

Bæredygtig Bygningsarv, Herning Kommune

Bygningsopmåling og bygningsarkæologi som værktøj for
Livscyklusanalyser
– samt noget om gamle vinduer og energi

Eksemplificeret gennem Lærlingenes Hus, Sandkås, Bornholm

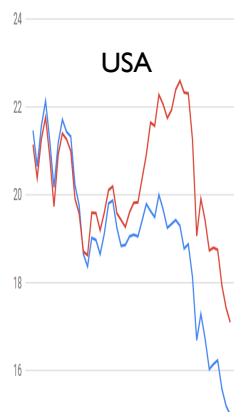
Ved arkitekt/ingeniør lektor Thomas Kampmann

Arkitektskolens afdeling for Transformation, KTR.

Hvorfor?

- **Vi styrer direkte mod fire grader varmere vejr om 50 år**
- Verdensbanken fastslår i en ny rapport, at temperaturen stiger voldsomt, medmindre vi nedbringer CO₂ udslippet voldsomt. De fattige egne står foran en katastrofe, mens vi andre må søge alternativer til hedeølgerne ved Middelhavet i sommerferien.

Capita Carbon Footprint for USA (1970-2017)

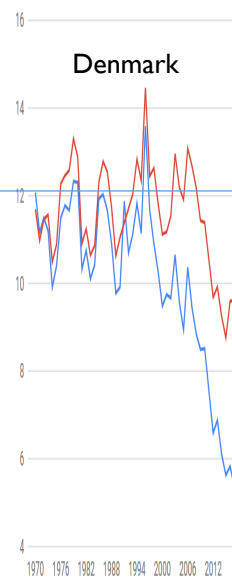


Ton CO₂ udslip per indbygger fra 1970 til 2017 (Eora, www.worldmrio.com/footprints/carbon/)

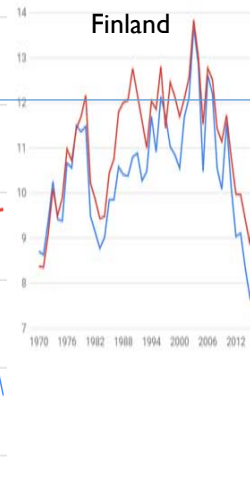
Blå kurve: Lande emissioner (Territorial Emmissions)

Rød kurve: Forbrugsbaseret regnskab (CBA, Consumption-based accounting)

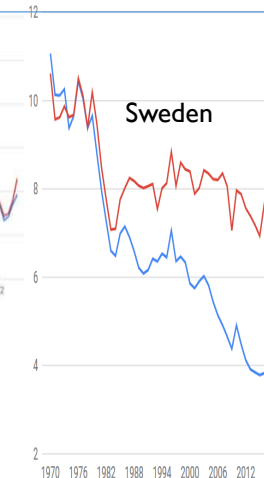
Capita Carbon Footprint for Denmark (1970-2017)



Capita Carbon Footprint for Finland (1970-2017)

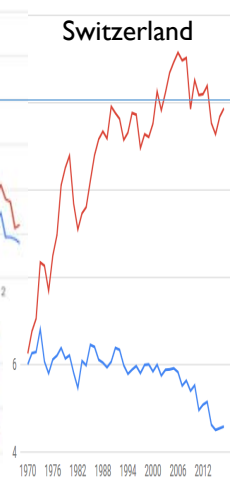


Capita Carbon Footprint for Sweden (1970-2017)

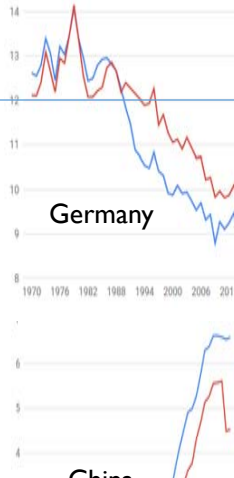


12 ton CO₂

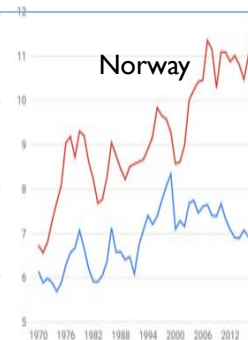
Switzerland



Germany

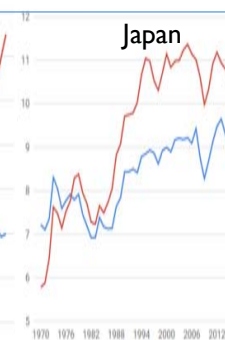


Capita Carbon Footprint for Norway (1970-2017)



Norway

Capita Carbon Footprint for Japan (1970-2017)

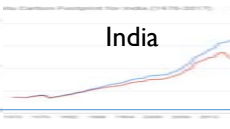


Japan

China



India



0 ton CO₂

Lenzen M, Kanemoto K; Moran D, and Geschke A (2012) **Mapping the structure of the world economy.** *Environmental Science & Technology* 46(15) pp 8374–8381. DOI: [10.1021/es300171x](https://doi.org/10.1021/es300171x)

Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Geschke, A. (2013) **Building Eora: A Global Multi-regional Input-Output Database at High Country and Sector Resolution.** *Economic Systems Research*, 25:1, 20-49, DOI: [10.1080/09535314.2013.769938](https://doi.org/10.1080/09535314.2013.769938)

The Greatest Shortcoming
of the Human Race
is our Inability
to Understand
The Exponential Function

Dr. Albert A. Bartlett

**The Exponential
function is used to
describe the size of
anything that growing
steadily, for example,
5% per year.**

Grains of Wheat on a Chessboard

Square Number	Grains on Square	Total Grains on Board
1	1	1
2	2	3
3	4	7
4	8	15
5	16	31
6	32	63
7	64	127
64	2^{63}	$2^{64}-1$

We can calculate the doubling time,

$$T_2 = \frac{70}{\% \text{ growth per unit time}}$$

Thus a growth rate of 5% per year has a doubling time of

$$T_2 = \frac{70}{5} = 14 \text{ years}$$

Lærlingenes hus, forårssemesteret 2019



Lærlingenes Hus – et lille mishandlet hus på Bornholm.

Samarbejde med Dansk Håndværk

Samarbejde med Konservatorskolen og DTU



Opmåling, bygningsarkæologisk undersøgelse, farveafdækning,
varmetabsberegning og Livscyklusanalyse

Opmålingsprincipper på KTR

- I. Skitseopmåling
egen krop, tommestok og øjemål
- II. Opmåling ud fra bygningen selv
båndmål med fortløbende mål
- III. Opmåling ud fra målesystem
målesystem af snore, vinkelprisme, vandslange
- III a. Opmåling af detaljer som døre og vinduer
måles med skydelære, målebånd, vinkler, plastelina mm.
- IIII. Opmåling med totalstation
totalstationen skaber målesystemet
- V. Opmåling med cyklotron scanner
uoverskuelig stor datamængde, dyrt apparatur, hurtigt i marken

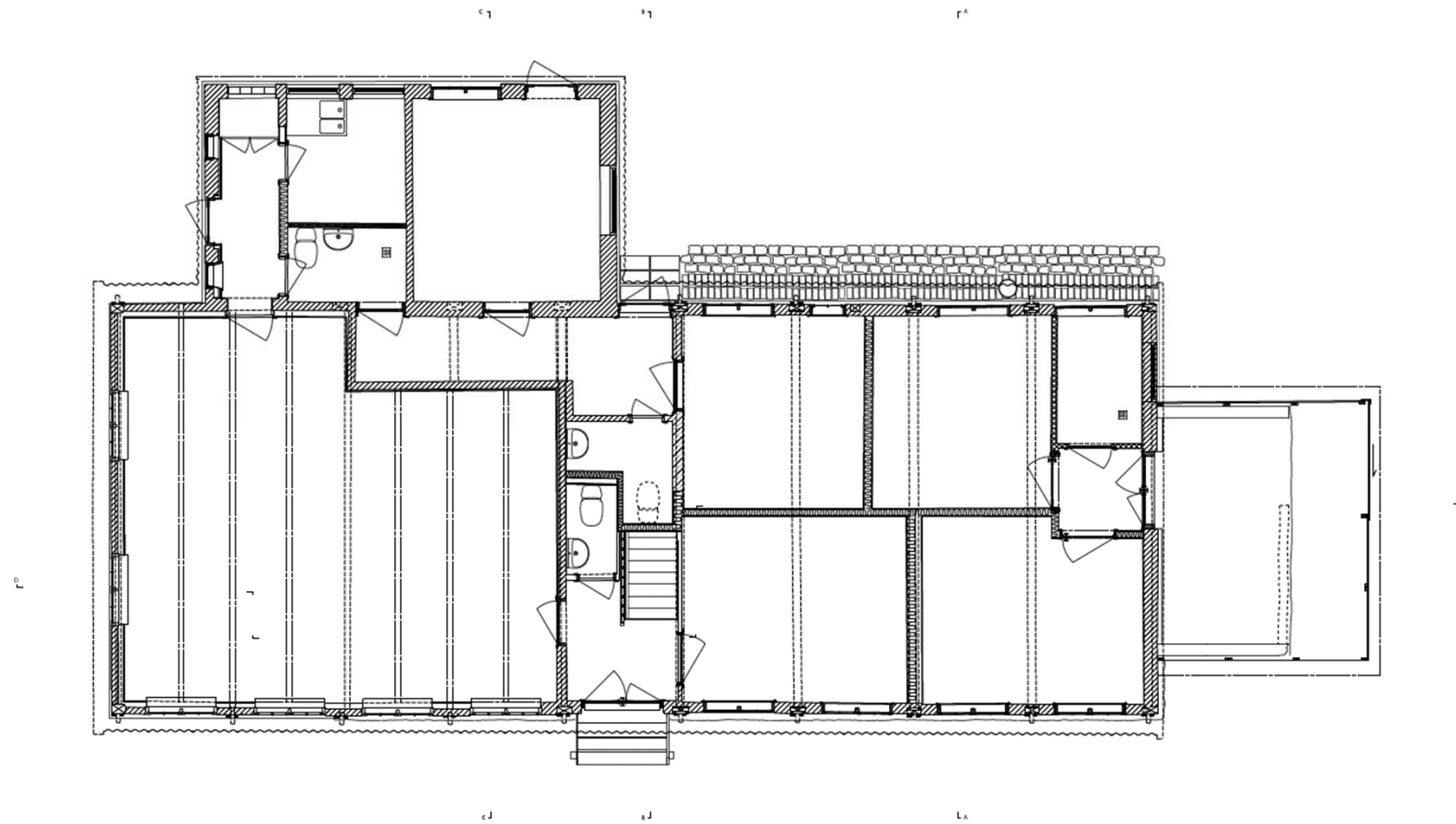
Start på opmålingen af Lærlingenes hus



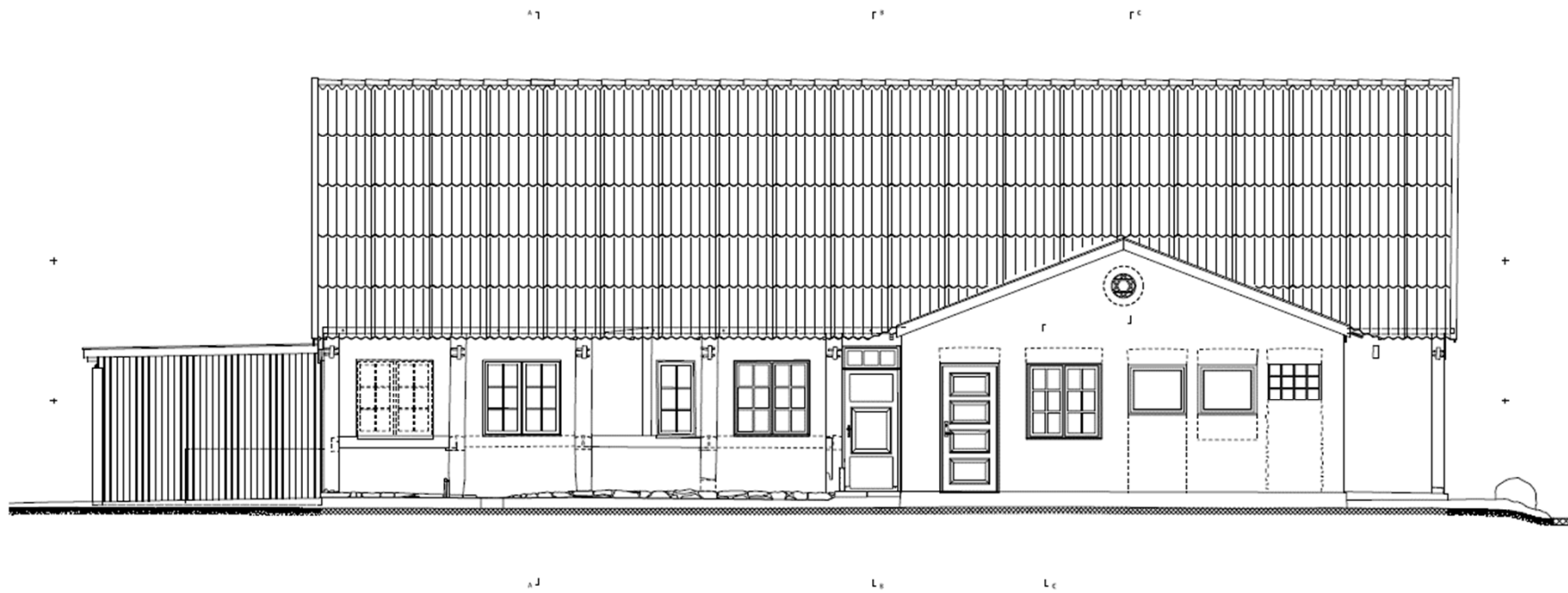
Alle dele af bygningen undersøges



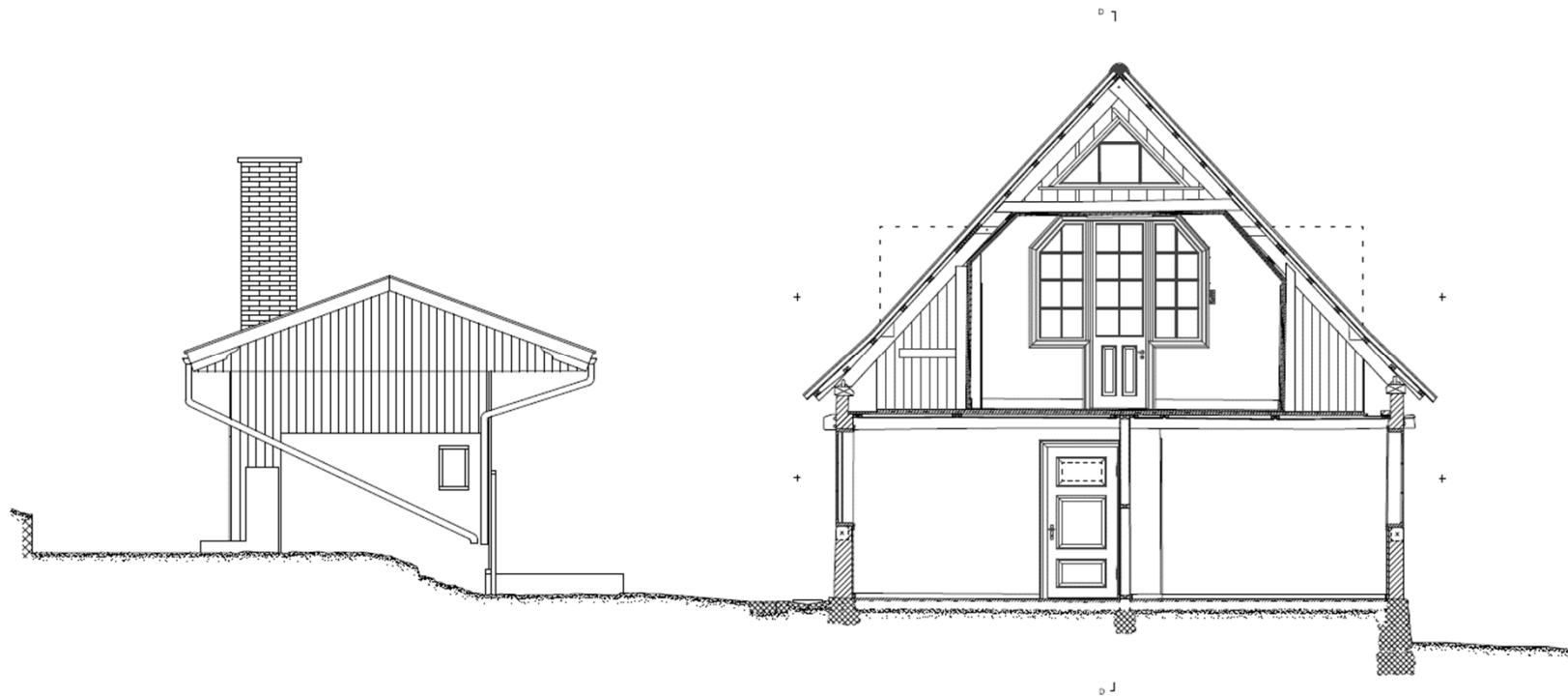
I. Etageplan 1:50



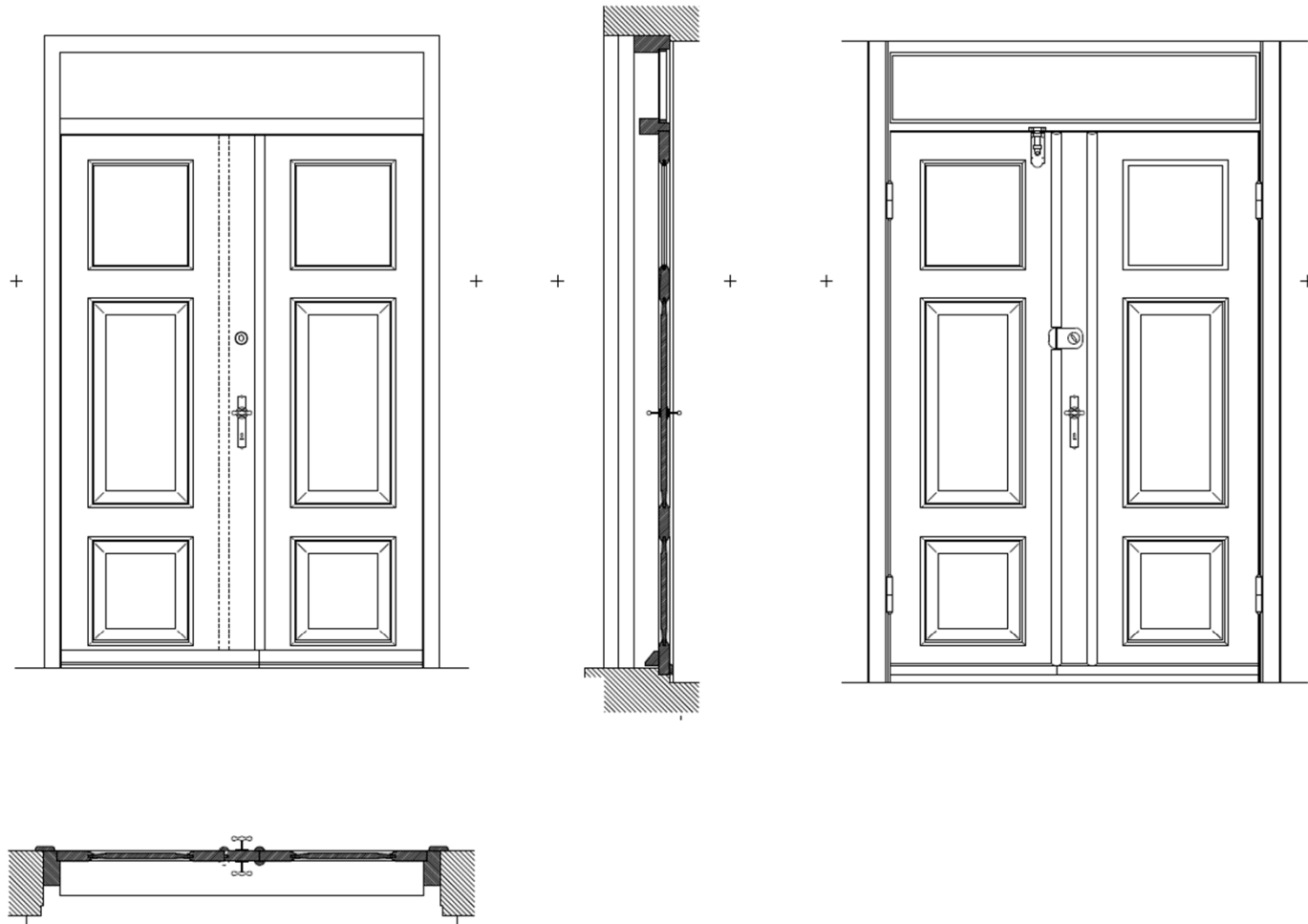
S-V opstalt 1:50



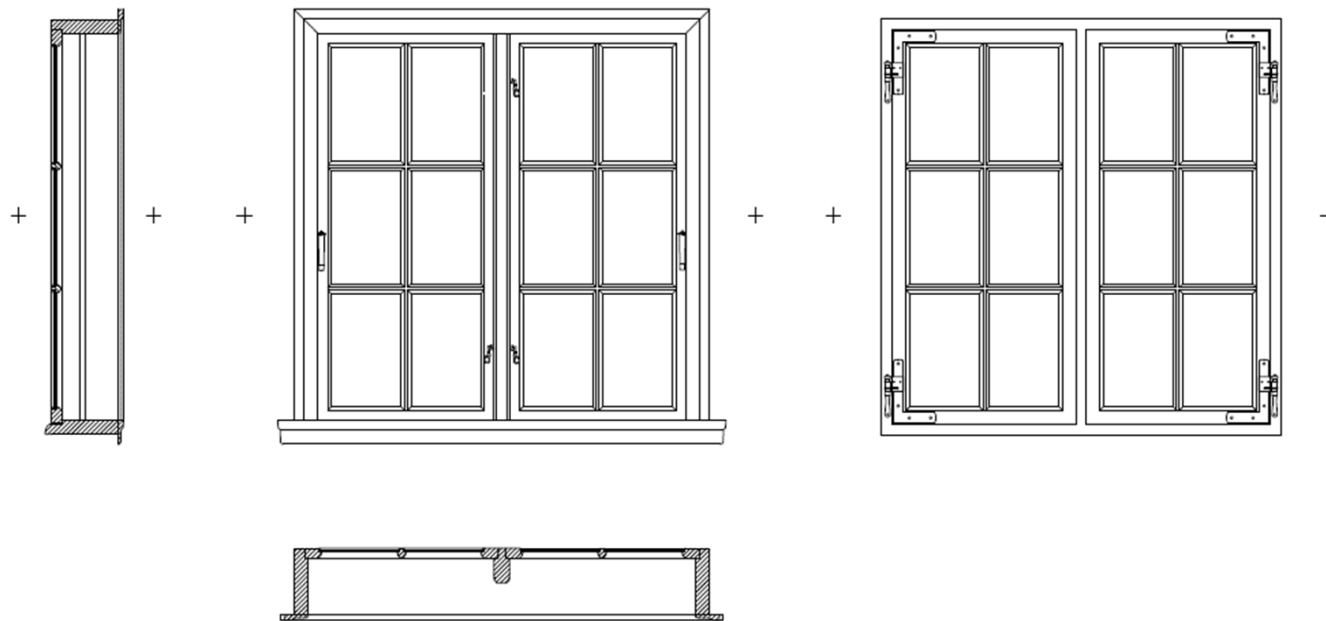
Tværsnit I:50



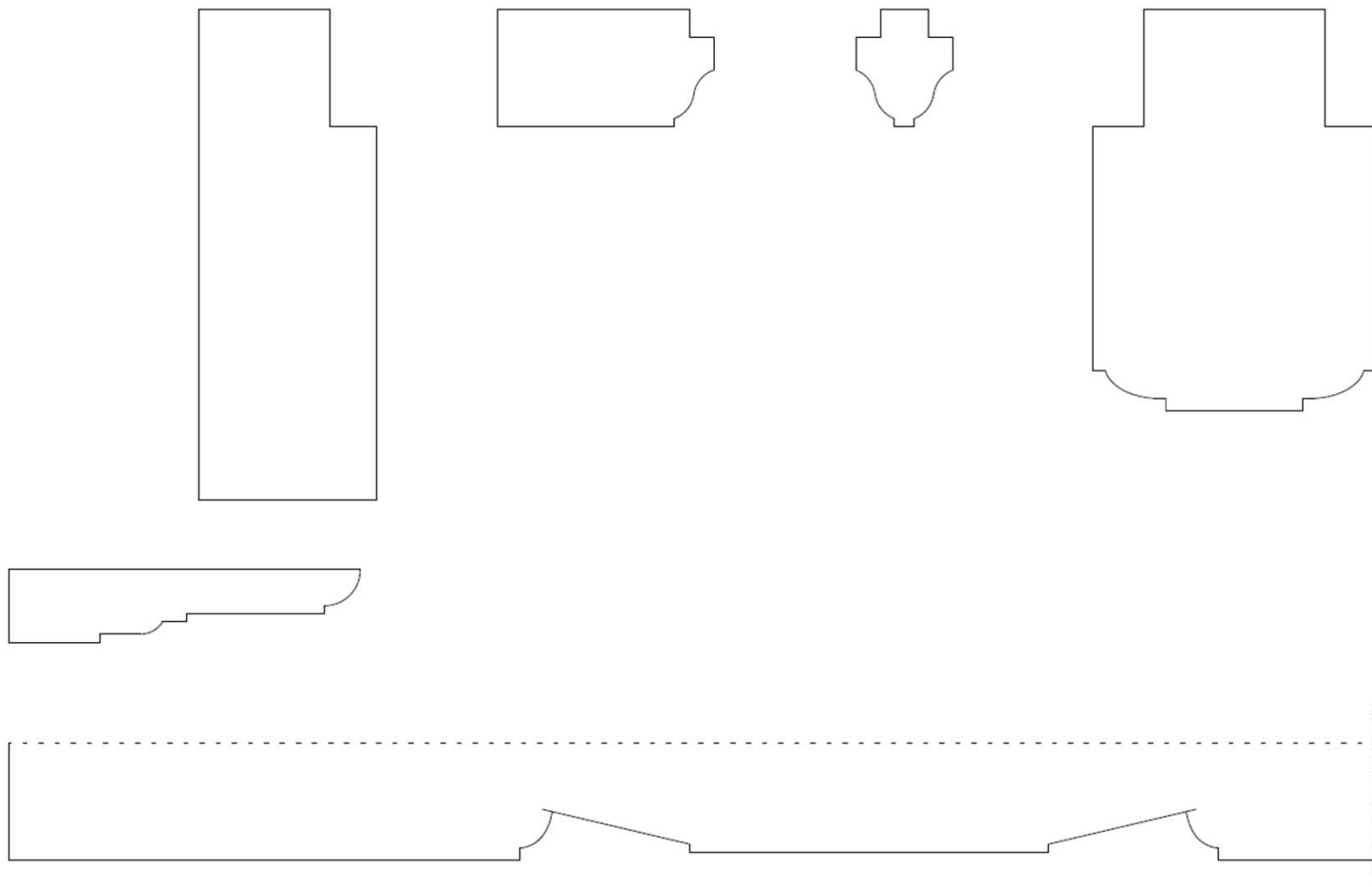
Hoveddør 1:10



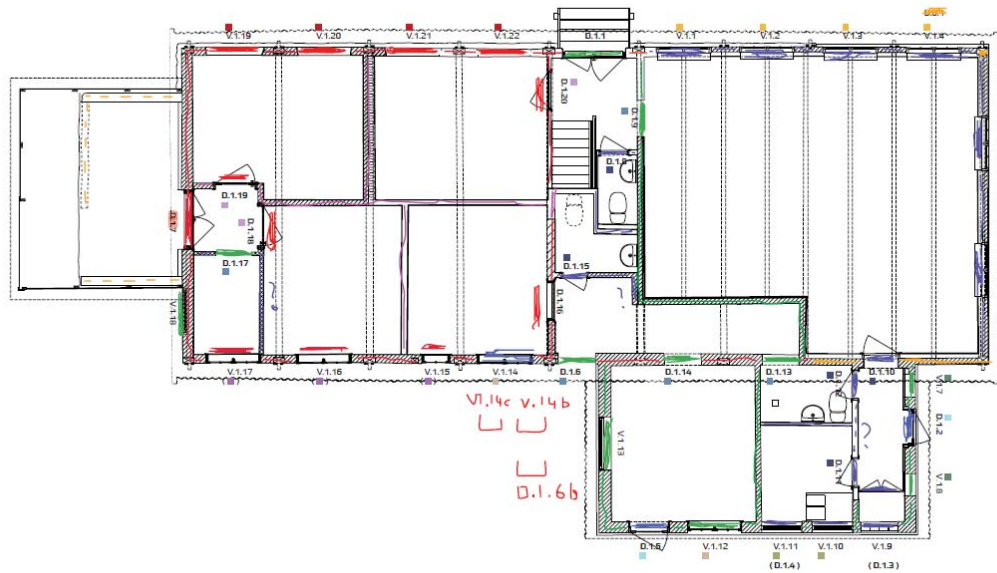
Vindue 1:10



Dør/vinduesdetaljer 1:1



Dør/vinduesskema



DØRSKEMA

FEBRUAR/MARTS 2019

Opmåling af Lærlingenes Hus

D.2.4	D.2.5	D.2.6	D.2.7
Fyldingsrøder 1920 / V 64 x 145 Kontrolbøjlet 2 fyldingsrøder	Fyldingsrøder 1920 / V 64 x 145 Kontrolbøjlet 2 fyldingsrøder	Endfløjet vinduesdør, anbygget med to vinduer 1900 / V 680 x 2260 Kontrolbøjlet 2 fyldingsrøder + 8 røder sidevinduer 2 x 8 røder	Fyldingsrøder 1920 / V 64 x 145 Kontrolbøjlet 2 fyldingsrøder

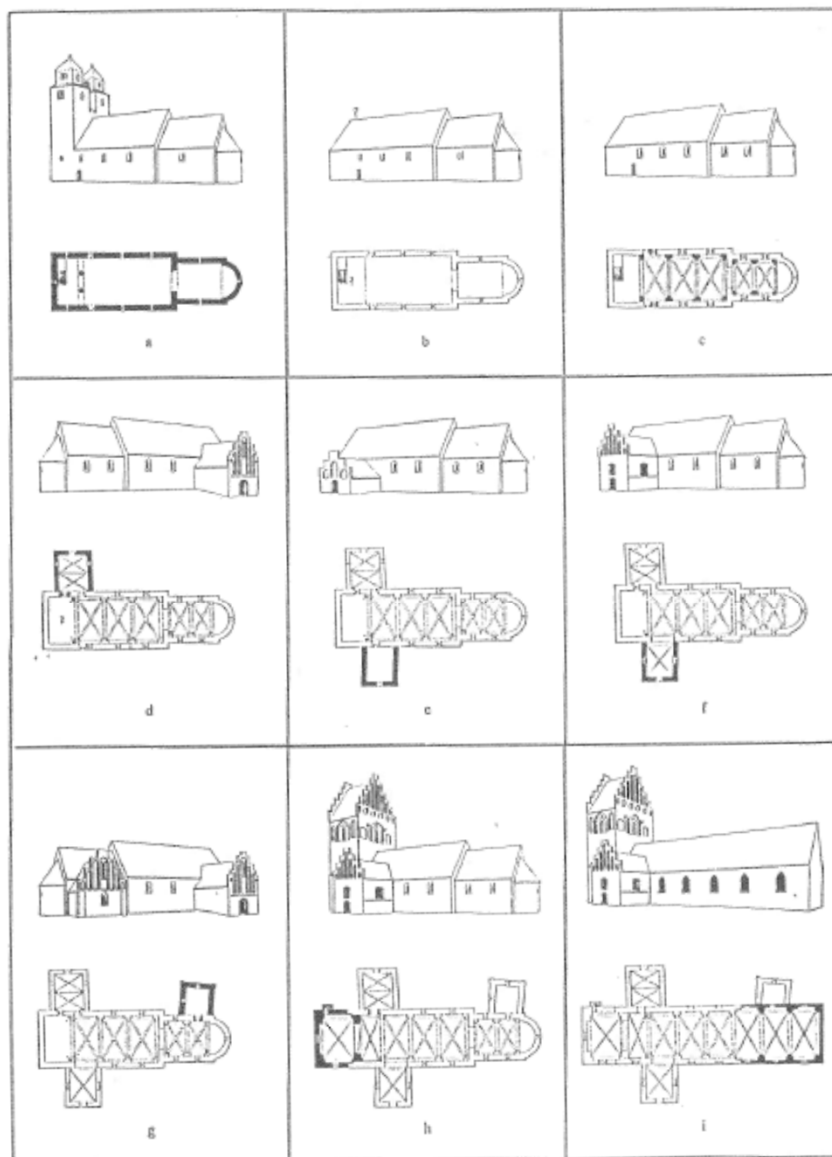
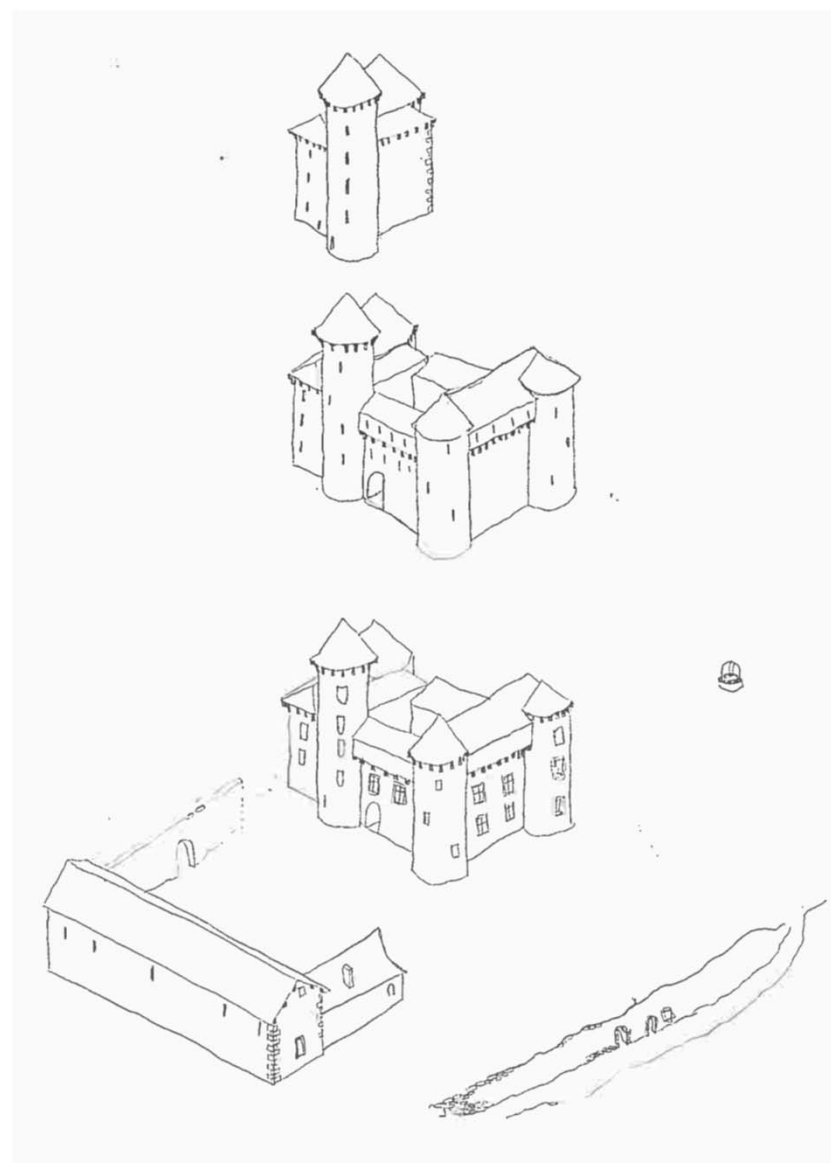


Fig. 10 a—i. Taarnby Kirke i forskellige Byggeperioder fra dens Opførelse til omkring Aar 1600.



1200-tallet

1400-tallet

Renæssance

Malerier af Martin Silberstein



Livscyklusanalyse

Livscyklusanalyse vurdere produkters eller produktsystemers miljøbelastning gennem hele livscyklus:

Udvinding af råmaterialer og fremskaffelse af naturressourcer

Fremstilling af produktet

Brugen af det, inklusive vedligeholdelse og reparation

Genanvendelse.

Livscyklusanalyse – hvad kan arkitekter bidrage med

Vægt/rumfang af alle de materialer der indgår i en nybygning eller istandsættelse/transformation af en bygning

Opmålingen giver rumfang af de forskellige bygningsdele som kan beregnes ud fra de to-dimensionale tegninger - når der er mange nok

Opmålingen giver kendskab til de materialer bygningen er opført af – og dermed kendskab til bygningsdele som skal skrotes

Den bygningsarkæologiske undersøgelse fastsætter historien og dermed hvilke dele af bygningen der er værd at bevare

Bygningsarkæologien fastslår omtrentlig alder på alle bygningsdele og kvalificerer derfor et bud på en forventet restlevetid

Bygningsarkæologien kombineret med den arkitektoniske vurdering bør kunne medføre en bæredygtigt projekt

Arkitekter kan bidrage med forslag til restaureringer, forslag til energiforbedringer og at begrænse indgreb – selvom det ligger lidt fjernt for de fleste arkitekter...

Vigtigt med samarbejde med ingeniører

Samarbejde med DTU nødvendigt for at få valide tal

Beregne energiforbrug medens bygningen er i brug

Fremtidens opvarmning bliver elektrisk fra fluktuerende energiforsyning. En akkumulatortank kan virke som vigtigt lager med mindre bygningen opvarmes med fjernvarme

DGNB og LCA fra Energistyrelse har ikke retvisende levetider og store problemer med traditionelle materialer – de skal beregnes forfra

Problem med de nyere tilføjelser vi ikke kan lide og umiddelbart vil smide ud...

Miljøbelastning af restaurering/renovering/transformation/total ombygning

En udfordring da ingeniører er meget interesseret i de ting vi bare smider ud – som grimme gipsvægge, asbesttage...

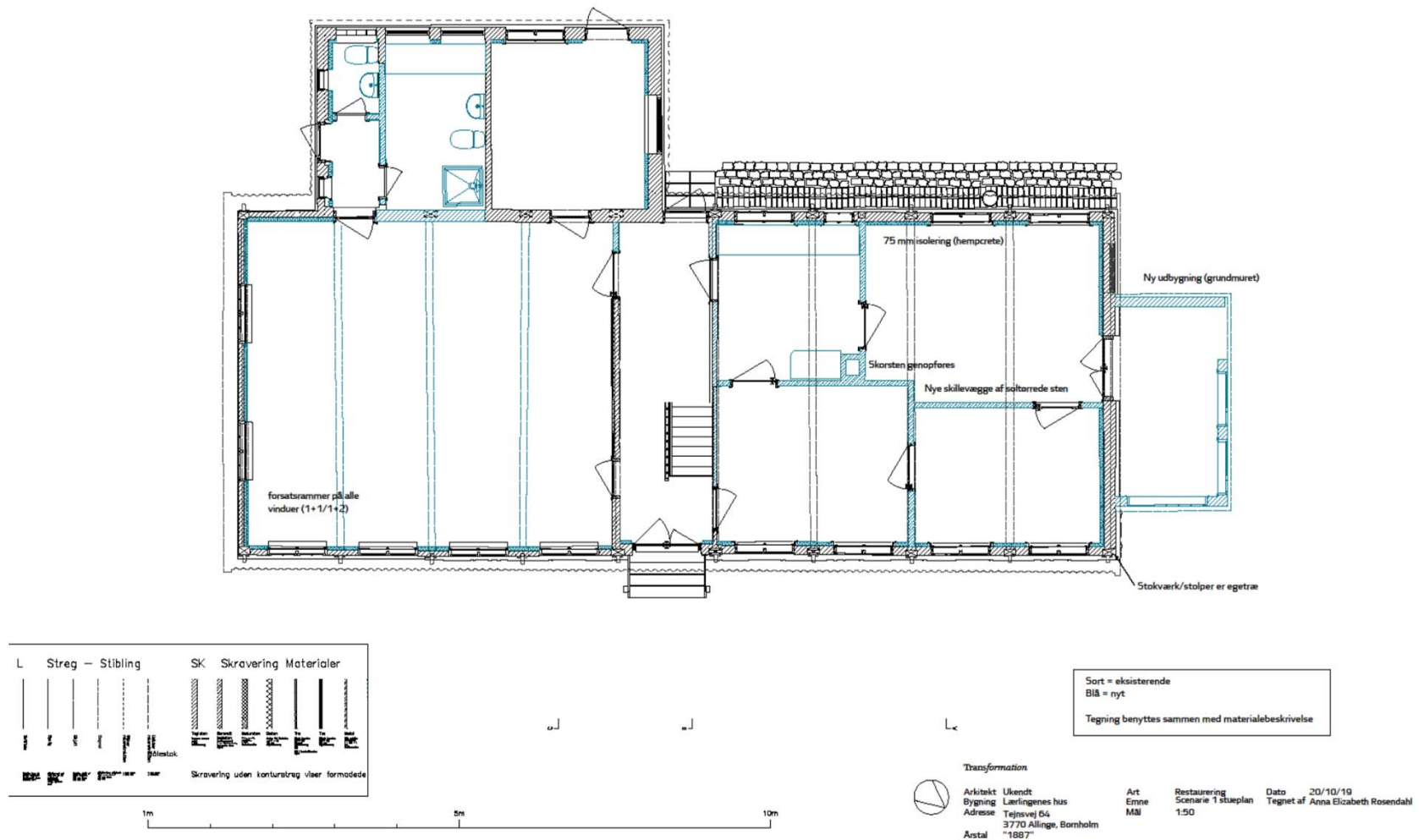
Resultatet af samarbejdet med DTU

Forårssemesterets samarbejde med DTU – fortsættes her i efterårssemesteret...

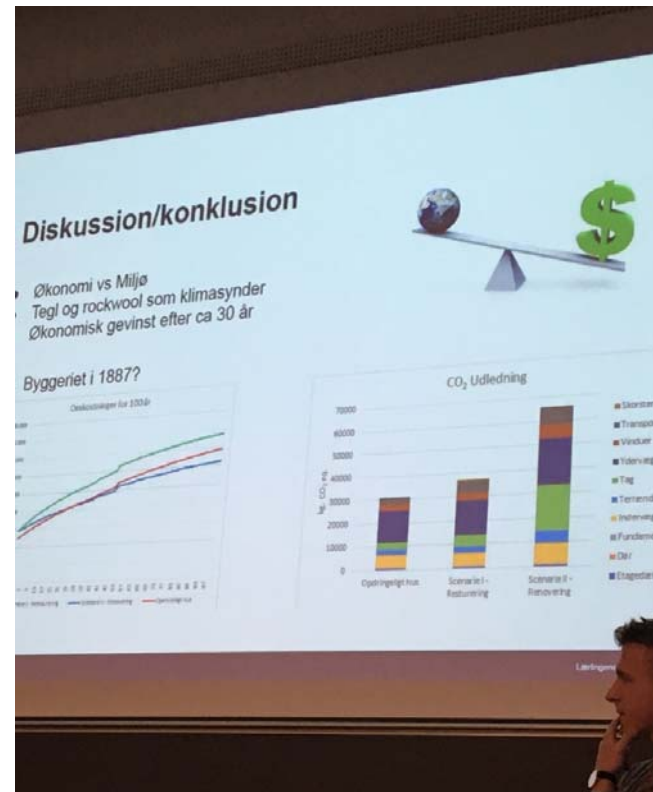
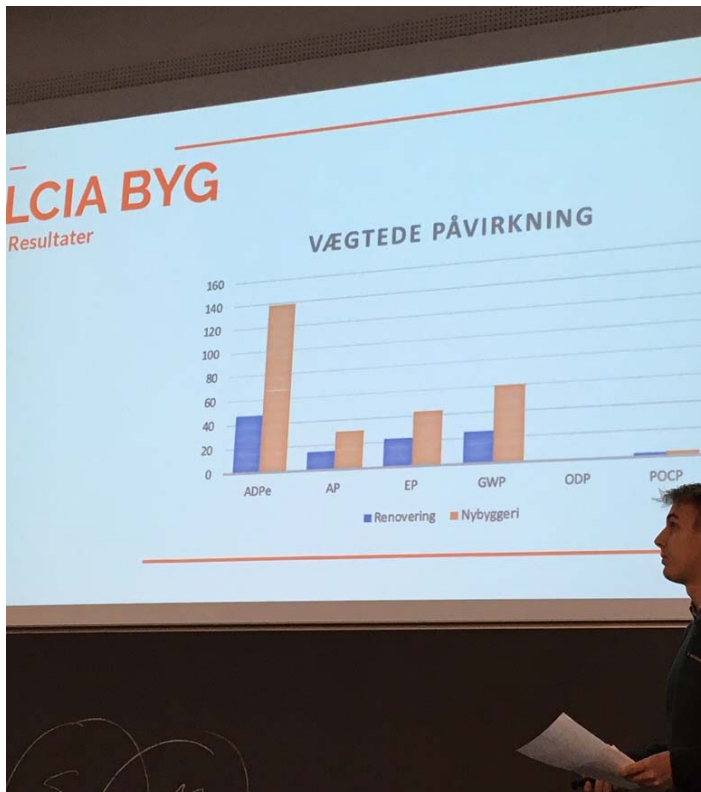
Efterårssemesteret – forhåbentlig fortsættelse af samarbejde...

DTU, Livscyklusanalyse, Scenarie I

Restaurering, som hvis bygningen havde været fredet



DTU LCA analyse



Fordele og ulemper ved LCC Byg

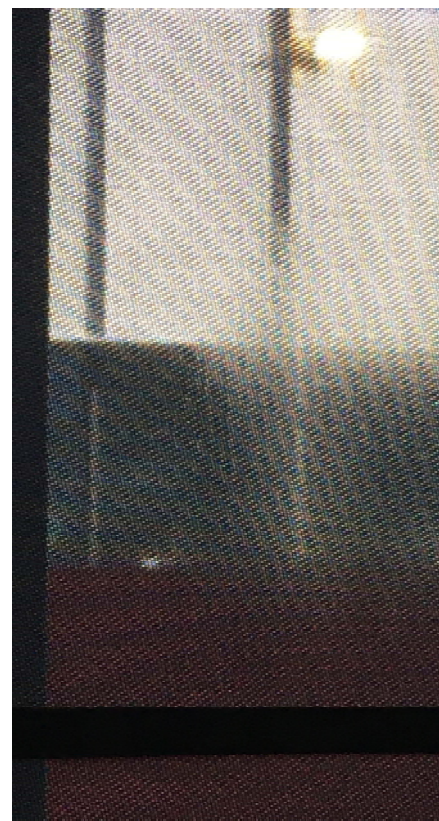
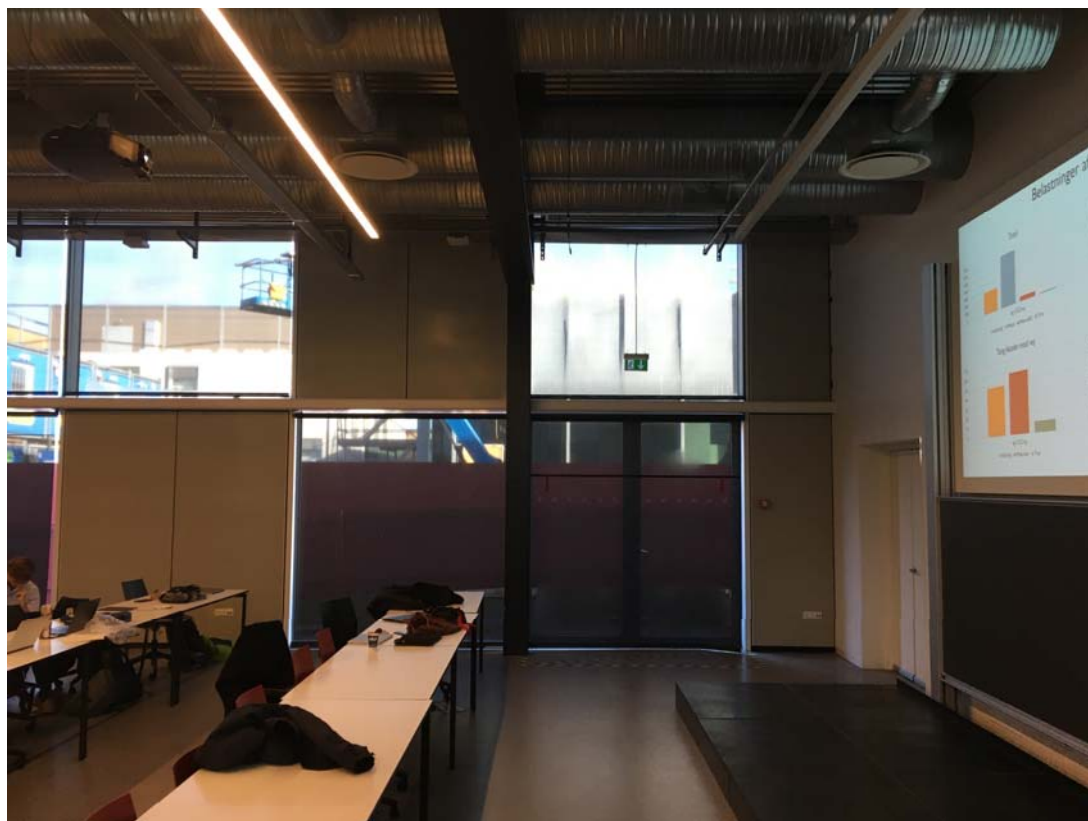
Fordele:

- Kan bruges tidligt i forløbet
- Kan hurtigt få et resultat ud
- Intuitivt

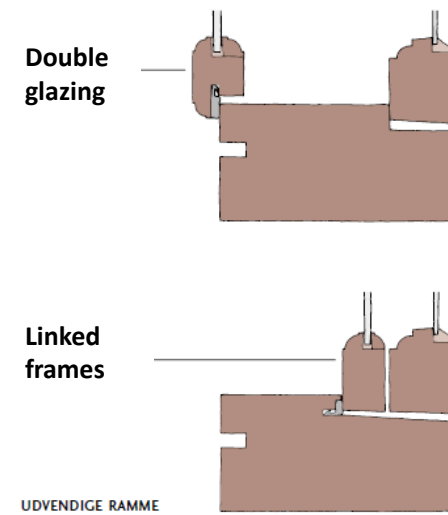
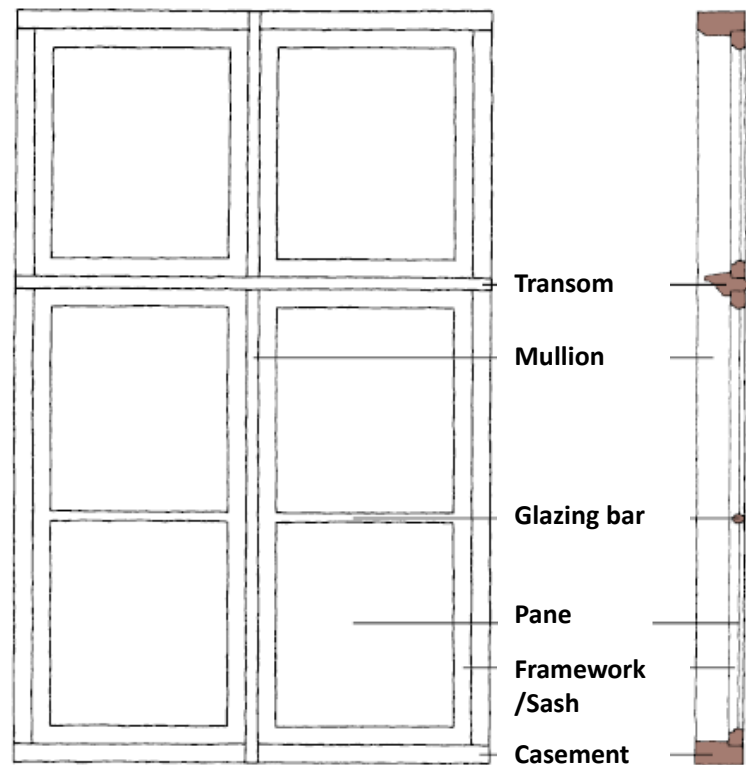
Ulemper:

- Skal laves meget forenklet
- Tager ikke højde for ældre byggeskik
- Mange beregninger for at få præcist resultater
- Kan ikke tage højde for genbrug

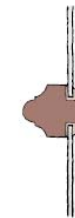
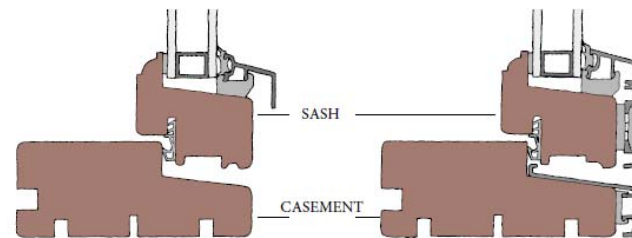
Auditorium på DTU; præger omgivelserne måden at tænke på?



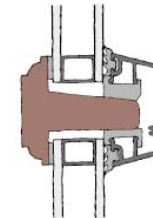
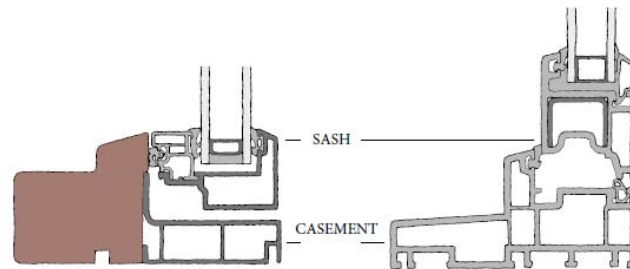
Description of a traditional window



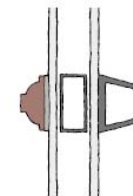
Typical sealed units/thermal pane windows



ORIGINAL
WOODEN
GLAZING BAR

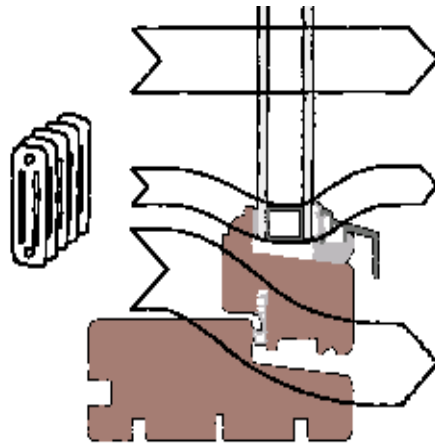


THROUGH/
CONTINUOUS
GLAZING
BAR



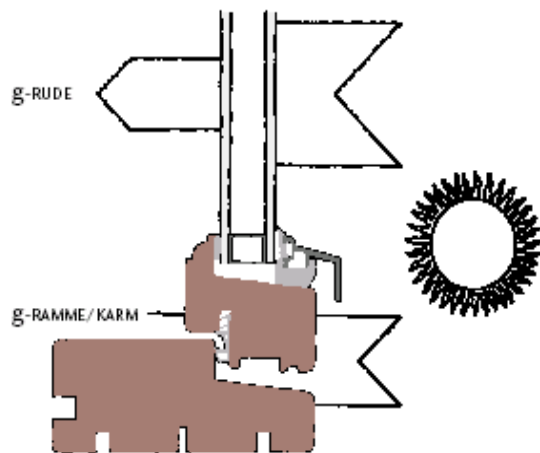
FAKE/ENERGY
GLAZING
BAR

Energy flow through windows

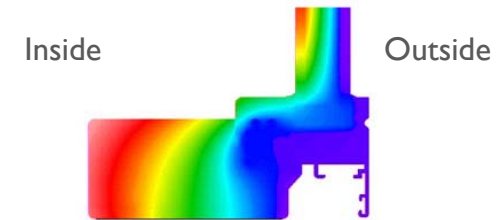
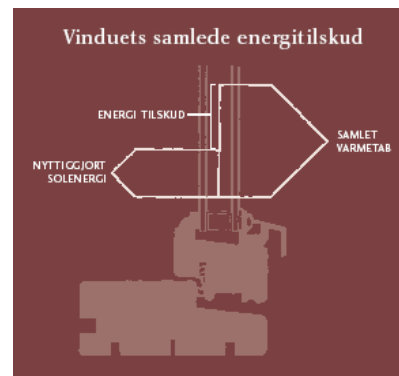


Energy loss through the whole window

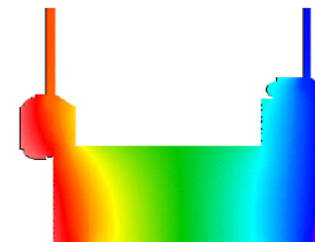
“Free” sun energy through the panes in heating season



Energy balance for the whole window



Wood-aluminium window with double glazed low-e thermal panes $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ The green/azure colour indicates a thermal bridge



Old wooden window energy-improved with one inner secondary E-glass. There is red = warm temperature at the inside

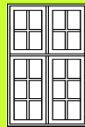
Definition af energibalance i Danmark

Dansk standardhus: 41 % af vinduerne er mod syd, 33 % mod øst/vest og 26 % mod nord

$$E_{\text{Tilskud}} = 0,7 \times 281 \times g \div 90 \times U$$

Da ca. 40 % af al energiforbrug i Danmark bruges i bygninger og omkring 1/3 tabes gennem vinduer har det stor betydning for vores samlede energiforbrug

Skema over energiforhold for typiske nye og gamle vinduer i Danmark

Oversigt over typiske vinduesstørrelser og opdelinger som kan give et hurtigt og rimeligt overblik over energiforhold i forhold til lovgivningen og laveste varmetab																																							
Dannebrogsvinduer i størrelsen 1,23 x 1,48 cm (CEN produkt standard)								Dannebrogsvin-duer 1,23 x 1,48 m								To-rammet vindue 1,18 x 1,18 m								To-rammet vindue 1,18 x 1,18 m								Et-rammet vindue 1,23 x 1,48 m							
U-værdi er mål for hele vinduets varmetab g-værdi er mål for gratisvarme fra solen Energibalance er mål for det samlede varmetab				U W/m²K	g %	Energi- balance kWh/m² år	U W/m²K	g %	Energi- balance kWh/m² år	U W/m²K	g %	Energi- balance kWh/m² år	U W/m²K	g %	Energi- balance kWh/m² år	U W/m²K	g %	Energi- balance kWh/m² år	U W/m²K	g %	Energi- balance kWh/m² år	U W/m²K	g %	Energi- balance kWh/m² år	U W/m²K	g %	Energi- balance kWh/m² år												
B: Nyt Bøjse koblet vindue, 1+2				1,38	0,30	-64,7	1,38	0,34	-58,4	1,38	0,34	-57,0	1,35	0,32	-59,4	1,35	0,35	-53,8	1,35	0,37	-50,2							3,0											
D: Traditionelt/nyt vindue med forsats energirude med to energibelægninger (1+2 lag glas)				0,94	0,30	-25,6	0,94	0,33	-20,5	0,94	0,34	-18,2	0,97	0,32	-25,3	0,97	0,34	-20,7	0,97	0,36	-17,8	1,03	0,42				-9,8												
D: Traditionelt/nyt vindue med forsats energirude (1+2 lag glas)				1,42	0,29	-70,7	1,42	0,32	-65,6	1,42	0,33	-63,5	1,37	0,31	-63,5	1,37	0,33	-59,0	1,37	0,34	-56,2	1,25	0,42				-31,0												
D: Traditionelt/nyt vindue med forsats energiglas (1+1, 4 mm tykt energiglas)				1,66	0,42	-67,2	1,66	0,46	-60,1	1,66	0,47	-57,7	1,68	0,44	-65,6	1,68	0,47	-59,3	1,68	0,49	-55,4	1,77	0,58				-45,6												
D: Traditionelt/nyt vindue med forsats energiglas (1+1, 6 mm tykt glas for 44 dB lyddæmpning)				1,64	0,41	-67,0	1,64	0,45	-60,1	1,64	0,46	-57,8	1,67	0,43	-65,9	1,67	0,46	-59,7	1,67	0,48	-55,8	1,77	0,57				-46,8												
D: Traditionelt/nyt vindue med koblet Opto energiglas (1+1, 4 mm tykt energiglas)				1,74	0,42	-75,1	1,74	0,46	-68,0	1,74	0,47	-64,9	1,74	0,44	-70,7	1,74	0,47	-64,4	1,74	0,49	-60,5	1,73	0,58				-41,9												
B: Nyt Bøjse koblet vindue, 1+1 energiglas				1,73	0,39	-79,9	1,73	0,43	-71,9	1,73	0,44	-70,1	1,73	0,41	-76,5	1,73	0,44	-69,5	1,73	0,46	-64,9						-41,0												
B: Nyt Bøjse vindue, 1,1 energirude, varm kant				1,88	0,30	-110,0	1,65	0,36	-78,2	1,59	0,37	-70,5	1,88	0,31	-108,5	1,68	0,36	-80,7	1,55	0,40	-61,8						-32,0												
F: Nyt Rational Forma Basic træ vindue, tolags energirude 1,21, falsk sprosse/ingen sprosse, varm kant				1,54	0,34	-72	1,45	0,39	-53	1,43	0,40	-50										1,32					-13,2												
F: Nyt Rational Forma Premium træ vindue, trelags energirude 0,53, falsk sprosse/ingen sprosse, varm kant				1,09	0,25	-48	0,99	0,29	-33	0,97	0,30	-30										0,78					6,5												
G: Velfac classic træ/alu, to lags energirude, 1,21, falsk sprosse/ingen sprosse, varm kant				1,61	0,35	-76,7	1,46	0,39	-54,5	1,42	0,40	-49,5	1,62	0,38	-71,8	1,48	0,41	-53,4	1,39	0,43	-41,0	1,31	0,54				-12,3												
G: Velfac classic træ/alu, to lags energirude, 1,21, falsk sprosse/ingen sprosse, varm kant, lydrude						0,0			0,0			0,0			0,0			0,0			0,0	1,29	0,53				-11,9												
G: Velfac classic træ/alu, tre lags energirude, 0,53, falsk sprosse/ingen sprosse, varm kant				1,09	0,25	-48,5	1,04	0,29	-37,8	1,02	0,29	-34,9	1,06	0,28	-41,7	1,00	0,30	-32,1	0,97	0,31	-26,2	0,80	0,39				4,7												
G: Velfac classic træ/alu, tre lags energirude, 0,53, falsk sprosse/ingen sprosse, varm kant, lydrude						0,0			0,0			0,0			0,0			0,0			0,0	0,84	0,39				1,1												
D: Traditionelt vindue med "gammeldags" forsatsglas (1+1 lag glas) - anvendt siden 1731!				2,32	0,43	-124,9	2,32	0,47	-117,7	2,32	0,48	-116,0	2,36	0,45	-124,8	2,36	0,48	-118,4	2,36	0,50	-114,3	2,52	0,60				-110,3												
D: Traditionelt vindue kun et lag glas				4,46	0,41	-307,3	4,46	0,53	-299,1	2,32	0,48	-299,1	4,58	0,51	-313,4	4,58	0,55	-306,2	4,58	0,49	-301,6	4,99	0,68				-318,6												

Bygningsreglement i Danmark I

§ 250

Bygninger skal projekteres, udføres, ombygges og vedligeholdes, så unødvendigt energiforbrug til opvarmning, varmt vand, køling, ventilation og belysning undgås, under hensyn til bygningernes anvendelse og omfang af byggearbejdet.

Denne første paragraf er let at forstå og har et helt klart formål ikke mindst set i lyset af de alvorlige udfordringer med global opvarmning. Des mere vi begrænser energiforbruget, des lavere er behovet for energi.

§ 251

Bygninger skal projekteres, udføres, ombygges og vedligeholdes, så energibehovet ved beregning ikke overstiger energirammen, der omfatter bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand og belysning. Tilført energi fra forskellige energiforsyningsformer sammenvejes ved brug af energifaktorerne i §§ 252 og 253. Eftervisning skal ske på grundlag af SBI-anvisning 213 Bygningers energibehov.

Stk. 2. For tilbygninger, ændret anvendelse, ombygninger, midlertidige flytbare pavilloner og sommerhuse kan bestemmelserne i §§ 267-292 anvendes som alternativ til energirammen.

§ 251 pointerer at energiforbruget i en bygning ikke må overstige forbruget som beregnet i energirammeberegningen. Dette er igen en meget klar og logisk regel og det virker derfor oplagt at man skal bruge data for det aktuelle vindue i den aktuelle bygning og ikke data for et referencevindue. Man er altså nødt til at kende de rigtige data for at kunne udføre en korrekt energirammeberegning og det taler for at man selvfølgelig burde kunne få disse data før man bestiller sine vinduer.

Bygningsreglement i Danmark II

Beregningen foretages for et enkeltfags oplukkeligt referencevindue på 1,23 m x 1,48 m. Energitilskuddet E er et relevant udtryk til at sammenligne forskellige vinduers ydeevne i opvarmningssæsonen. Med hensyn til gener af solindfald og eventuel overophedning om sommeren må der eventuelt foretages en særskilt vurdering heraf.

Selvom E er baseret på nyttiggørelsen af solenergitransmissionen gennem vinduer i et enfamiliehus, anvendes E også til sammenligning mellem vinduer ved udskiftning i andre bygninger end boliger. Dette gælder ikke sommerhuse, da de ifølge bestemmelser i planloven kun benyttes kort tid i opvarmningssæsonen.

Problemet er at man skal benytte et referencevindue med kun en ramme som slet ikke er retvisende for andet end vinduer med kun en ramme. Tilmed skal man kun benytte producenternes standardruder ligegyldigt hvilke ruder man faktisk bruger! Dette skyldes formentlig at energiforholdene ændres markant som følge af vinduesudformningen og om man anvender lyd- eller solafskærmede ruder.

Tilmed gælder reglen kun for vinduer med energiruder og altså ikke for forsats- eller koblede vinduer hvor reglerne er helt anderledes.

Bygningsreglement i Danmark III

Bilag 2: Tabeller til kapitel 11 - Energiforbrug

Tabel 1 - Generelle mindstekrav til klimaskærm

For porte og lemme mod det fri eller mod rum, der er uopvarmede samt glasvægge og vinduer mod rum opvarmet til en temperatur, hvor temperaturforskellen mellem rummene er 5 °C eller mere

U-værdi 1,80 [W/m²K]

Som det ses er der ingen minimumskrav til vinduer mod det fri, men kun til vinduer inden i bygninger. Det er meget svært at se at denne regel kan have nogen mening i praktisk – og den har været i Bygningsreglementerne gennem flere år

Bygningsreglement i Danmark IV

Renoverede forsatsvinduer er vinduer, der demonteres, renoveres og genmonteres i en anden bygning. Udtagning af vinduer for arbejde, der kan sidestilles med løbende vedligeholdelse som for eksempel malerbehandling, kitning og reparation, er i denne sammenhæng ikke et renoveret vindue, hvis vinduerne genmonteres i samme bygning.

Der er ikke krav til den energimæssige ydeevne af forsatsrammer, der monteres på eksisterende, blivende vinduer.

Dette er en meget udsædvanlig definition på et renoveret vindue og undertegnede kender ikke til eksempler på at det har været anvendt i praksis. Det vil kræve at man kan finde en bygning med vindueshuller der nøjagtigt passe med disse renoverede vinduer - og det anses ikke for muligt. Formodentlig vil den slags vinduer kun kunne anvendes i en ny bygning – hvor man skal benytte kravene for et referencevindue. Endelig burde det kaldes genanvendte og ikke renoverede vinduer.

Paragraffen fortsætter med at der ikke er nogen krav til et renoveret vindue der forbliver i bygningen – selvom det vil være det mest oplagte og billigste måde at nedsætte energiforbruget markant.

Tilmed et det muligt at opnå langt det laveste energiforbrug hvis forsatsrammer forsynes med energiruder med to belægninger.

Konklusion omkring Bygningsreglementer

Ingen af Bygningsreglementerne i de Nordiske lande oplyser om det store energibesparelspotentiale der ligger i at vælge de rigtige vinduer, specielt for opdelte vinduer som vinduer i den eksisterende bygningsmasse.

Ingen af Bygningsreglementerne i de Nordiske lande kræver beregning af det faktiske energitilskud, altså energitab og gratisvarme, for de faktiske vinduer der anvendes i det faktiske byggeri. De indgår dog indirekte i de danske og svenske Bygningsreglementer gennem energirammeberegningerne – men her står varmetab og varmetilskud adskilte så der er svært at få et samlet overblik.

Kombineres den enkle regel i det finske Bygningsreglement “Hvis gamle vinduer og yderdøre bliver repareret, skal isoleringsevnen forbedres hvor det er muligt”, med en troværdig energiberegner, kunne man både spare store mængder energi, materialer til nye vinduer samt bevare bygningskulturen.

Life cycle analyses of windows

