 'basishus', der omfatter alle nødvendige arbejder og installationer til et nøglefærdigt indflytningsklart hus, samt en række tilføjelser og afgrænsede 'optioner' eller 'tilvalg', der hver for sig tillægger huset væsentlig arkitektonisk og/eller funktionel kvalitet.

### Targetpris

Det økonomiske grundlag for opgavens løsning blev givet i en budgetramme for de samlede håndværkerudgifter på kr. 1.700.000,00 ekskl. moms og ekskl. honorar, men inkl. kr. 50.000,00 særskilt til haveanlæg. Beløbet er ekskl. tilslutningsafgifter og byggepladsdrift.

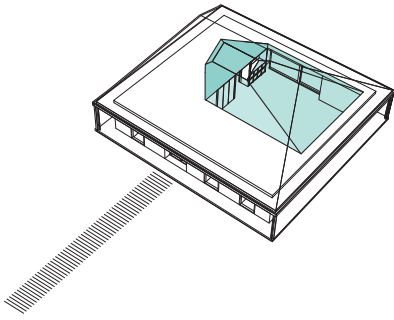
Opdeling af budgettet:

- A.** Et basisprojekt indenfor den overordnede budgetramme, Kr. 1.700.000,00, ekskl. moms, inkl. byggestyring.
- B.** En række tilkøbsmuligheder, der er væsentlige for at forstærke projektets innovationshøjde indenfor CO2 besparelse, lang levetid og vedligeholdelsesfrihed og styrkelse af demonstrationsprojektets PR-værdi
- C.** Yderligere tilkøb for færdiggørelse af projekt

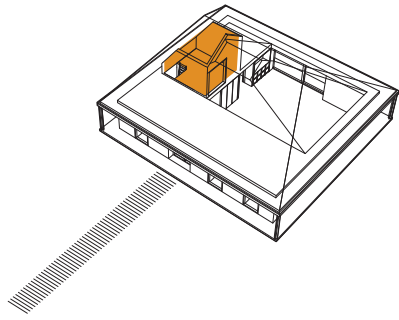
### Basishus

Basishuset omfatter følgende:

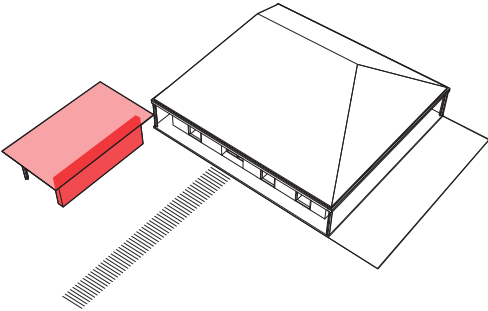
- Hus i ét plan med et samlet bruttoareal på 136 m<sup>2</sup>
- Ydermure som teglblokke med indfarvet puds
- Stort udhængstag med høj tagrejsning, belagt med falstagsten og med fast undertag
- Tagudhæng på alle fire facader
- Tagrender og nedløb i kobber
- Træ-alu vinduer: 3-lags lavenergivinduer som STM Tinium 2020



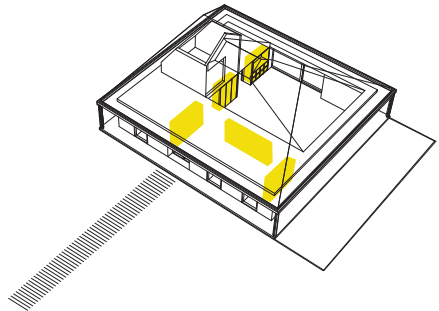
OPTION 2\_ÅBENT TIL KIP



OPTION 8\_HEMS



OPTION 3\_CARPORT



OPTION 7\_FAST INVENTAR

- Flade lofter i hele huset – dvs. det centrale køkken og stuerum udføres ikke med åbent til kip men med flade lofter
- Indvendige skillevægge udføres som 115 mm blokmurværk. Indvendig side af ydervægge pudses. Øvrige indvendige skillevægge pudses eller står som rå blokvægge iht. tegninger.
- Installationer placeres tilgængeligt over lofter. Føring af el til kontakter og udtag rilles i blokvæggene hvor vægge pudses. På rå blokvægge føres el i rustfri rør frem til kontakter.
- Massivt trægulv på strøer opbygget på trykfordelende isoleringsplader [uden betonlag]
- Gulvarme i hele huset
- Basis haveanlæg

#### *Tilkøbsmuligheder / levetid og vedligeholdelsesfrihed*

Optionerne [prioriteret rækkefølge]:

1. Ydervægge udført som fletmurværk
2. Åbent til kip i det centrale køkken / stuerum, for udnyttelse af de muligheder, som gives af den høje tagrejsning.
3. Carport / skur
4. Belægning under udhæng på veranda, 50 m<sup>2</sup>  
- Hårdbrændte, frostsikre belægningstegl afgrænset af corténstålkant
5. Hårde hvidevarer
6. Fast inventar i køkken/bad
7. Fast inventar i entre, samt ved arbejdsplads

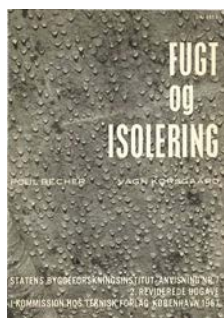
#### *Yderligere tilkøbsmuligheder*

8. Hems under taget
9. Fletmurmærk udført i genbrugstegl (tillægspris)
10. Omfangsdræn
11. Terrasse, 35 m<sup>2</sup>
12. 3. generationsvinduer, som Horn Vinduer



## FAKTABOKS

Anvendelse	Fritliggende enfamilieshus (parcelhus)
Adresse	Steensager 4, 5800 Nyborg
Grundareal	965 m <sup>2</sup>
Beboelsesareal	136 m <sup>2</sup>
Overdækket veranda	50 m <sup>2</sup>
Carport	39 m <sup>2</sup>
Værelser	3
Etagер	1 (med mulighed for indretning af hems)
Energiramme	Lavenergi 2015 iht. BR10
Varmeinstallation	Fjernvarme / gulvvarme
Ydervæg	Teglblokke, homogen massiv mur
Indervægge	Teglblokke, vandglattet gipspuds
Tag	Spærkonstruktion / tegl



BEDRE BYGGESKIK | 'UNLEASHING THE ARCHIVE'



ORTHOFOTO |

## 2. FORSØGSPROJEKTET

### 2.1 Projektbeskrivelse / det oprindelige projekt

Teglmurværk har været et grundelement i dansk byggeri siden 1100-tallet. Men tiderne har skiftet.

I moderne ydervægskonstruktioner medfører de utallige komponenter og materialer der skal mødes og samles, at risikoen for fejl og skader er stor – og den samlede levetid for muren og byggeriet er begrænset.

Men hvilke muligheder opstår der, hvis vi igen opbygger ydermuren i ét materiale, som en gammeldags massiv mur uden isolering? Og er det muligt at gøre det indenfor gældende byggelovgivning og energiramme krav?

#### *Unleashing the archive*

Forsøgsprojektet er igennem processen gået på jagt i arkiverne efter gode og holdbare byggetekniske løsninger og detaljer – fra sokkel til tagfod, fra ydervæggens konstruktion til tag. Genopdagelse af byggeteknisk viden. Videregivelse af en ny tradition – en ny 'Bedre Byggeskik', der kan videreføres i fremtidige projekter.

#### *Konstruktiv beskyttelse af murværket*

Konstruktioner af murværk har normalt en rigtig god holdbarhed selv om materialet anvendes i forskellige miljøer og konstruktionstyper. En række faktorer kan dog medføre en kortere levetid end forventet på grund af et uhensigtsmæssigt design, uagtsomhed overfor eksponeringsforhold eller udførelsesfejl.

Konstruktiv beskyttelse af murværket er afgørende for husets holdbarhed og levetid, samt for hvilket løbende vedligehold, der eventuelt skal udføres efter ibrugtagningen.

Murværkskonstruktioner bør derfor udføres sådan, at murværkets relative eksponering for vandpåvirkning begrænses mest muligt. De afgørende virkemidler i denne forbindelse er et beskyttende [og stort] tagudhæng, samt udhæng i forbindelse med udformningen af sålbænke og øvrige afdækninger.

### 2.2 Integreret levetids design-proces

Med udgangspunkt i en integreret levetids design-proces har LETH & GORI søgt at udnytte projektets potentialer til en sammenhængende arkitektonisk strategi mellem form, funktion, arkitektur og materialer.

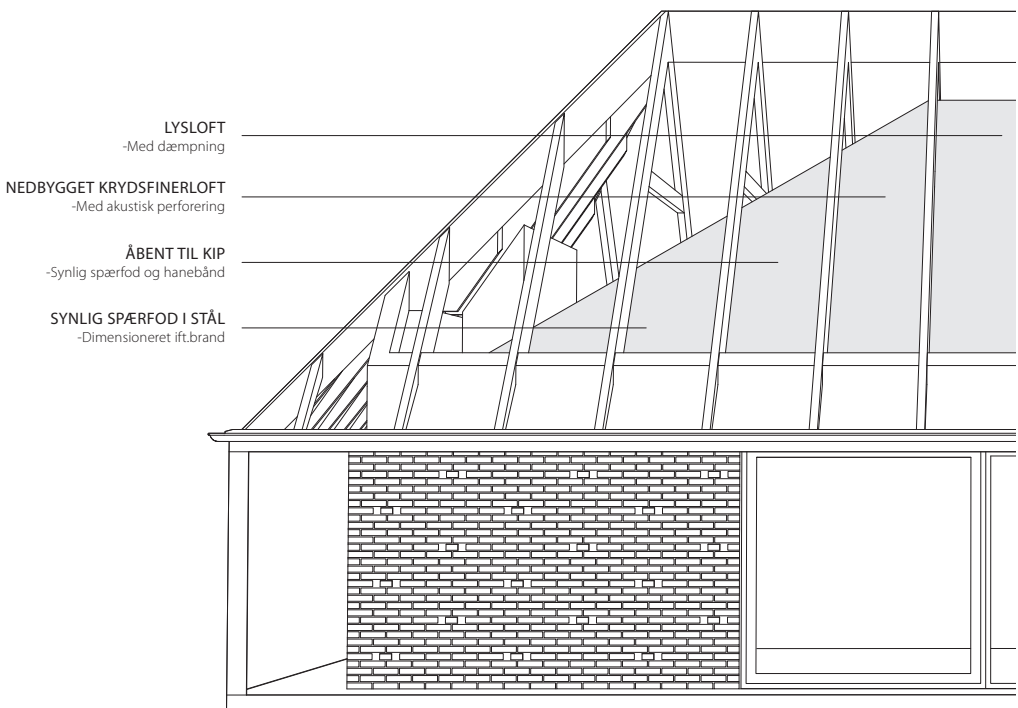
Denne proces er gennemført i et tæt samarbejde mellem alle involverede parter [bygherre, rådgivere, følgegruppe, entreprenør, håndværkere] med det fælles mål, at sikre et robust design med maksimal levetid. Vores metode bygger på den viden og erfaringer, som opsamlet i ERFA-blade mv., men også levetidsbetragtninger der knytter sig til husets arkitektur, håndværk og reelle bygbarhed.

## 2.3 Levetidsbetragtninger

De væsentligste forudsætninger for en lang levetid er:

*Tiltag for begrænsning af CO<sub>2</sub>-udledningen i forbindelse med vedligeholdelsen og levetiden af huset*

- Konstruktiv beskyttelse af murværket gennem stort tagudhæng [udhængstag] for opnåelse af reel vedligeholdelsesfrihed i 50 år og lang levetid på mindst 150 år
- Stor taghældning >35 gr.
- Reduktion af klimaskærmens materialer til ét materiale - tegl. Herved reduceres sammenbygningsdetaljer ligesom bevægelser i konstruktionen mellem forskellige materialer undgås. Ingen dilatationsfuger, ingen tapede samlinger.
- Homogen ydermur i tegl / fletmurværk. I den massive mur undgås kolde, opfugtede teglstensydervægge, der kan forvitte allerede i løbet af få år
- Enkle konstruktioner og detaljer der holder, for en begrænsning af skader som følge af byggesjusk
- Gode, sunde og holdbare materialer
- Gennemtænkte inddækningsdetaljer
- Robuste [og innovative] løsninger ift. overflader og behandling af indvendige vægge
- Tilgængelighed til tekniske installationer
- 'Reversible' konstruktioner, der gør det muligt at vedligeholde, udskifte eller genanvende materialer



### *'Bedre Byggeskik'*

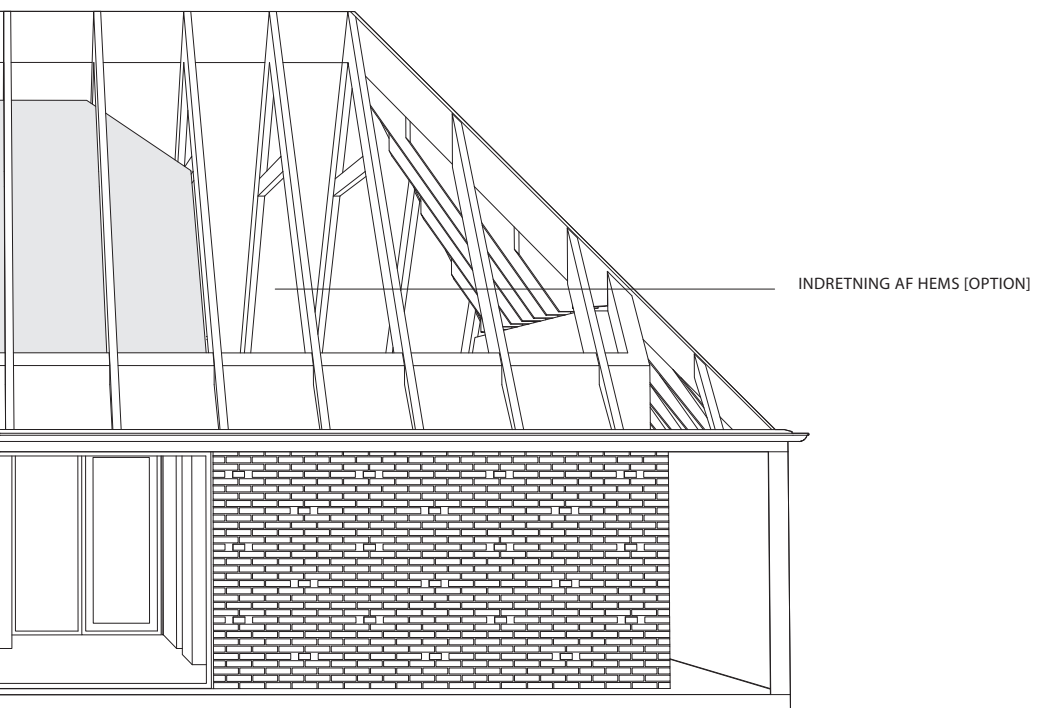
- Genopdagelse og implementering af teknikker og viden fra det traditionelle murede byggeri
- Det nøgterne, enkle og smukke hus
- Detaljerigdom - i stedet for en under-detaljering af murværket
- Udførelsmæssig kvalitet - medejerskab og samarbejde mellem håndværker/entreprenør og arkitekt

### *Arkitektonisk kvalitet*

- Oplevelsesrige og levende rum
- Gennemlyste rum
- Sammenhængende inde- og uderum - genopfindelse af verandaen
- Detaljer med høj arkitektonisk kvalitet
- Udnyttelse af det potentiale der opstår under tagkonstruktionen, som følge af husets høje taghældning
- Rumligt overskud i overgangen og bevægelserne mellem rum og mellem 'offentligt' og 'privat'

### *Sundhed og godt indeklima*

- Udnyttelse af tegls termiske egenskaber som et 'naturligt klimaanlæg'
- Diffusionsåbne og fugtregulerende konstruktioner
- Udligning af temperaturudsving gennem udnyttelse af husets passive egenskaber / termisk masse
- Alternativ isolering / cellulosebaseret isolering











### 3. ERFARINGSOPSAMLING

I det følgende gennemgås og kommenteres projektets væsentligste løsninger på baggrund af den afsluttende workshop med deltagelse af bygherre, rådgivere, entreprenør og håndværkere.

Under hvert punkt gennemgås de projektdele, der igennem processen er optimeret/ændret ift. det oprindelige projekt, som konsekvens af levetidsbetragtninger, optimering af bygbarhed og/eller økonomi.

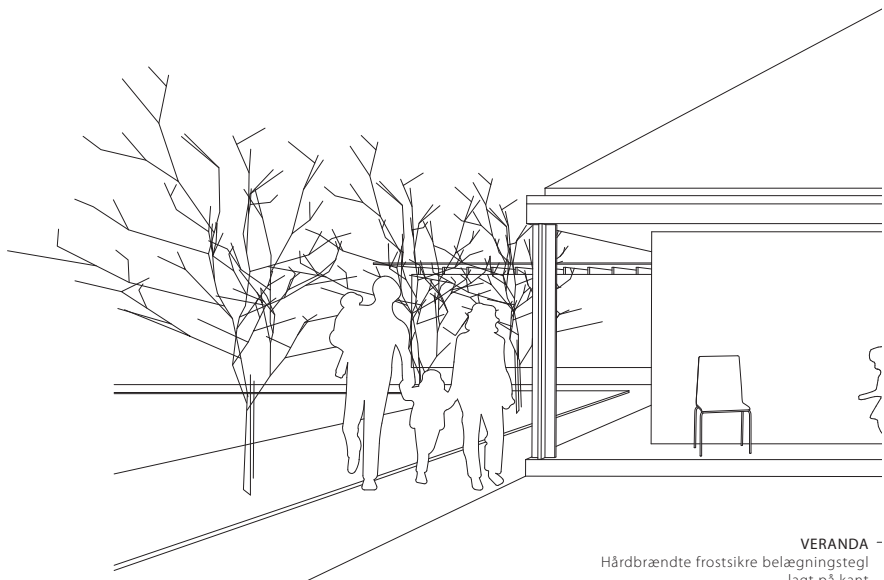
Særlig opmærksomhed og vægt er rettet mod byggepladsens tilbagemeldinger og erfaringer.

#### 3.1 ARKITEKTUR, MATERIALEVALG OG KONSTRUKTIONER

Det vedligeholdelsesfri Hus – Tradition, væsentligste karaktertræk er:

- **Det store udhængstag;**

Taget overdækker en veranda der løber hele vejen omkring huset. Taget er udført som et helvalmet tagform, for på den måde at opnå udhæng på alle fire sider, ligesom gavltrekanter, inddækninger omkring stern mv. undgås.



VERANDA -  
Hårdbrændte frostsikre belægningstegl  
lagt på kant

*Levetidsbetragtning:*

Udhænget yder konstruktiv beskyttelse af facader, murværk, vinduespartier mv. Taget er udført med en enkel geometri uden spring, gennembrydninger eller vanskelige detaljer mv., for at minimere risikoen for svigt og skader. Tagets simple geometri er afgørende for bygbarheden og robusthed. Udførelsen af rygninger og grater er udført under nøje kvalitetssikring og med stor omhu af håndværkerne for at undgå risiko for skader på taget.

*Evaluering:*

Taget anses for en væsentlig [og interessant] arkitektonisk udfordring og en udvikling eller innovation ift. tegl som belægningsmateriale kunne i nogen grad have styrket husets arkitektoniske udtryk.

Det samme gælder for udformningen af grater og rygninger. En anden mulighed kunne være, at tænke taget som en stålbelægning helt i kobber eller Rheinzink, med særlig opmærksomhed på at udvikle langtidsholdbare løsninger for inddækninger, tagrender grater mv. Løsningen blev ikke overvejet i det aktuelle projekt pga. økonomi og ønsket om at bygge huset i ét traditionelt og holdbart materiale.



- **Høj tagrejsning, med en taghældning på min. 35 gr.**

*Levetidsbetragtning:* Iht. alment teknisk fælleseje anbefales taghældninger på 25 gr. eller derover. Lavere taghældninger bør undgås aht. hele tagets levetid [beklædning / undertag]. Erfaringsmæssigt vil en større taghældning forlænge undertagets levetid.

*Evaluering:* Det høje tag giver mulighed for indretning af hems(-e) under taget. Løsningen var beskrevet som option i det oprindelige materiale, men blev ikke tilvalgt pga. økonomi.

En indretning med hemse ville styrke boligens fleksibilitet og funktionalitet gennem udnyttelse af det valmede tags arkitektoniske og rumlige muligheder, og være med til at give huset en 'legende' og moderne kvalitet.

- **Åbent til kip / ovenlys**

Det høje tag åbner for en særlig kvalitativ rumlig oplevelse ved at åbne husets centrale køkken-/stuerum op til kip. Det store tag gemmer således på en 'hemmelighed' – et fantastisk indre rum, som på alle måder giver huset en fornemmelse af 'højt til loftet'.

*Evaluering:* I det oprindelige projekt blev det høje rum fyldt af dagslys fra et højtliggende ovenlys. Ovenlyset blev senere taget ud af projektet pga. levetidsbetragtninger – det viste sig simpelthen ikke muligt at projektere et ovenlys eksponeret for vind og vejr, og som samtidigt er levedygtigt og vedligeholdelsesfrit indenfor en 50-årig periode. Det 'manglende' ovenlys synes – på trods af opfindelsen af et glasloft, som et tab for stuerummets kvalitet og det kunne være interessant i en version 2.0 af Det vedligeholdelsesfri hus, at integrere og beskytte ovenlyset i tagformen eller på anden måde forbedre ovenlysets levetid.



DIAGRAM | HUSE I HUSET\_PRIVAT / INTIMT / OMFAVNENDE



DIAGRAM | MELLEMRUM\_ÅBENT / FÆLLES / FLYDENDE



DIAGRAM | DAGSLYSFORHOLD\_GENNEMLYSTE RUM









FLETMURVÆRK | FOTO FRA BYGGEPLADSEN

- **Tagkonstruktion / undertag**

*Tagkonstruktion*

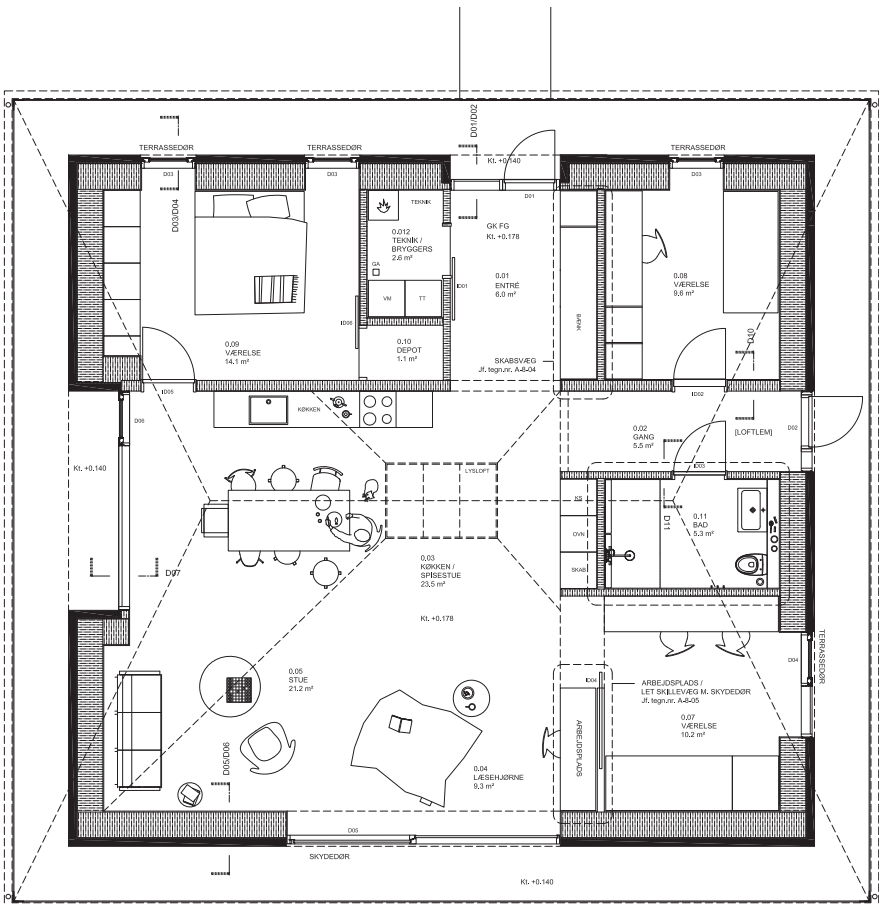
*Evaluering:* Tagkonstruktionen er udført som en almindelig spærkonstruktion [A-spær]. Dette gav mulighed for levering af spær som en systemleverance fra spærfabrik, hvilket vurderes økonomisk fordelagtigt.

Konstruktionen kompliceredes af beslutningen om at udføre køkken/stuemed åbent til kip og her lade spærfoden udføre i stål. Særligt forankringen og opspændingen af trækstængerne til spærfagene gav udfordringer, bl.a. ift. byggetakt, men også økonomi.

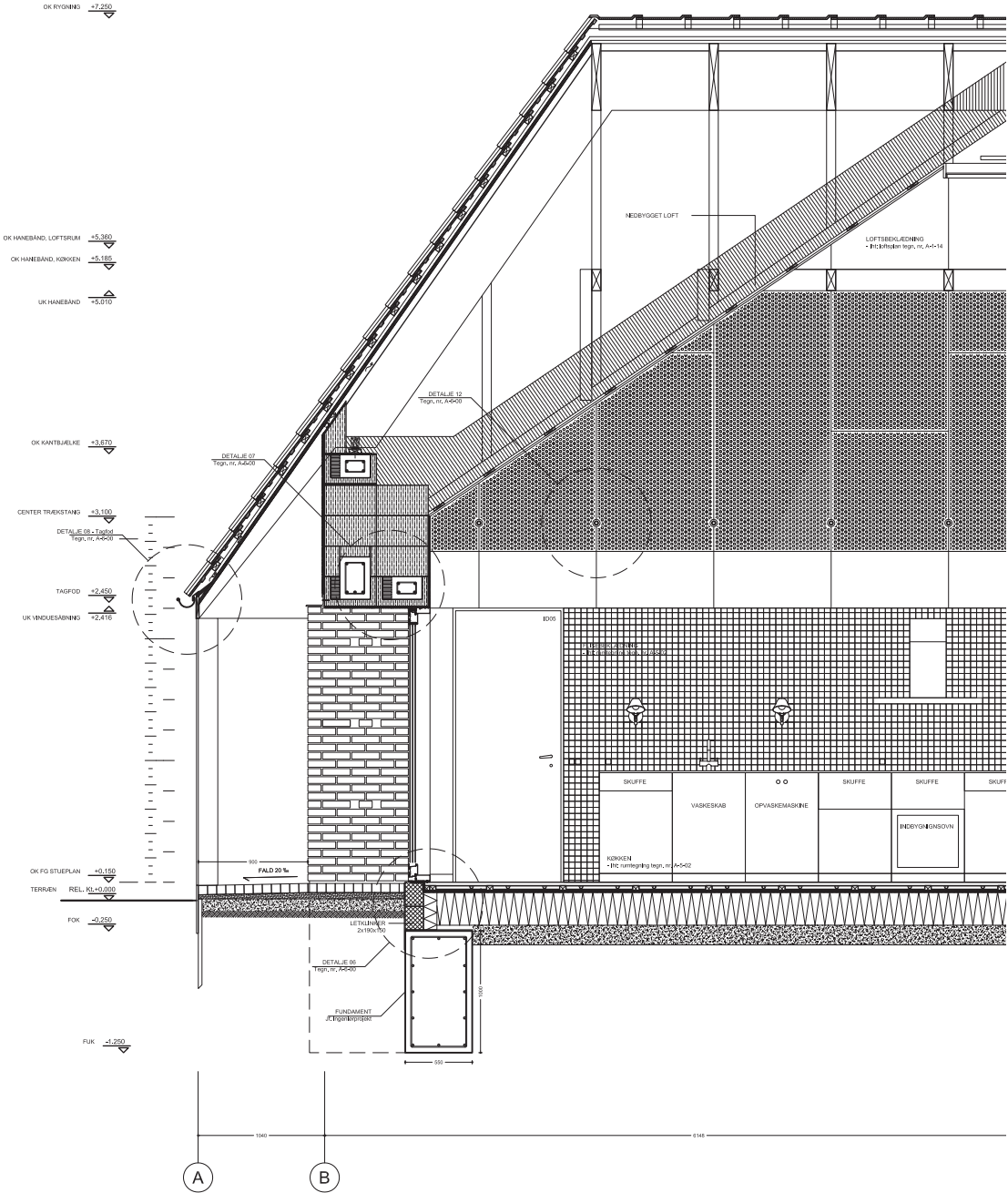
*Undertag*

*Levetidsbetragtning:* Undertaget er iht. Byggeskedefondens anbefalinger udført som fast undertag af brædder fer og not med tagpap, fordi netop den undertagsløsning har den længste levetid. Taget er dækket af falstagsten, som resulterer i en mere lukket tagbelægning, hvilket begrænser vand- og vindbelastning af undertaget, ligesom UV-bestråling af undertaget reduceres.

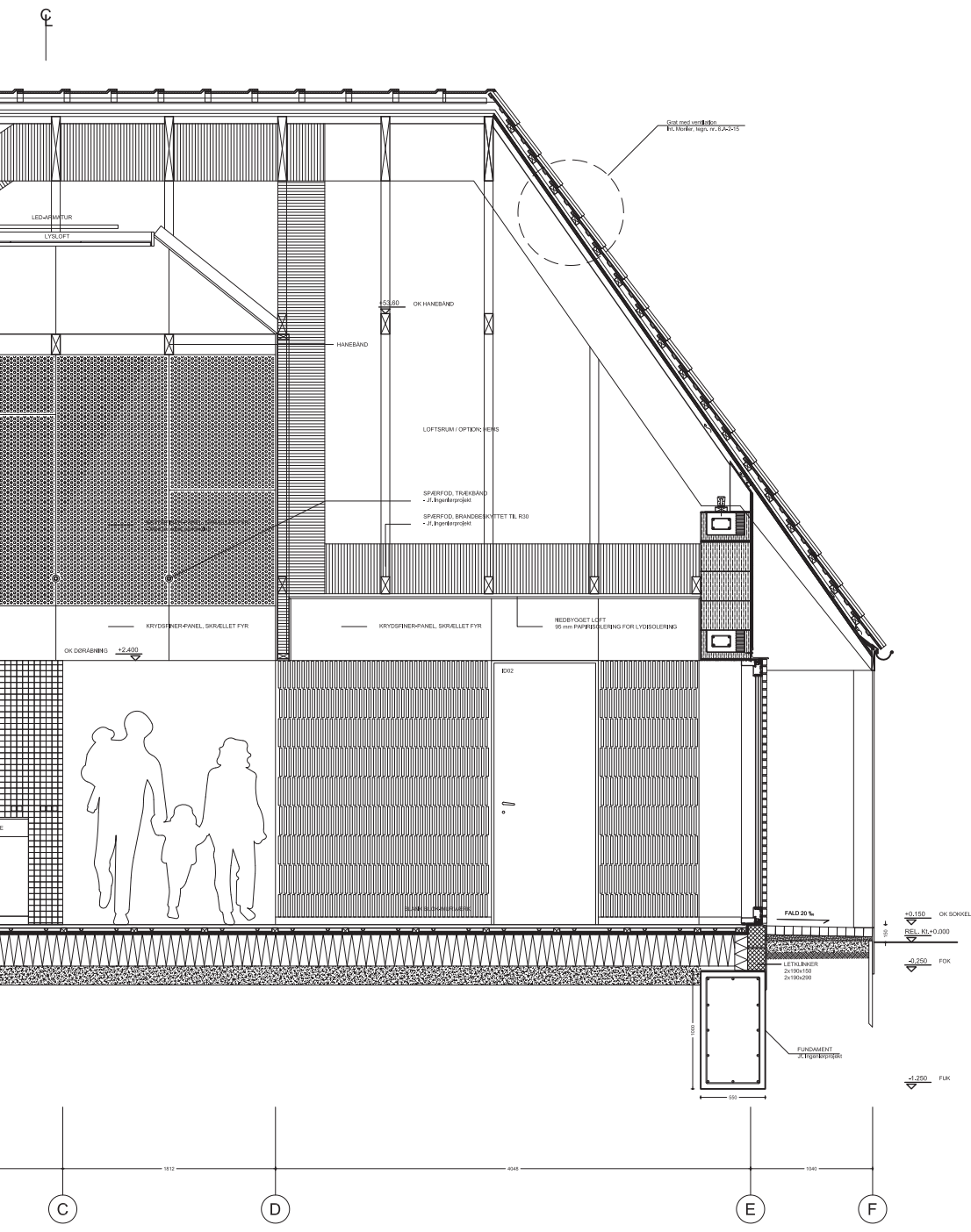
Isolering i taget er udført med papiruld og der er anvendt dampbremse i stedet for dampspærre, som udnytter papiruldens særlige egenskaber ift. fugtoptagelse.







FÆLLESRUMMET | LÆNGDESNIT



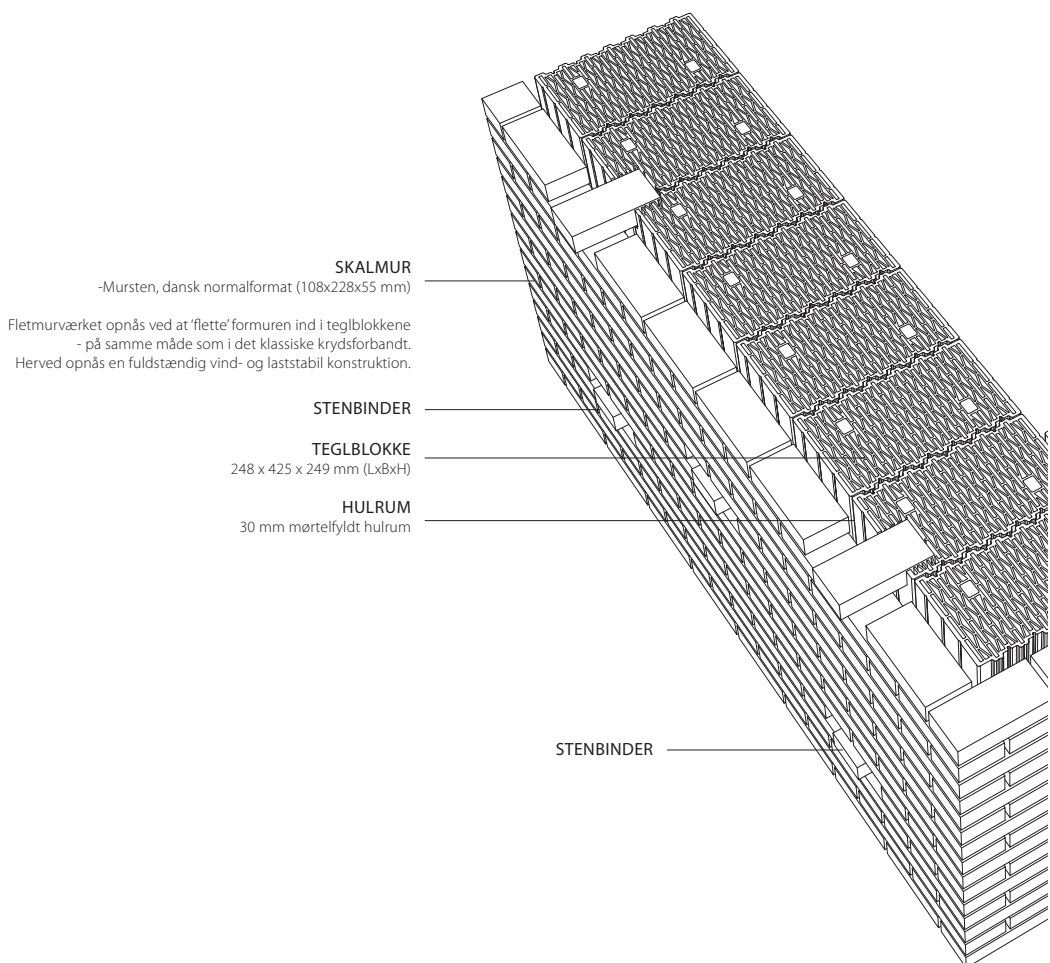


- **Homogen ydermur i teglblokke / fletmurværk**

Ydervægge er opbygget som 'fletmurværk', en monomurskonstruktion hvor isolerende teglblokke i bagmuren flettes sammen med normale teglsten i formuren. I fletmuren udnyttes tegls termiske egenskaber og blokmurværkets lastbærende evner kombineres med murstens vejrbestandighed og stoflighed. Indvendig side af ydervurene er pudset med vandglittet gipspuds for opfyldelse af bygningsreglementets krav til lufttæthed.

*Levetidsbetragtning*

Ved at sammenflette den porøse teglblok med en traditionel mursten, skabes en robust og vejrbestandig massivmuret teglmur, med dokumenteret og evidensbaseret lang levetid. Byggetekniske problemer som følge af bevægelser mellem forskellige materialer elimineres.

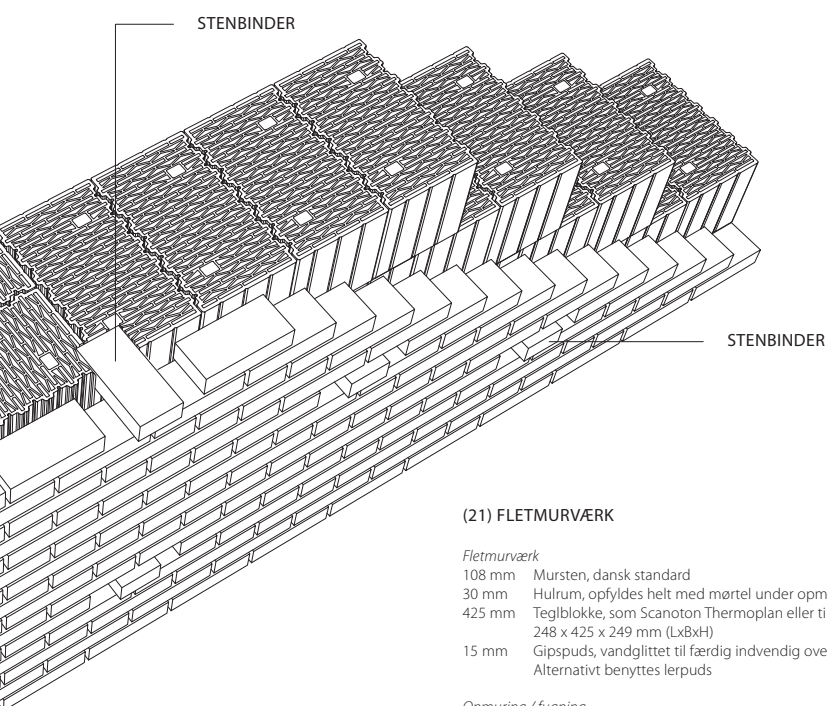


Med konstruktionen undgår man kolde, opfugtede teglstensydervægge, der kan forvitre allerede i løbet af få år – et forhold som kun forværres ved de kommende bygningsreglementers øgede krav til ekstra isolering og lavere u-værdier. Afstanden – og dermed temperaturforskellen mellem for- og bagmur – bliver simpelthen for stor, og stenene i facaden vil være i risiko for at smuldre.

#### *Evaluering:*

På trods af en uhyre komprimeret udførelsestidsplan og relativt begrænsede erfaringer med blokmurværk i Danmark, forløb opmuringen af blokmurværket og sammenfletningen af skalmur og blokke, fuldstændigt efter planen og uden problemer. Konstruktionstypen vurderes – også fra entreprenørside - at være overordentlig bygbar og effektiv.

Udfordringerne ift. byggeriet [både tid, økonomi og bygbarhed], knyttede sig primært til facadeåbningernes store spænd hvoraf den største er godt 4500 mm. Desuden opmuringen af gavltrekanter og støbning / forankring af kantbjælke på gavlenes skrå afskæringer. Åbninger kunne med fordel være underdelt af søjler, sådan at bjælkekonstruktioner kunne reduceres.



#### (21) FLETMURVÆRK

##### *Fletmurværk*

- 108 mm Mursten, dansk standard
- 30 mm Hulrum, opfyldes helt med mørtel under opmuringen
- 425 mm Teglblokke, som Scanoton Thermoplan eller tilsvarende, U-værdi: 0,16 W/m<sup>2</sup>K  
248 x 425 x 249 mm (LxBxH)
- 15 mm Gipspuds, vandglattet til færdig indvendig overflade  
Alternativt benyttes lerpuds

##### *Opmuring / fugning*

Type VI Hydraulisk kalkmørtel, blandingsmørtel 1:3:9 (tørvægt KKh 20/80/475)

##### *Inddækning, skalmur*

100x150x8 mm L-profil, cortenstål



- **Indvendige vægge og overflader i blank blokmurværk**

*Levetidsbetragtning:* Generelt er der anvendt robuste og nøgterne materialer og sunde og robuste byggetekniske løsninger, som kræver et minimum af vedligehold. Alt sammen noget, der fortæller om et hus med en pragmatisk, ligefrem karakter og identitet. Der er taget særlig stilling til materialernes ældning som følge af brug [slid] og vejr og vind – og der er generelt valgt 'autentiske materialer' som tegl, træ, glas, keramik, linoleum mv., der ældes med skønhed og patina.

*Evaluering:* Indvendige vægge er udført som blokmurværk som i størst muligt omfang er eksponeret som blankt murværk. Dette er et nyskabende forsøg, som vurderes overordentligt succesfuldt – både ift. væggenes robusthed/levetid, men også ift. at give de indvendige rum karakterfuldhed. Det blanke murværk stiller relativt store krav til opmuringen og til sortering af blokkene. Blokkene er i produktionen afkortet/savet, hvilket betyder at de er meget præcise i højden. Endvidere benyttes meget lidt mørtel(-lim) til liggefugen, hvilket giver en præcis skiftegang og rent murværk. Blokkene afviger derimod fra hindanden ved forskellig hældning på for- og bagside, hvilket sammen med det forhold at studser ikke fuges, besværliggør arbejdet. Det blanke murværk stiller krav til, at el-arbejdet og kabelføringer generelt overvejes nøje. I Det Vedligeholdelsesfri Hus, er der arbejdet med en logik, hvor vægge står blankt på den ene side og er pudset på den anden. Det betyder, at der altid kan rilles for el i muren på den side som er pudset og at kontakter / afbrydere på den blanke mur altså kan tilsluttes 'bagfra'

- **Fundamenter og opbygning af terrændæk**

*Fundamenter*

*Levetidsbetragtning:* Kravet om lang levetid for resulterer i særligt skærpede krav til miljøklassificeringen af sribefundamenternes betonkonstruktioner. Betonkonstruktioner er klassificeret iht. Eurocodes DSEN 1992, klasse 4 gældende for 'Monumental buildings', med en design levetid på min. 100 år. Dette er en fordobling ift. gældende standard for almindelige bygninger, der som norm sættes til 50 år.

*Evaluering:* De strenge krav til fundamenternes levetid har haft afgørende betydning anlægsudgifterne, bl.a. pga. højere armeringsprocent, skærpede krav til dæklagstykkelse, krav til udførelsen mv.

Samlet ligger der heri en væsentligt fordyrelse ved sammenligning med 'almindelige' husfundamenter.

Den nuværende viden omkring 'extended' levetid på betonkonstruktioner er begrænset og det synes derfor rimeligt, at der foretages en 'life cycle cost-analyse' ift. fremtidige generationer af Det Vedligeholdelsesfri Hus, hvor forholdet mellem anlægsudgifterne og de estimerede fremtidige vedligeholdelsesudgifter afklares, med det mål at stille rimelige krav til betonkonstruktionernes miljøklassificering. Med andre ord: Forsøgsprojektets krav om en minimums levetid på 150 år gældende for alle forsøgsprojektets delelementer og konstruktioner, vurderes i dette tilfælde at have lukket for en rimelig vurdering af forholdet mellem økonomisk rentabilitet, CO<sub>2</sub>, lang levetid og vedligehold.

#### *Terrændæk*

*Levetidsbetragtning:* Det oprindelige projekt beskrev et støbt terrændæk med vandbåren gulvvarme, der ville blive slebet og poleret til færdigt gulv. Betonlaget ville blive forholdsvis tykt (140 mm) pga. kravene til betonens miljøklassificering [=levetid] og dæklagstykkelser.

Løsningen vurderedes ikke i overensstemmelse med en teknisk gulvvarmeløsning, hvor varmeslanger kan udskiftes eller repareres indenfor husets levetid [150 år]. Derfor besluttedes det, at ændre opbygningen af terrændækket til en løsning med trægulv, hvor gulvet opbygges på et lag af eps-plader udlagt på afrettet sand uden betonlag. Dette giver tilgængelighed til gulvvarmesystemet ifm. fremtidig fornyelse af systemet.

*Evaluerings:* Der er ikke evidensbaserede erfaringer med gulvopbygningen på eps uden betonlag, men løsningen vurderes - baseret på materialets egenskaber - at have lang levetid. På trods af at løsningen - på papiret - skulle være hurtigere at udlægge end et traditionel støbt terrændæk, gav løsningen alligevel anledning til en række overvejelser og problematikker ift. byggetakt. Det anses dog som en fordel, at gulvet lægges med begrænset byggefugt og uden udtørringsproblemer. Isoleringens eps' vejer' forholdsvis tungt i LCA-regnskabet og alternative løsninger kunne med fordel studeres i en version 2.0 af Det Vedligeholdelsesfri Hus, f.eks. 'Hemcrete';isolering med muslingeskaller mv.





LEVETID | INDVENDIGE VÆGGE I BLANK BLOKMURVÆRK



FOTO: STAMERS KONTOR





LEVETID | INDVENDIGE VÆGGE I BLANK BLOKMURVÆRK



FOTO: STAMERS KONTOR



### 3.2 INDEKLIMA OG SUNDHED

#### Naturligt klimaanlæg

I kraft af teglblokkenes fine pore- og kapillarstruktur virker væggene som et naturligt klimaanlæg. Poroton-blokke udligner temperaturudsving, er diffusionsåbne og besidder fremragende fugtregulerende egenskaber. Vægoverfladerne forbliver tørre og sørger dermed for et optimalt indeklima uanset årstiden. Endvidere bidrager teglblokmurs termiske masse til en mere stabil inde-temperatur og derved et bedre indeklima.

Moderne huse er ikke som tidligere hårdest udsat for råd udefra. Nye bygninger rådner indefra pga. manglende udluftning. Teglblokkene derimod er ikke følsomme overfor fugt – faktisk absorberer blokkenes overflade fugten fra luften og giver den tilbage igen. Blokmurværkets termiske egenskaber udnyttes desuden til en stabilisering af indeklimaet. Om natten, når rumtemperaturen falder, vil fugten i luften kondensere og derved holde temperaturen i materialet oppe. Om dagen, når temperaturen stiger, vil fugten igen fordampe og holde temperaturen nede.

For at bevare murværkets hygroskopiske egenskaber er det afgørende, at en eventuel indvendig overfladebehandling er diffusionsåben - ellers har det ingen effekt. Altså ingen plastik-maling!

#### (27) TAGKONSTRUKTION

Udshengstag, 35° - sokkelkonstruktion

- 40 mm Fuldfærdigt, bundet med aluindlånere  
Type: Morir, Danrig NOVA (spørgefaktum)  
Fane: Engpoint eller m. Ø 1050 vandt 1  
Ryggelegninger: Som Teak
- 38/73 mm T1: Blåsandplader, c/c max. 1000 mm
- 25 mm Ventildæk
- 25x45 mm Alustænder sommet if. spacer
- Fast underlag
- 2 kg SBS-limmen belagt med groft sand,  
klæbeindsprængning ved søvner/bænkning, SBS-limmen  
afstøbt med sand
- Rofovlade brædder
- 21 mm Ventiltæt hudum, mfx. 50 mm
- Tagger
- 75x400 mm C-tilsætsbaseret belægning (spafix)
- 350 mm Dampspærre, PE-tilsæt, Alu-limmet i fuger Ø 8 mm
- 0,20 mm Læger
- 50x50 mm Isbjælgning, rindevål
- 50 mm Alustænder, farvet sort
- 12 mm Parfaset aluminium
- 425 mm U-skiel / armert stålble

CENTER TRÆSTANG  
• 1x svævebjælke

OK REH  $\pm 0,000$

OK KANTBEJLSE  $\pm 0,000$

75x120 mm Nittede tagrender i  
køber 285 mm, indvendig Ø 75 mm  
nedløb i køber

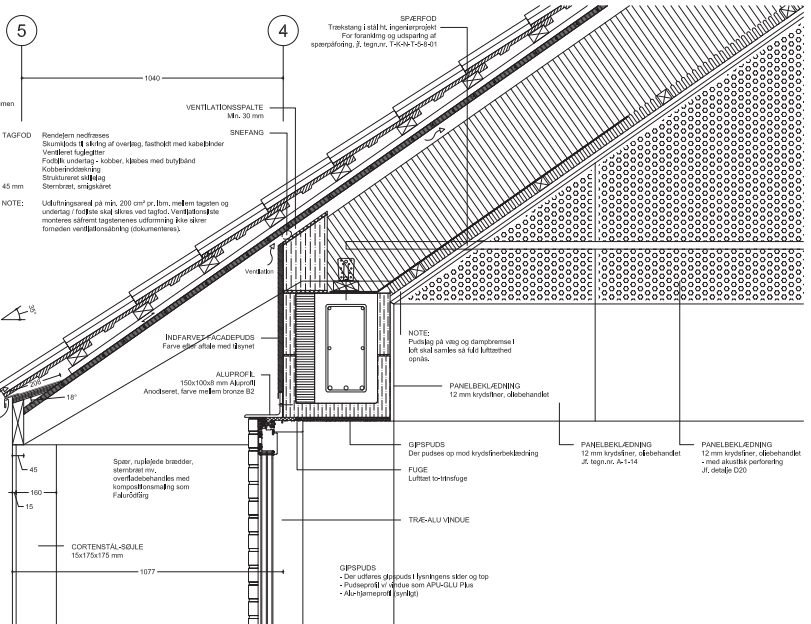
Tagrender udføres med 30-40 mm  
fremspil af tagstenen i hænder

TAGFOD  $\pm 0,000$

OK VINDUESBÅN  $\pm 0,000$

\*) TÆTHEDSPÅN  
Dampspærre monteres med mfx.  
150 mm vevfug og tapes  
sammen med DOWTAP i alle  
fuger tilsvarende.  
Elev. steder på dampspærren  
skal repareres med tape.  
Dampspærren skal limes tæt af  
tilsvarende krydsfug med  
tætningsmiddel.

Ved gennemtrængninger udføres  
tætning med tætnings-  
bælg/manchet eller  
Blomenco.



### *Byggefugt*

Teglbløkke har en lav restfugt sammenlignet med andre isolerende blokke og grundet det lave forbrug af mørtel - svarende til ca. 20 % sammenlignet med almindeligt muret byggeri - er der opnået et murværk med en meget lav rest-fugt-procent. Dette har været afgørende for gennemførelsen af den korte byggetid og vurderes desuden positivt ift. en generel begrænsning af byggefugt i konstruktioner.

### *Øvrige overflader*

Generelt er der i huset anvendt byggematerialer som lever op til indeklimakrav og som giver et godt miljø.

Træ anvendes på ovenlysets vægoverflader og på samtlige lofter i hele huset. Træ er et hygroskopisk materiale hvilket vil sige, at træ tilpasser sig omgivelserne. I praksis betyder det, at overfladerne i træ optager og afgiver fugt og varme til rummet og på den måde hjælper til at opretholde en naturlig kontrol og balancering af indeklimaets temperatur og luftfugtighed.





retrotec  
DIN EN ISO  
2000 Standard

retrotec



### 3.3 MÅLINGER / ANALYSER

#### *Lavenergi 2015*

Efter byggeriets afslutning, er der udarbejdet en energimærkningsrapport ved en uvildig energirådgiver. Rapporten konkluderer på baggrund af en bygningsgennemgang, at Det Vedligeholdelsesfri Hus lever op til energikravene til nye bygninger i byggetilladelsen. Bygningens energimærke = A, 2015.

Det beregnede energiforbrug er 32,5 kWh/m<sup>2</sup> år, hvilket opfylder kravet for lavenergi klasse 2015 i BR10 på 38,6 kWh/m<sup>2</sup> år.

Det samlede, dimensionerende transmissionstab, eksklusiv tabet gennem vinduer og døre, er 3,9 W/m<sup>2</sup>, hvilket overholder det maksimalt tilladte transmissionstab på 4,0 W/m<sup>2</sup>.

Rapporten vurderer desuden, at kravene til mindste varmeisolering overholdes og at kravene til installationer overholdes.

#### *Trykprøve*

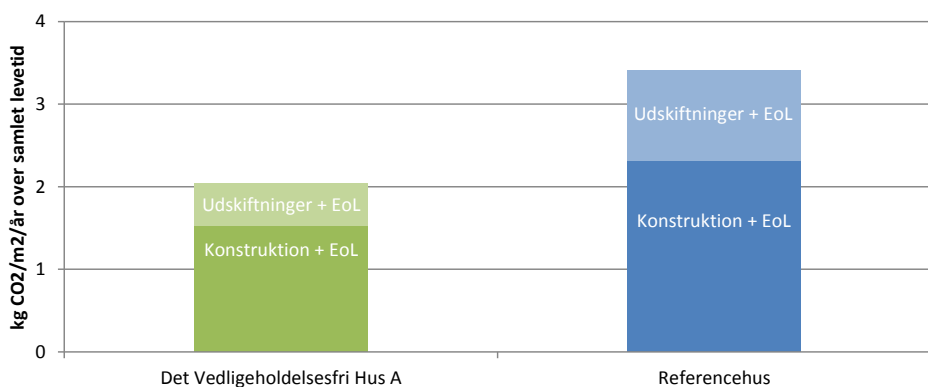
Efter byggeriets afslutning, er der endvidere udført en Blower Door test [trykprøvning], for måling af byggeriets tæthed.

Luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen må ved lavenergi byggeri iht. BR2015 ikke overstige 1,0 l. pr. sekund pr. m<sup>2</sup>, ved trykprøvning med 50 pa over- og undertryk.

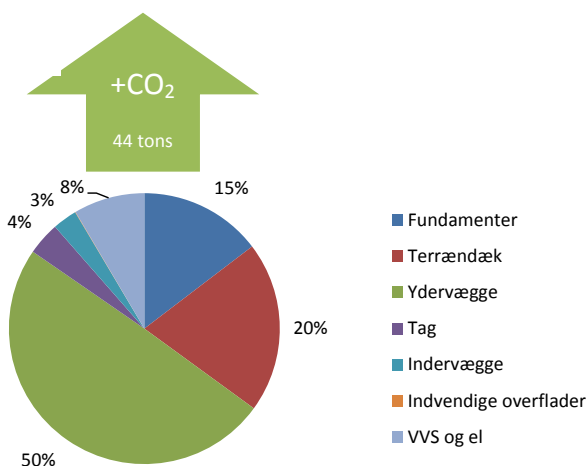
Resultatet af testen er = 0,798 l/s pr. m<sup>2</sup>, hvilket betyder at Det Vedligeholdelsesfri Hus overholder kravet til lufttæthed iht. BR2015.

Forud for den endelige test – og før udførelse af indvendige beklædninger i det høje loft og udlægning af gulv, blev der udført en prøvning af tætheden, som bl.a. viste utætheder ved blokkenes møde med soklen. Dette gav anledning til, at pudse sokler på indvendig side. Den endelige trykprøvning udviste en meget lav utæthed i klimaskærmen, bl.a. takket være en stor kvalitet og opmærksomhed på utætheder i tømrerarbejdet. Det er værd at bemærke, at den store tæthed er opnået i forsøgsprojekt uden brug af dampspærre og hvor ydervæggene er diffusionsåbne og fugtregulerende.

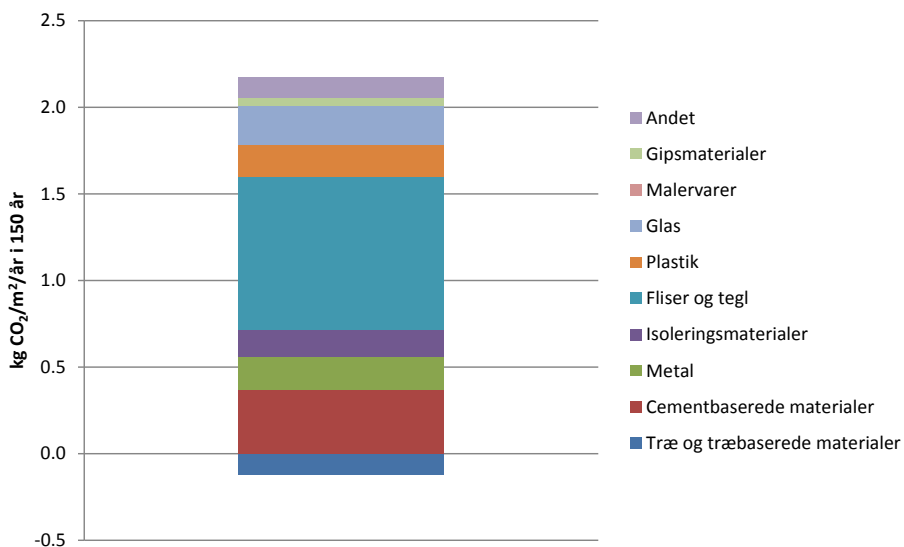
## CO<sub>2</sub> UDLEDNING | SAMMENLIGNING OVER SAMLET LEVETID



## CO<sub>2</sub> UDLEDNING | FORDELT PÅ BYGNINGSDELE



## CO<sub>2</sub> UDLEDNING | FORDELT PÅ MATERIALER



### 3.4 LCA-ANALYSE / CO2-FODAFTRYK

#### *CO2-belastning – sammenligningsgrundlag*

Livscyklusvurderingen af Det Vedligeholdelsesfri Hus – A og referencehuset er udført på to forskellige perioder, hhv. 50 og 120 år. Den første periode på 50 år bruges som udgangspunkt til sammenligningen mellem forsøgshuset og referencehuset. Referencehusets forventede levetid er sat til 120 år. For Det Vedligeholdelsesfri Hus den samme periode sat til 150 år. Disse perioder benyttes til at vurdere den samlede CO2-belastning over husenes levetid.

Designlevetiden på referencehuset primære konstruktioner er 50 år, jf. gældende normgrundlag [Eurocodes DSEN]. Referencehusets LCA-vurdering baserer sig derimod på en levetid på 120 år, hvilket må siges at være et fuldstændigt gæt. Det vurderes, at dette grundlæggende står tvivl ved LCA-vurderingens udgangspunkt.

For Det Vedligeholdelsesfri Hus – A, er designlevetiden >100 år, svarende til 'Monumental buildings'. At de to vedligeholdelsesfri huse A og B, således holder 150 år er altså ligeledes gætværk.

Men hvis det er acceptabelt, at gætte en samlet levetid på referencehusets konstruktioner til 120 år, burde det ligeledes accepteres at levetiden for De Vedligeholdelsesfri Huse sættes til 240 år.

Det siger sig selv, at med en sådan forskydning, vil CO2-belastningen for Det Vedligeholdelsesfri Hus over den samlede levetid, mindskes betydeligt ift. referencehuset. Det vurderes således, at LCA-vurderingen og sammenligningen mellem referencehuset og De Vedligeholdelsesfri Huse – selv hvis der tages forbehold for usikkerhederne - ikke er faktisk retvisende.

Desuden giver LCA-vurderingen anledning til følgende yderligere kommentarer:

- Referencehuset og Mini CO2-husene varierer alle i bruttoareal. For at analyserne af CO2-udledning skal give mening, bør referencehusets areal således justeres til at matche hver af de seks huse.
- Det fremgår, at der er medtaget en standardpakke af VVS- og elinstallationer i beregningen af samtlige huse. Alligevel viser det sig, ved efterregning af CO2-udledningen fordelt på bygningsdele i de enkelte huse, at udledningen fra VVS og el er forskellig (DVH A=3.52 tons, DVH B=2.59 tons, DFH=3.99 tons, KVH=2.44 tons). Ydermere indeholder standardpakken et ventilationssystem med varmegenvinding, hvilket ikke er tilfældet i DVH A, hvorfor udledningen fra VVS og el burde reduceres.



### 3.5 BYGGEPROCES

#### *Udførelsesmæssig kvalitet*

Murerarbejde, oplægning af tegltage og facadepuds udføres jævnlige under stort tidspres og uden et fornødent kendskab til gældende regler og anvisninger, hvilket kan resultere i murerarbejde af dårlig kvalitet, som giver varige ærgrelser eller er dyrt at udbedre.

Projektets tidlige og tætte samarbejde med den udførende entreprenør og øvrige nøglepersoner blandt håndværkerne vurderes derfor afgørende for byggeriets kvalitet og succes.

Den helt overvejende oplevelse fra byggepladsen, har været en [usædvanlig] stor ansvarlighed og rettidigt omhu hos håndværkerne, båret af håndværksmæssig stolthed. Grundene til dette kan være mange – bl.a. at pladsen simpelthen har haft et virkelig godt håndværkerteam, men også at hele forsøgsprojektets fokus på genoplivning af traditionen bygger på en respekt og interesse for håndværket. Der er stor tilfredshed i at gøre noget ordentligt. At bygge, at udføre en håndværk og ikke blot være en montør af elementer og komponenter.

Der har i evalueringen af projektet været samstemmende enighed om, at det gode håndværk opleves som en 'varig' kvalitet værdi i det færdige hus.

### 3.6 ORGANISATION OG PROCES

#### *Tidligt udbud*

Rådgivergruppen anbefalede tidligt i forløbet en prisindhentning ved et tidligt udbud, ud fra en vurdering af, at det ville være vanskeligt at overholde rammeøkonomien i det programmerede projekt ved en traditionel licitation.

Gennemførelse af et fuldt projektførløb, afsluttet med en traditionel licitation ville indebære en stor risiko for, at projektet meget sent skulle igennem en omfattende omprojektering/sparerunde - hvilket ville være u hensigtsmæssigt i forhold til projektets indbyggede udviklingsarbejder og den stramme tidsplan.

Med det formål, at sikre en tværfaglig koordinering og optimering af projektet, samt at opstille besparelsesmuligheder, blev der afholdt et samlet projektgennemgangsmøde med deltagelse af rådgiver, hovedentreprenøren og samtlige underentreprenører.

Dialogmødet og efterfølgende forhandlinger med hver enkelt underentreprenør, dannede grundlag for den endelige økonomiske indstilling.

Hovedentreprenørens tilbud blev afgivet som fastpris-aftale uden forbehold.



### Entreprenørsamarbejde

Hovedentreprenøren Ebbe Bernth har således været med gennem hele projektet i tæt samarbejde med LETH & GORI som totalrådgiver og byggeleder. Samarbejdet har både gået på, at finde og udvikle byggetekniske løsninger der holder – og som er til at bygge – men også løsninger som er skåret til ift. projektets meget stramme økonomiske ramme.

Det er vurderingen, at dette entreprenørsamarbejde har været overordentligt positivt og betydende ift. projektets succes, økonomisk, ift. tidsplan og håndværksmæssig kvalitet.

### Uforudseelige udgifter

Derimod gav den meget stramme rammeøkonomi og det forhold at der ikke var budgetteret med uforudseelige udgifter, store problemer i udførelsesfasen. Erfaringen er – set fra rådgiverside, at der i forsøgsprojekter bør afsættes midler, svarende til min. 5 % til udvikling og uforudseelige udgifter i løbet af udførelsesfasen. Konsekvensen i det aktuelle projekt var, at hver eneste ekstra udgift betød [konstant] omprojektering for at finde en tilsvarende besparelse. Dette pressede udførelsestidsplanen og gav negative rystelser ned igennem byggepladsen af flere omgange i løbet af byggeriet. Og endelig har dette betydet, at rådgiverne har måttet investere ganske mange ekstra-timer i færdiggørelsen af projektet.

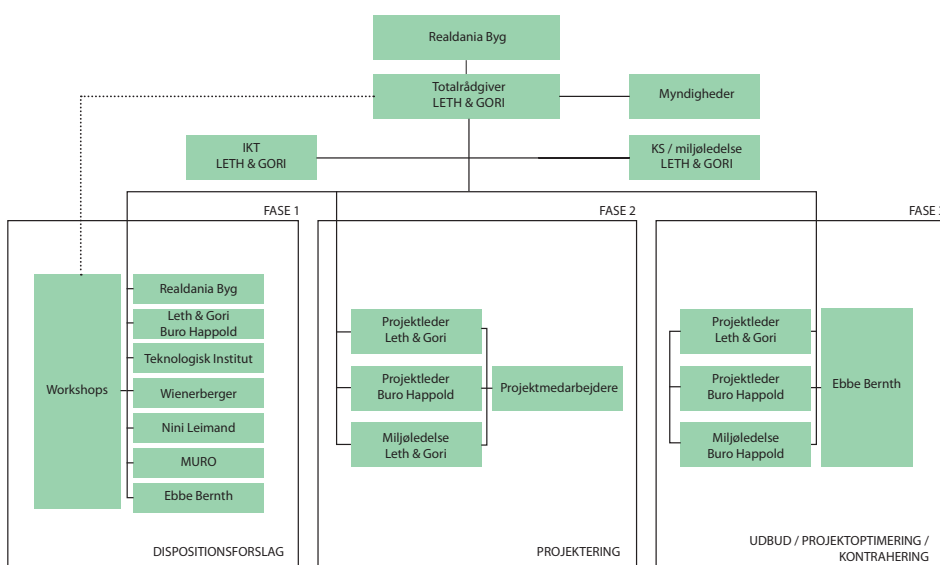
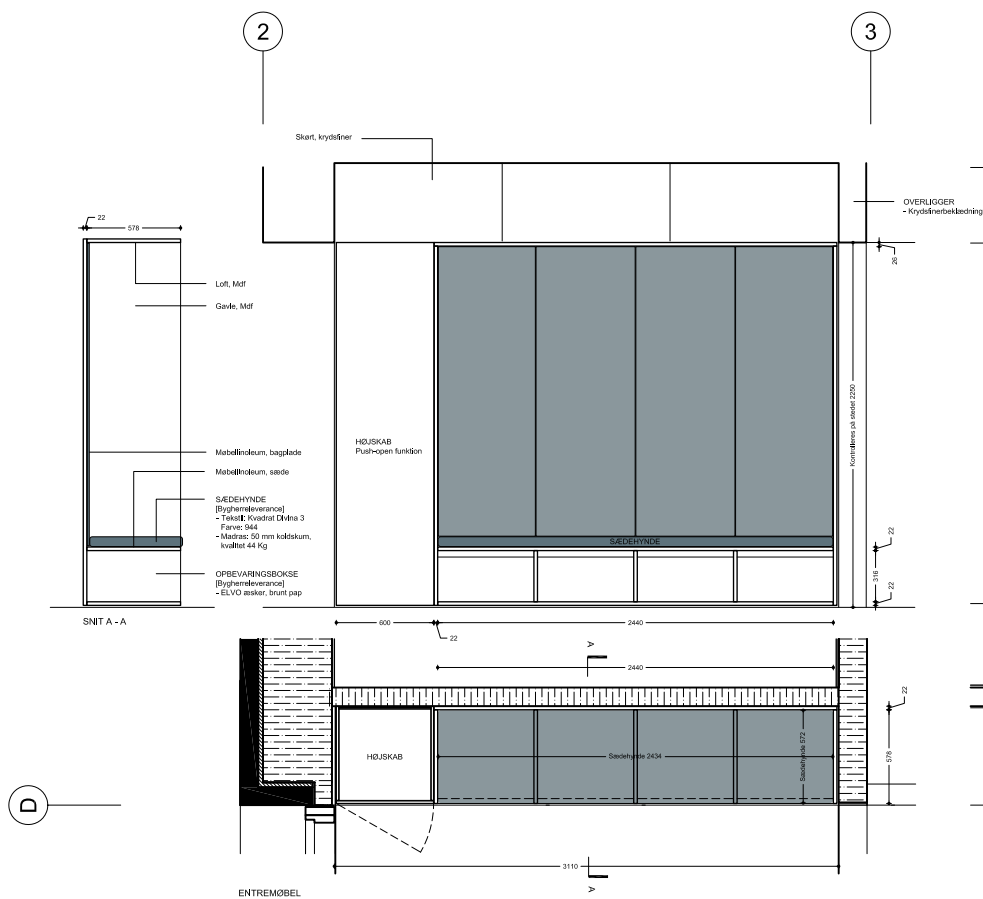








FOTO: LAURA STAMER



### 3.7 ØKONOMI

*Evaluering:* Byggeriets økonomi blev voldsomt presset pga. den pressede tidsplan – faktisk forkortedes byggeperioden med seks uger ift. den oprindelige udførelsestidsplan, pga. forlænget sagsbehandling. Alligevel er det hovedentreprenørens konklusion, at det vil være muligt at opføre basishuset igen indenfor samme anlægsøkonomi. Dog bør omfanget af armerede bjælker og støbte kantbjælker begrænses i en ny udgave af basishuset for at holde økonomien nede.

En række af de tilvalgte optioner, særligt løsningen med åbent til kip, gav derimod store økonomiske udfordringer for de udførende håndværkere. Konklusionen er, at 'specielle løsninger' i byggeriet skal dokumenteres grundigt og overleveres til de udøvende entreprenører på projektgennemgangsmøder mv. for en risikostyring af økonomien.

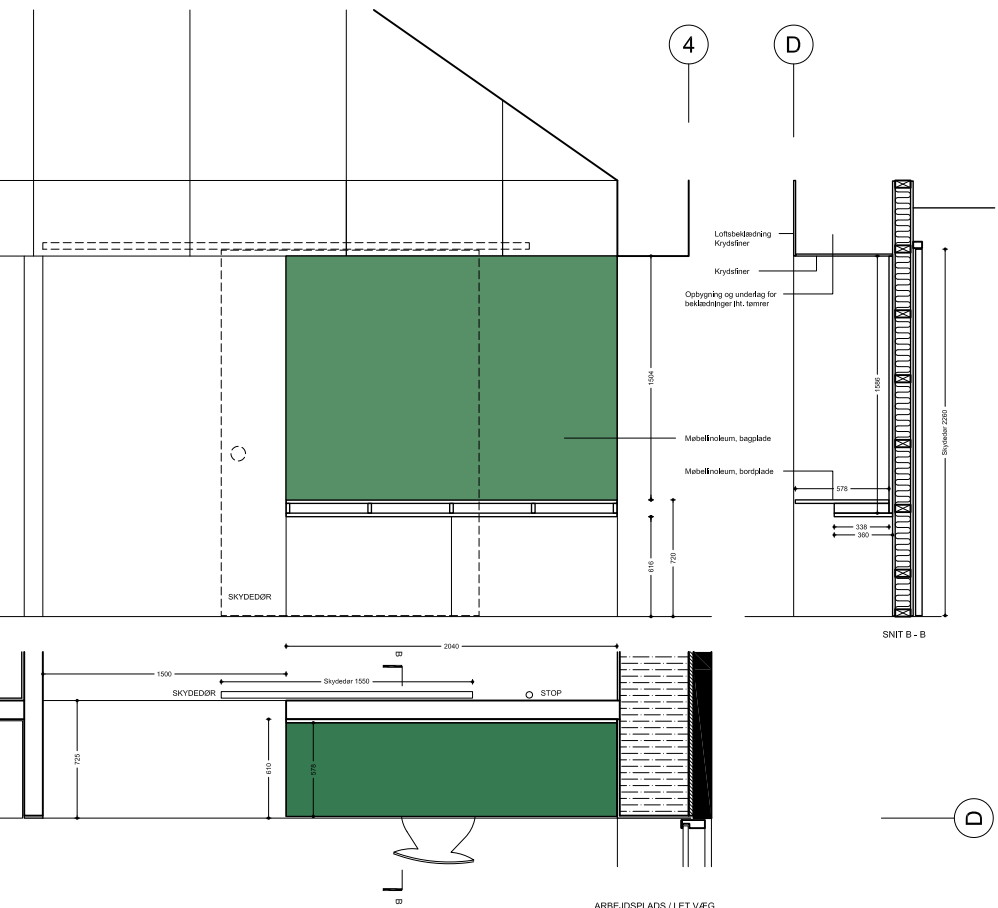








FOTO: STAMERS KONTOR







## 4. MULIGHEDER OG FREMTID

### 4.1 FORSØGSPROJEKTET

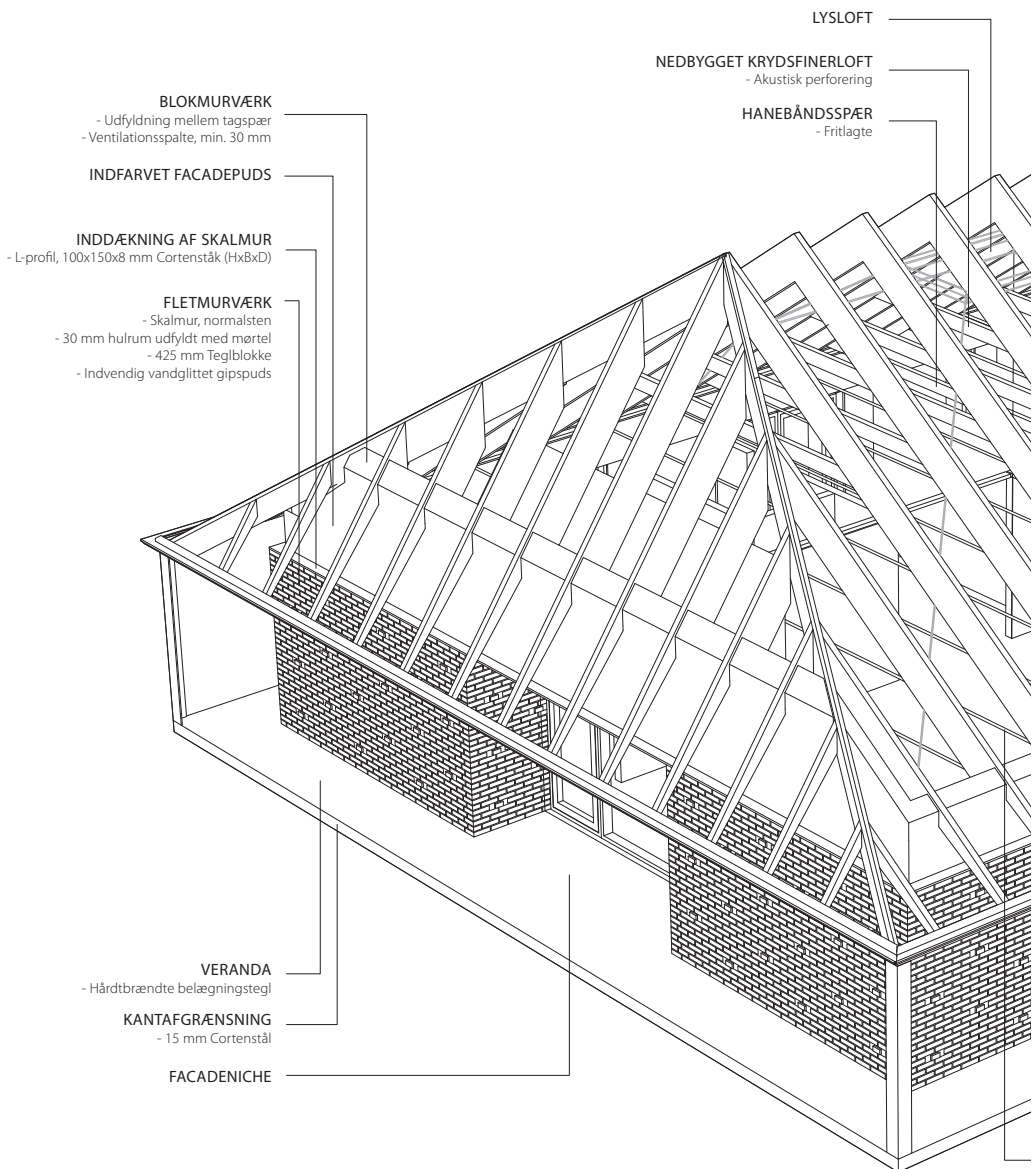
Forsøgsprojektets væsentligste erfaringer knytter sig særligt til en række kvaliteter i projektet, som kan sige at være 'stabile' eller 'varige' ift. levetid:

- Udhængstagets store potentiale – både ift. lang levetid og 'Bedre byggeskik', men også som et arkitektonisk potentiale ift. at give boligen helt særlige rumlige oplevelse – oppe og nede, inde og ude.  
Dog bør udhængets konstruktive konsekvenser vurderes nøje ift. konstruktioner, bygbarhed og økonomi.
- Den homogene ydermurs betydning, både ift. holdbarhed, reduktion af materialer og forsimpning af byggeprocessen, men også som afgørende for etablering af et sundt og godt indeklima for husets beboere i de næste mange år, i kraft af murens evne til at fungere som et 'naturligt klimaanlæg'.
- Omvendt designtilgang: Tidlig vurdering af konstruktioner og spænd for begrænsning af byggeriets statiske kompleksitet og for en generel reduktion af armerede bjælkekonstruktioner
- Differentieret designtilgang ift. levetid: Life cycle cost-analyse særligt af betonkonstruktionernes miljøklassificering, kunne danne baggrund for en mere differentieret diskussion af forholdet mellem økonomisk rentabilitet, Co2, lang levetid og vedligehold.
- LCA-analyse; Det konkluderes, at gennem at øge den samlede design-levetid for Det Vedligeholdelsesfri Hus mindskes CO2-belastningen betydeligt ift. referencehuset. Uanset, at dette forhold står klart, vurderes LCA-analysen at være behæftet med en række væsentlige fejlkilder, ligesom vurderingen efter rådgivernes mening ikke til fulde formår at afdække De Vedligeholdelsesfri Huse fulde potentiale ift. en Life Cycle-vurdering.
- Proces / kvalitetssikring / økonomi: Fokus på risikostyring gennem særlig udpegning og opmærksomhed på specielle detaljer i byggeriet og afholdelse af minutløse projektgennemgange.
- Potentialet i et tæt samarbejde mellem bygherre, arkitektrådgiver og udførende entreprenør/håndværkere, som grundlag for det gode håndværk, hvilket bidrager til en oplevelse af 'varig' kvalitet i byggeriet

## 4.2 Generation 2.0 / muligheder og fremtid

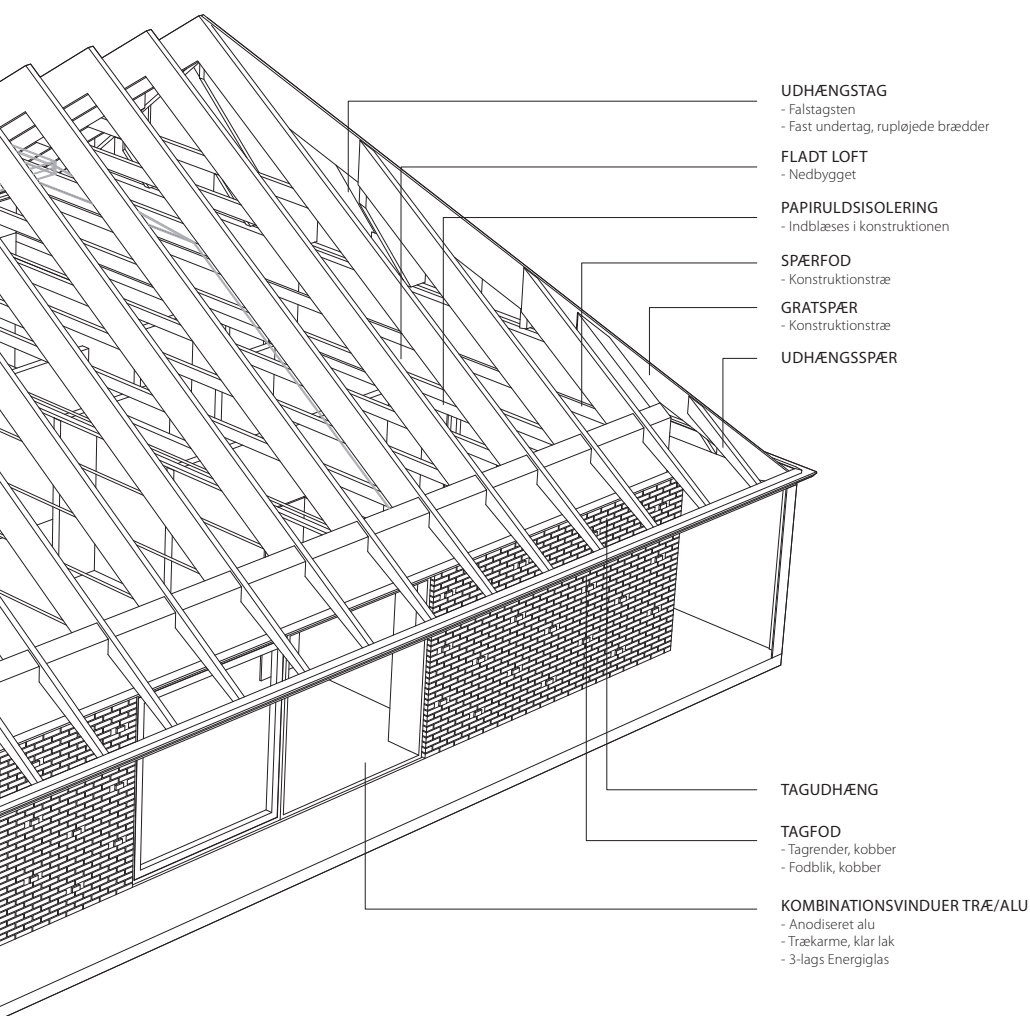
Forsøgsprojektets væsentligste konklusion er, at Det Vedligeholdelsesfri Hus er stabilt i sine kvaliteter – både ift. levetid af konstruktioner og materialer, i reduktionen af CO<sub>2</sub>-udledningen over husets samlede levetid, men også ift. arkitektonisk kvalitet og 'bo-kvalitet'.

Huset viderefører traditionen med en arkitektur 'der holder', god byggeskik, gode detaljer, autentiske materialer og godt håndværk. Husets kvaliteter er vægtet og udpeget indenfor en realistisk økonomi, der gør at huset er et reelt alternativ til typehusmarkedet.



Resultatet er et hus som udstråler arkitektonisk og håndværksmæssig kvalitet og robusthed – og peger nye veje til opnåelse af formuleringen af en Ny Bedre Byggeskik, hvor der tages stilling og ansvar for bæredygtigheden i byggeriet.

Forsøgsprojektets opsamlede erfaringer og visioner peger således på et stort potentiale ift. at udvikle nye generationer af Det Vedligeholdelsesfri Hus. Nye huse, som tager vare på stedet, på miljøet, på vores materialeressourcer og som viderefører det gode håndværk.



SPÆRFOD I STÅL









