

ABSOLUT BÆREDYGTIG PLASTIK

Jerry René Petersen

Line S W Bruus

19. dec 2022

TMP - 3

Arkitekturens Teknologi

Institut for Bygningskunst Og Teknologi

Det Kongelige Akademi



Titelblad

Udarbejdet af	Jerry René Petersen Line S. W. Bruus
E-mail	jepe2175@edu.kglakademi.dk libr2167@edu.kglakademi.dk
Uddannelsessted	Det Kongelige Akademi - Arkitektur, Design, Konservering
Studie	Kandidatgrad - Arkitekturens Teknologi
Årgang / Klasse	3. semester, KA2 - F22
Fag	Tegning, Model og Produktion 3
Titel på rapport	Hvordan kan plast blive absolut bæredygtigt?
Case	Semesterprojekt, Plast
Pædagogisk fagvejleder- og underviser	Olga Popovic Larsen
Antal sider total	12
Antal normalsider (å 2400 anslag)	8.3
Antal anslag (med mellemrum)	19.930
Afleveringsfrist	19-12-22

ABSTRACT.....	1
1.0 INDLEDNING	1
2.0 PROBLEMFELT OG FORMULERING	1
3.0 TO BÆREDYGTIGE TILTAG.....	2
3.1 "CARBON CAPTURE STORAGE AND UTILIZATION"	2
3.2 GENANVENDELSE	4
4.0 DISKUSSION: BÆREDYGTIG PLASTIK.....	7
5.0 KONKLUSION	8
6.0 PERSPEKTIVERING	8
7.0 REFERENCER	9

ABSTRACT

This report investigated the potential for plastic within an absolute sustainable context. With the presentation of political ambitions for CO₂ reduction via new arising technologies and with the scrutiny of state-of-the-art publications and the latest statistics. This report arrives at the conclusion that plastic can become highly sustainable, but not absolute. Furthermore, this report underpins the unsustainable system that is common today.

In our findings we bring forth an introduction to the technology of Carbon Capture Storage and Utilization (CCS/CCU). Furthermore, we look into the emission from top of the Danish industry and powerplants summing up to 15 million tons of CO₂. This creates a huge market in Denmark and on a global scale it could be as much as 21. Billion ton. Our finding then goes deeper into the system of recycling of plastic in Denmark.

We then activate our findings to discuss a "Model of the future circular plastic recycling system" from SDU. Thereby we can conclude this report with a statement and an illustrative model of the prerequisite for a sustainable recycling system of plastic. Where new virgin material is exclusively used for the highest quality of plastic and much more developed sorting system is set in place.

1.0 INDLEDNING

Denne rapport undersøger plastens potentiale for indgå i et absolut bæredygtigt system. Metodisk der er søgt information i videnskabelige tidsskrifter, informations/nyhedsmedier, partiprogrammer og statistikker fra ministerier mm.. Dette har til hensigt at skabe et bredt vidensfundament inden der til sidst konkluderes at plast højst kan indgå i et relativt bæredygtigt system. Samtidigt fremhæves det at forudsætningen for en bæredygtig plastproduktion, beror på en at der kun udvindes det højst nødvendige jomfrueligt materiale og at der derefter kun produceres plast i den højeste kvalitet. En øget sorteringsgrad vil medføre en højere kvalitet ved genindvinding. Efter at have været genanvendt flere gange vil plasten til sidst blive brændt, hvorved CCU (carbon capture utilization) vil resultere i ny plast.

For at konkludere dette undersøges og beskrives teknologierne for raffinering af CO₂ kaldet "Carbon Capture Storage og Utilization, CCS/CCU. Derefter fremlægges de etablerede sorteringsystemer og mængder for genanvendelse af plast. Med dette udgangspunkt diskuteres SDU's model for fremtidens cirkulære plastsystem hvorefter vi ankommer til konklusionen.

2.0 PROBLEMFELT OG FORMULERING

I tiden efter Anden Verdenskrig faldt prisen på olie og igangsatte et boom inden for udviklingen af plast (Jeska, 2008). Udviklingen var revolutionerende for det moderne samfund i en sådan grad, at plast i dag er et uundværligt materiale.

Plast er særdeles holdbart, og det formodes at have en levetid på årtier, sågar århundreder i naturen (Parker, 2019). Problemet opstår, når brugs-levetiden går fra år til timer – eller endda minutter – grundet en smid væk-kultur. Det gælder især plast brugt til madvarer, plastikposer eller lignende. Denne gruppe udgør 40% af den årlige produktion af plast i verden (Parker, 2019). Med en årlig produktion på 448 millioner tons (2015) og en forventet fordobling i 2050, så er plastaffald et reelt, massivt affaldsproblem. Ydermere vil udledning fra plastproduktion udgøre 15% af den budgetterede karbonudledning i 2050, hvis global opvarmning skal holdes under 1,5 grader (DeWeerd, 2022). Der er altså brug for radikale, bæredygtige tiltag for at vende udviklingen. I artiklen "*Plastic's messy end-game*" (DeWeerd, 2022) understreger André Bardow, kemisk ingeniør hos ETH Zurich, at hvis mængden af ny plast produceret hvert år stiger som forventet indtil år 2050, så vil ingen bæredygtig løsning være tilstrækkelig.

Ifølge plastindustrien selv er plast et bæredygtigt materiale, dog er vores nuværende brug af plast ikke bæredygtigt. I dette spændingsfelt finder vi en række problematikker i forbindelse med sortering, genbrug og genanvendelse. Med denne indramning formuleres vores problem således: Hvordan kan plast blive absolut bæredygtigt?

3.0 TO BÆREDYGTIGE TILTAG

Afsnittet vil redegøre for genindvinding. Herefter undersøges fordele og ulemper ved genindvinding. Dette afsnit omhandler udelukkende termoplast.

3.1 "CARBON CAPTURE STORAGE AND UTILIZATION"

Under den seneste valgkamp i den danske regering var klimaet og dermed også Co2-udledning på dagsordenen hos stort set alle partier. For eksempel skriver enhedslisten i deres klimaplan at: *Med Enhedslistens klimaplan vil Danmark være på en kurs, hvor vi i 2040 ikke udleder flere drivhusgasser, end vi kan optage. Energifaalen fra 2018 og andre, mindre tiltag reducerer Danmarks CO2-udledninger frem mod 2030 med **ti millioner ton**. Enhedslistens tiltag vil yderligere reducere Danmarks klimabelastning med over **21 millioner ton**. Hvis den gennemføres, vil de danske CO2-udledninger være mere end halveret i 2030 i forhold til i dag*" (Enhedslisten, 2022) På den anden fløj finder vi Liberal Alliance hvor formanden udtaler: *"Klimakrisen skal løses af markedet og teknologien (Information, 2022)."* I deres klimaplan, pkt. 6 *"Teknologi skal være drivkraft"* skriver de blandt andet: *"Det er svært at se en CO2 neutral cementproduktion i en nær fremtid. Skal vi som samfund nå netto CO2 neutralitet, bliver vi altså nødt til at have kompenserende teknologier. Det kan ske ved at opfange og lagre CO2. Der bliver investeret massivt i CCS- og CCU- teknologier i de kommende år, og forhåbentligt kan prisen bringes ned på et bæredygtigt niveau."*

Med disse to uddrag sættes rammen for den totale reduktion og et specifikt tiltag: Der er enighed om at CO2 udledningen skal reduceres og at udfordringen er massiv. På venstrefløjen formuleres det med at udledningen af CO2 ikke må være højere end optaget og højrefløjen peger her på CCS og CCU (Carbon capture storage/ Utilization) som direkte løsninger.

Særligt CO2 udledningen ved cementproduktion har stor offentlig og politisk bevågenhed da Aalborg Portland er Danmarks største udleder af CO2. De udleder tæt på 14 gange mere end 2. pladsen på listen og 2,7 gange så meget som 2.-9. pladsen tilsammen. (DR, 2020)

Top 10 største CO2-udledere i dansk industri (udledning 2018):

1. Aalborg Portland: 2.190.706 ton CO2
2. Nordic Sugar: 157.417 ton CO2
3. Arla: 151.451 ton CO2
4. Saint Gobain (Isover og Leca): 112.464 ton CO2
5. Rockwool: 97.005 ton CO2
6. NLMK DanSteel: 79.972 ton CO2
7. CP Kelco: 73.876 ton CO2
8. AarhusKarlshamn: 56.579 ton CO2
9. Triplenine fish: 52.674 ton CO2
10. Ardagh Holmegaard: 52.511 ton CO2

Disse firmaer er både frataget at betale CO2 afgifter i EU og i Danmark. Hvilket af DR begrundes med: *Idéen med listen er, at energitunge virksomheder, der oplever hård konkurrence fra udlandet, ikke skal presses af afgifter til at flytte produktion ud af EU.* Aalborg Portland investerer samtidigt i CCU og skiftet til biobaseret brændsel, for på denne måde at reducere udledningen fra 2,1 mio. ton CO2 til 1.6 mio. ton CO2 omregnet til 76,2%. (DR, 2020).

Kikkes der på CO2 udledningen uden om produktionsindustrien ligger Equinor og Shell raffinaderierne med en samlet udledning af **1 mio. ton** og affaldsafbrændingen på **4 mio. ton**. (Energistyrelsen, 21)

3.1.1 Globalt potentiale for CCU

Med en målsætning om at reducere den danske CO2 udledning med 10 mio. ton CO2 og et politisk opnåeligt potentiale på 21 mio. ton CO2 (ifølge Enhedslisten). Kan en dansk investering i CCU anses som en mulig klimaløsning, når det anslås en

samlet udledningen fra vores 10 tungeste produktionsvirksomheder, raffinaderierne og plastafbrænding på godt **15 mio. ton CO₂**. Samtidigt er det globale potentiale enormt. På verdensplan anslås det er CCS og CCU kan reducere den samlede udledning med 20 milliarder ton årligt. Hvilket er ca. halvdelen af den nødvendige globale reduktion. (Davis, September 10, 2022)

Med denne indledning vil teorien og teknologien bag CCS og CCU blive gennemgået herunder:

3.1.2 CCS og CCU i praksis

Carbon Capture Storage (CCS) og Carbon Capture Utilization (CCU) adskiller sig, som navnene også afslører først ved enten *storage* eller *utilization*. Den første del i begge tilfælde er derfor *Carbon Capture*.

Indfangning af karbon kan for eksempel foregå ved at røgen, der udledes fra produktionen, føres igennem to filtreringskamre samtidigt med at der tilføjes et stof der kan absorbere CO₂'en, hvorefter stoffet og CO₂ igen adskilles.

Figur 3 viser processen ved brug af Amin¹ nærmere:

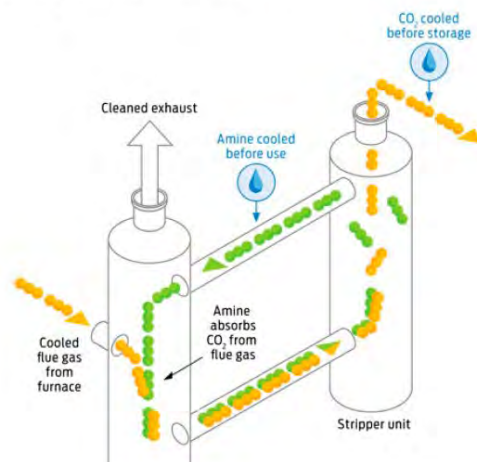
Den gule strøm illustrerer udledningsrøgen fra produktionen. Denne nedkøles, da dette vil føre røgen ned i det første kammer kaldet "Absorber unit". Samtidigt tilføjes nedkølet Amin. Den nu kemisk bundende CO₂ skubbes nu til næste kammer ("Stripper Unit") hvor Amin og CO₂ opvarmes for derved at slippe hinanden igen. CO₂'en nedkøles igen kan derefter første til et lager eller udnyttes på anden vis.

3.1.2.1 Storage og Utilization

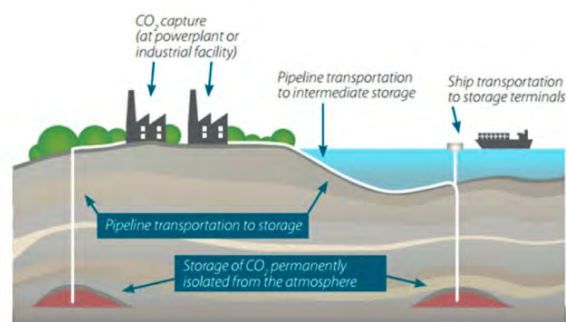
Når CO₂'en er indfanget udgør den stadigvæk en miljømæssig risiko. Eftersom CO₂ er koncentreret er risikoen ligeledes øget og dette leder til et politisk dilemma der kunne sammenlignes lignende problematikker omhandlende oplagring af miljøfarligt affald. Løsningen der foreslås her, er som vi kender den at skjule lageret i undergrunden. Dette medfører dog offentlig bevågenhed og bekymring.

Det forskes derfor i udnyttelsen af CO₂'en, dette indebærer dog endnu en teknologi, hvor CO₂'en nedbrydes og derefter anvendes i kemiske forbindelser til at skabe nye materialer, som brændstof, plastik, lægemidler mm. Lige nu foreslås der to processer for muliggørelsen af udnyttelsen:

Department of Green Technology



Figur 1, (Birkved, 2022)



SDU
08/11/2022

Figur 2, (Birkved, 2022)

¹ Amin, er fællesbetegnelse for klasse af organiske forbindelser, der formelt kan karakteriseres som derivater af ammoniak (Jørgensen, 2016)

I den første tilgang tilføjes en bakterie til CO₂'en der igangsætter en nedbrydningsproces også kaldet fermentering. Denne proces leder til en opdeling af CO₂'en der kan anvendes til nye materialer såsom: Brændstof, proteiner eller plastik.

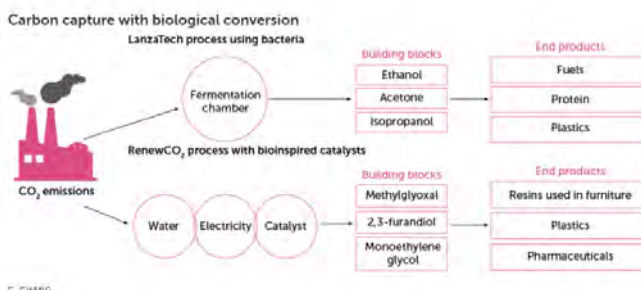
Den anden tilgang anvender vand, energi og nikkelbaseret katalysator. Med denne nedbrydning af CO₂ kan der produceres materialer som: Hærder (i lim), plastik eller lægemidler.

CO₂ udledt fra forbrænding af affald kan således omdannes til plast ved brug af både *storage* og *utilization*; CCS og CCU. Denne cirkulære proces gør det relevant at kigge på, hvordan vi i Danmark håndterer vores affald:

I Danmark udgjorde *forbrænding* 25,2% af den indsamlede affaldsmængde i 2019. Det var et fald på fem procentpoint siden 2013. Det skyldes en stigning af affald til *genanvendelse* eller *anden endelig materialenyttiggørelse*. Sidstnævnte har tidligere været en del af genanvendelse, men siden 2018 har den været sin egen kategori. *Genanvendelse* udgjorde 47,4% (2019) af den indsamlede affaldsmængde, se tabel 1 nedenfor. (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2020)

Bacteria business

LANZATECH genetically modifies bacteria to transform carbon dioxide into ethanol and other building blocks for plastics and other products. RenewCO₂ uses nickel-based catalysts inspired by bacteria to do the same – break down CO₂ using little energy to make new things.



Figur 3 (Davis, September 10, 2022)

Total	Genanvendelse		Anden endelig Materialenyttiggørelse*		Forbrænding		Deponering		Total	
	Ton (1.000)	Procent	Ton (1.000)	Procent	Ton (1.000)	Procent	Ton (1.000)	Procent	Ton (1.000)	Procent
2013	6.852	66,1%	0	0 %	3.130	30,2%	390	3,8%	10.373	100 %
2014	7.355	67,6%	0	0 %	3.112	28,6%	409	3,8%	10.876	100 %
2015	7.480	68,6%	0	0 %	3.017	27,7%	409	3,8%	10.907	100 %
2016	7.882	69,2%	0	0 %	3.124	27,4%	392	3,4%	11.398	100 %
2017	7.924	67,9%	0	0 %	3.353	28,7%	399	3,4%	11.677	100 %
2018	5.658	45,5%	3.298	26,5%	3.071	24,7%	414	3,3%	12.442	100 %
2019	6.005	47,4%	3.066	24,2%	3.190	25,2%	400	3,2%	12.661	100 %

Tabel 1 Primært produceret affald i Danmark (kilde: Emballagestatistik 2018) (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2020)

Afbrænding af affald – plastaffald – ses i nogle tilfælde som genindvinding, da det udgør en energikilde. I Danmark er det ikke lovligt at deponere affald, som kan bruges til forbrænding. (Jensen, et al., 2020)

3.2 GENANVENDELSE

Der findes forskellige måder at genanvende plast. Dette afsnit gennemgår udelukkende termoplast, der genanvendes til et nyt plastprodukt.

Genvinding = mekanisk eller kemisk oparbejdning af materialeaffald til nye råmaterialer (Jensen, et al., 2020)

Genindvinding kan opdeles i tre kategorier; primær, sekundær eller tertiær. Primær genindvinding består af materiale, der ikke har forladt producenten eller på anden måde er tæt på kilden. Det kan eksempelvis være produktionsspild. Derfor er materialet ofte rent, og plasttypen er kendt, hvorved sortering er nem. (Jensen, et al., 2020)

Sekundær genindvinding, mekanisk genindvinding, indeholder indsamlet plastaffald, sædvanligvis fra husholdning eller industri, som herefter sorteres og renses for til sidst at blive omsmeltet og omformet til granulat, der kan indgå som råmateriale i et nyt plastprodukt. Sortering er vigtig, hvis udbyttet af sekundær genindvinding skal være størst muligt (Jensen, et al., 2020)

Tertiær genindvinding, kemisk genindvinding, er en ny form for genindvinding. Processen er energikrævende, men sætter færre krav til sortering af plastaffaldet. Et af principperne for kemisk genindvinding er pyrolyse; her spaltes polymererne ved høj varme (ca. 700 grader) i en oxygenfri atmosfære. Nedbrydningen resulterer i monomerer, som kan omdannes til nye polymerer. (Jensen, et al., 2020)

3.2.1 Mekanisk genindvinding - fordele og ulemper

Underafsnittet vil undersøge mekanisk genindvinding som mulig metode til at genanvende og omdanne plast til nyt.

Mekanisk plastgenindvinding gør det muligt for plast at indgå i en cirkulær proces, hvor plastens holdbarhed og polymerernes stabilitet udnyttes. Plastens mange anvendelses- og designmuligheder er netop en af grundene til plastens popularitet. (DeWeerd, 2022) Plastens fleksibilitet gør det muligt for alle involveret i nyudvikling af plastprodukter at sætte krav til designets mulighed for at blive genanvendt. Hvis designet udformes således, at de enkelte dele kan skilles ad, vil sortering af forskellige plasttyper være nemmere. (Jensen, et al., 2020) Samtidig er plasten afhængig af den cirkulære proces: Jomfruelig plast udvindes af råolie ved fraktionsdestillation eller krakningsproces, hvorved umættede monomerer dannes. Herfra kan diverse plastformer dannes ved forskellige processer – ligesom ved mekanisk genanvendelse. Konkurrencen om råolie er høj, og ressourcen er ikke fornybar. (Hartwig & Zeumer, 2010) Værdien af plastaffaldet er ud fra et virksomhedsøkonomisk perspektiv lønsomt at bevare. (Jensen, et al., 2020)

Genanvendelse af plast starter med indsamlingen. I højindkomst lande foregår dette ved et formelt og struktureret affaldsprogram, ofte administreret af en offentlig instans. Graden af sortering er afgørende for kvaliteten af den genanvendte plast. De mange forskellige plasttyper indeholder mange forskellige additiver, hvilket besværliggør den mekaniske genindvindingsproces, som dermed ender med et materiale, der ofte er dårligere end det oprindelige. (Jensen, et al., 2020) En måde at komme dette til livs er at udvikle additiver, der er mere fleksible, og dermed kan indgå i mekanisk genindvinding af flere forskellige plasttyper – uden at kvaliteten af den genanvendte plast degraderes. På den anden side kunne løsningen være at producere færre forskellige plasttyper. Omfanget af sorteringen vil derfor blive mindsket. (DeWeerd, 2022) Et eksempel på dette er Coca Cola, der efter 60 år har valgt at ændre den grønne farve på deres Sprite-flaske til klar. De undgår dermed unødvendige additiver. (DeWeerd, 2022) Hvis en reduktion af plasttyper skal gøre en forskel, så skal vi tilbage til start; indsamling. I flere medium- og lavindkomst lande er genanvendelsesprogrammer sjældne. Der er estimeret to milliarder mennesker, som ikke har adgang til affaldshåndteringsfaciliteter. Det forventes, at 13 millioner ton plastaffald årligt kommer fra områder med utilstrækkelig affaldshåndtering. (DeWeerd, 2022) Den Europæiske Union satte i år 2018 fokus på en transformation af plastens økonomi. Kristian Syberg (KS), professor ved Roskilde Universitet, kritiserer EU for hovedsageligt at fokusere på genanvendelse. KS er bange for, at genindvindingskvoter med økonomisk incitament vil resultere i merproduktion af jomfruelig plast for at opnå de opstillede kvoter. (Syberg, 2022)

”Det er et systematisk problem,” udtaler KS, når han fortæller, at det er billigere at producere ny plast fremfor at genbruge eller genanvende det eksisterende. (DeWeerd, 2022) Ud af al plast nogensinde produceret er 10% blevet genanvendt én gang – ca. 1% er blevet genanvendt to gange. (DeWeerd, 2022)

I tabel 2 ses mængden af indsamlet emballageaffald, her udgør plast 10,6% i år 2018. Knap en tredjedel er indsamlet til genanvendelse, se tabel 3. Miljøministeriet regner med, at tabsraten på genanvendelse af plast er 54% (2018). Den endelige genanvendte plast er 14% (2018), se tabel 4. Tabet skyldes kvaliteten af affaldet samt sortering og oparbejdningsprocesser. (Miljø- og Fødevareministeriet, 2020) Her er det vigtigt at nævne, at den første grovsortering og indsamling er baseret på brugeradfærd, derfor må en vis usikkerhed medregnes.

Emballageindsamling	Ton (1.000)			
	2015	2016	2017	2018
Plastik ³⁵	60	77	84	78
Fiber ³⁶ (Papir og pap)	342	387	355	385
Glas ³⁷	129	147	143	157
Metal ³⁸	25	32	31	35
Træ ³⁹	81	79	80	77
Total	636	722	693	733

Tabel 2 Emballageindsamling, 2015-2018 (kilde: Emballagestatistik 2018)

Indsamlet til genanvendelse %	Procent			
	2015	2016	2017	2018
Plastik	30	36	42	31
Fiber (Papir og pap)	91	94	82	100
Glas	80	85	95	82
Metal	72	88	73	80
Træ	75	87	59	46

Tabel 3 Genanvendelsesprocenter for emballageaffald (kilde: Emballagestatistik 2018)

Emballage	Tabsrater for indsamlet emballage	Estimeret endelig genanvendt emballage for 2018
Glas	4 %	79 %
Plast	54 %	14 %
Papir og pap	3 %	97 %
Jern og metal	13 %	70 %
Træ	9 %	42 %

Tabel 4 Tabsrater og estimeret genanvendelse for 2018 (kilde: COWI for Miljøstyrelsen)

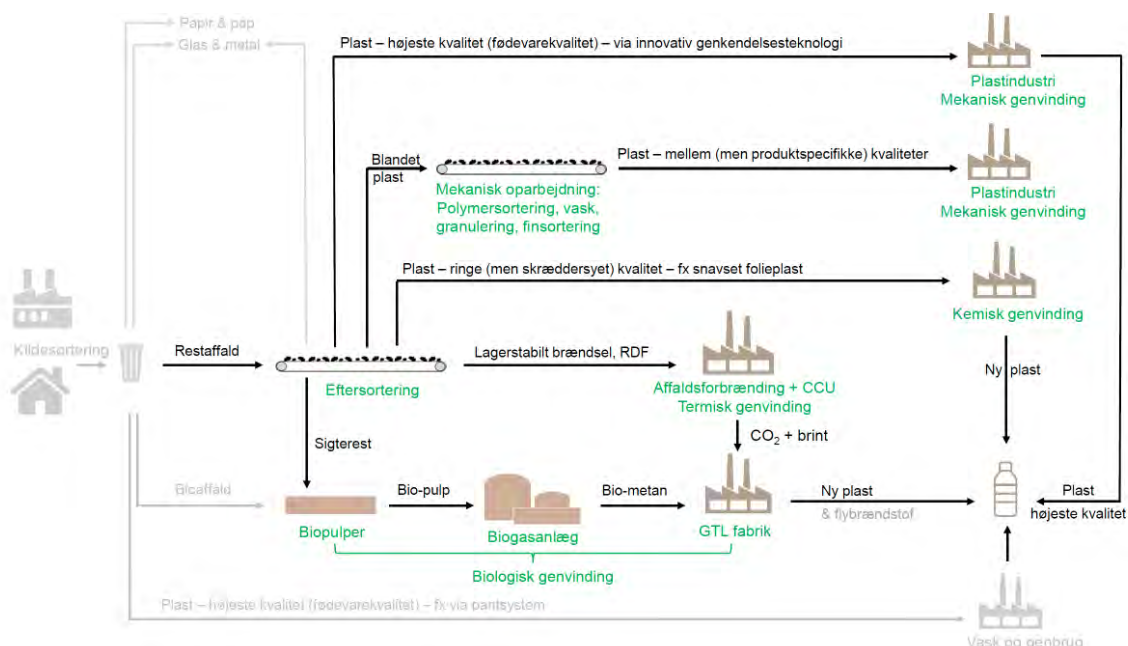
4.0 DISKUSSION: BÆREDYGTIG PLASTIK

Afsnittet indeholder en diskussion af, hvordan karbonindfangning og genindvinding kan indgå i en cirkulær proces, hvor målet er at skabe bæredygtig plastik.

Genindvinding fungerer ud fra håbet om at skabe et nær perfekt loop, hvor materialets egenskaber udnyttes i størst mulig grad. Ud fra ovenstående tabeller er dette – på trods af de bedste hensigter – ikke muligt. Ved mekanisk genindvinding er det sorteringen, der sætter niveauet af succes. Ved at reducere mængden af plasttyper og/eller erstatte nuværende additiver med mere fleksible additiver, så vil vi nå langt. Selvom plast er et holdbart materiale, så forkortes polymererne for hver gang plusten går igennem genindvindingsprocessen, og kvaliteten falder. (DeWeerd, 2022) Det er derfor ikke muligt at skabe en selvkrørende cirkulær økonomi udlukkende ud fra tanken om mekanisk genindvinding.

Ved hjælp af CCS og CCU kan forbrænding af plast indgå i skabelsen af ny plast. Igen er sorteringen dog vigtig. Hvis en cirkulær proces skal udnytte materialet optimalt, så skal sorteringen også indeholde screening af plastens kvalitet. Det skal kun være plast af ringe kvalitet, der bruges til CCS eller CCU.

I en verden hvor økonomiske incitamenter ofte vejer tungere end den moralske forpligtelse over for vores natur, så må alle punkterne i den cirkulære proces understreges som økonomisk lønsomme. Det kræver, at den jomfruelige plast har en høj



Figur 4 Model for fremtidens cirkulære plastsystem. (Birkved, 2022)

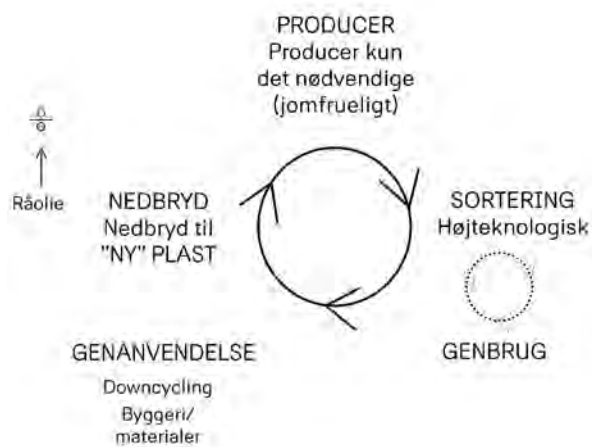
kvalitet, så den efter mekanisk genindvinding stadig har en vis kvalitet. Det er vigtigt, at CCS eller CCU ikke ses som et hurtigt fix, hvor det bedre kan betale sig for producenterne at producere plast af ringe kvalitet end omvendt. I figuren nedenfor ses en cirkulærproces, hvor hensynet til plastens kvalitet er medtaget; fra genbrug til genindvinding til forbrænding og indfangen af CO₂. Her fremstilles et hierki i plastens kvalitet og dermed øget mulighed for genbrug, genindvinding og inden tilsidst at ende ved afbrænding, der via CCU omdannes til "helt ny" plast.

5.0 KONKLUSION

På baggrund af diskussionen vil vi svare på vores problemformulering: *Hvordan kan plast blive absolut bæredygtigt?*

Plast kan være bæredygtigt, hvis det vel at mærke indgår i en cirkulær proces og plast ideelt til dette: Materialets holdbarhed samt muligheden for genbrug, genindvinding og i sidste ende forbrænding kan med nutidens teknologi mindske spild. Det er vigtigt at huske, at punkter som indsamling og sortering sætter krav til brugeren, hvilket altid vil resultere i en vis usikkerhed. Forhåbningen er dog, at hvis den cirkulære proces er fordelagtig eller ligefrem afgørende for producenterne, så vil disse også sætte krav til deres brugere. Som André Bardow understreger i artiklen "Plastic's Messy End-game" (2022), så kan selv den nyeste teknologi ikke gøre vores brug af plast bæredygtigt, hvis ikke produktionen af jomfrueligt materiale reduceres. En reduktion af produktionen vil sætte krav til producenterne og derved også brugernes adfærd. Dette konkluderer samtidigt at plast ikke kan blive absolut bæredygtigt, kun relativt.

Forudsætningen må derfor være, at der kun produceres det højst nødvendige af jomfrueligt materiale i den højeste kvalitet. En øget sorteringsgrad vil medføre en højere kvalitet ved genindvinding. Efter at have været genanvendt flere gange vil plasten til sidst blive brændt, hvorved CCU vil resultere i ny plast. Dette illustreres i figuren nedenfor:



Figur 5 Plastens fem dogmer; en cirkulær proces

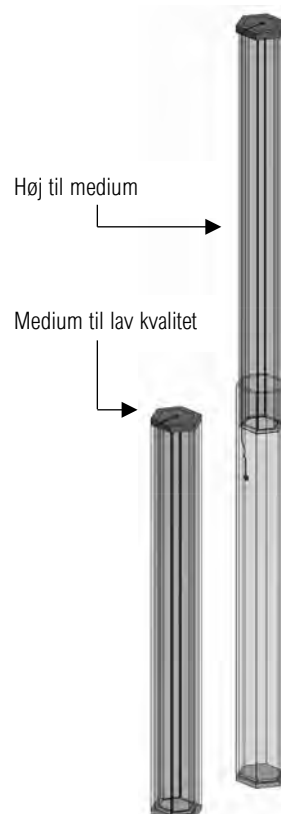
6.0 PERSPEKTIVERING

Aktiverer vi vores viden fra denne rapport i relation til vores eget semesterprojekt og med henblik på udelukkende at anvende jomfrueligt materiale, når det er højst nødvendigt. Opstår der følgende spørgsmål: Hvilken kvalitet plastik er nødvendigt for vores produkt. Eller omvendt hvor lav en kvalitet kan vi anvende?

Med et ønske om et translucent materiale skal vi kikke på den højeste og rene kvalitet af genbrugsplast. Et eksempel kunne være medicinalplastaffald hvor blandt andet pipetter og petriskåle er transparente i første anvendelses loop.

Med de nuværende systemer for genbrug og den enorme mængde af affaldsplast. Bliver vi samtidig motiveret til at undersøge nødvendigheden af translucens. Vi kan udtrække at nu mere lavkvalitet genbrugsplast, vi kan bruge, nu bedre. Særligt fordi CCU-teknologien endnu ikke er udviklet nok. På denne måde kunne vores plastprodukt være et CO2 lager til fremtiden. Det kunne derfor være oplagt at udskifte nogle hexagoner til lavkvalitet hvor lysgennemstrømning ikke er nødvendigt.

Der er samtidigt små elementer i vores produkt der bør være af højeste kvalitet, der kan sikres igennem hele produktionen og dette kræver fuld kontrol over råmaterialet. Her tænker vi særligt på gummiringen, der sørger for tæthed i hexagonsøjlerne, være af højere kvalitet. Denne skal også sikre at gentagende adskillelse er muligt.



Figur 6 Plastelement med vakuum

7.0 REFERENCER

Birkved, M., 2022. *Recent developments in the environmental performance assessment within the built environment - Morten Birkved*. København: SDU.

Davis, A. L., September 10, 2022. *sciencenews*. [Online]

Available at: <https://www.sciencenews.org/article/plastic-carbon-dioxide-capture-recycling-climate-change>
[Accessed 29 11 2022].

DeWeerd, S., 2022. Plastic's messy end-game. *Nature*, vol 611, pp. 2-5.

DR, 2020. *DR.dk*. [Online]

Available at: <https://www.dr.dk/nyheder/penge/danske-co2-giganter-oeger-udslip-men-slipper-betale-klima-afgifter>
[Accessed 10 12 2022].

Eberhardt, L. C. M., Rønholt, J., Birkved, M. & Birgisdóttir, H., 2021, Volume 33. Circular Economy potential within the building stock - Mapping the embodied greenhouse gas emissions of four Danish examples. *Journal of Building Engineering*.

Energistyrelsen, 21. *ens.dk*. [Online]

Available at: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ens.dk/sites/ens.dk/files/CCS/punktkildeanalyse_-_potentialer_for_ccs_og_ccu.pdf
[Accessed 14 12 22].

Enhedslisten, 2022. *enhedslisten.dk*. [Online]

Available at: <https://enhedslisten.dk/klimaplan>
[Accessed 10 12 2022].

Hartwig, J. & Zeumer, M., 2010. Plastics in sustainable construction. *DETAILGreen*, Issue 2010 2, pp. 58-62.

Information, 2022. *Information.dk*. [Online]

Available at: <https://www.information.dk/indland/2022/10/alex-vanopslagh-klimakrisen-loeses-markedet-teknologien>
[Accessed 10 12 2022].

Jensen, B. et al., 2020. *Plastteknologi*. 3. ed. København: Plastindustrien.

Jeska, S., 2008. *Transparent Plastics - Design and Technology*. Basel: Birkhäuser Verlag.

Jørgensen, K. A., 2016. *denstoredanske*. [Online]

Available at: <https://denstoredanske.lex.dk/amineraler>
[Accessed 11 12 2022].

MacArthur, E., 2022. *ellenmacarthurfoundation*. [Online]

Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>
[Accessed 29 11 2022].

Miljø- og Fødevareministeriet, 2020. *Affaldsstatistik 2019*, s.l.: Miljøstyrelsen.

Parker, L., 2019. The world's plastic pollution crisis explained. *National Geographic*.

Plastindustrien, 2022. *Plast*. [Online]

Available at: <https://plast.dk/wp-content/uploads/2018/04/Udklip.png>
[Accessed 29 11 2022].

Syberg, K., 2022. Path to Sustainability. *Nature*, 17. november, p. 6.

Et modulært, isolerende og rumskabende element

I en tid med energikrise og manglende stabilitet, så er det naturligt at reagere. Efterisolering af vores eksisterende bygningsmasse er en populær form for driftsoptimering – en omsluttende frakke. Med udgangspunkt i et standard 70'er typehus foreslår vi en sæsonorienteret efterisolering, der modsat den gængse tilgang opstilles indvendigt i vores huse – en fleksibel foring. Produktet skal udføres af termoplastaffald.

Vi lægger stor værdi i interaktionen og bevidstheden om årstidernes skiften. Her menes det rituelle i, at vores huse kan forandre sig i takt med naturen. Vores produkt skal tillade varieret isolering i forhold boligens interne udsving i form passiv eller aktiv aktivitet – eksempelvis soveværelse og køkken – samt de eksterne udsving i form af årstidernes skiften. Vi vil derfor tilbyde en skalerbar og demonterbar løsning, der kan dække det nøjsomme behov og samtidigt takle ekstreme udsving i temperaturer og varmepriser. Produktet kan anvendes i takt med naturens og livets sæsoner med en simple og tilgængelig monterings teknik.

Jerry René Petersen
Bygningskonstruktør MAK
Stud. Cand. Tech. Arch

Line Bruus
Bygningskonstruktør MAK
Stud. Cand. Tech. Arch

Arkitekturens Teknologi E22

Krisens bæredygtige enfamiliehus

Historie og teori 3

Line S. W. Bruus
03.01-2023





Det
Kongelige
Akademi

Arkitektur
Design
Konservering

KRISENS BÆREDYGTIGE ENFAMILIEHUS

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	2
1.1 Problemstilling.....	2
1.2 Problemformulering.....	2
1.2.1 Fremgangsmåde.....	2
1.3 Teori og afgrænsning.....	3
1.3.1 Afgrænsning.....	3
2. Redegørelse	4
2.1 Oliekrisens arkitektur.....	4
Hjortekær.....	5
3. Analyse	6
3.1 Krisens "bæredygtige" boligbyggeri: fra oliekrise til i dag.....	6
Øko-arkitektur (<i>eco-architecture</i>).....	6
Grøn arkitektur (<i>green architecture</i>).....	7
Bæredygtig arkitektur (<i>sustainable architecture</i>).....	8
4. Diskussion	10
4.1 Krisens "bæredygtige" boligbyggeri: Tre arkitektoniske termer.....	10
Øko-arkitekturen.....	10
Grøn arkitektur.....	10
Bæredygtig arkitektur.....	11
5. Konklusion	12
6. Referencer	13

Anslag: 18.100

Antal sider: 13

1. Indledning

Ordet ”bæredygtighed” blev tydelig i verdens bevidsthed med udgivelsen af Brundtlandrapporten i 1987. Opmærksomheden på naturens tilbagegang havde været stigende i årtier, men oliekrisen i 1973 satte skub i tingene. Nødvendigheden tog over, og arkitekturen ændrede sig. Fokus var på energioptimering af boliger, og trods det snart er 50 år siden, så anser EU i direktivet “*EU Directive 2010/31/EU of 19 May 2010 on The Energy Performance of Buildings*” stadig boligers energimæssige ydeevne som fundamental for en boligs påvirkning på CO₂-udledningen. (Munch-Petersen & Ejstrup, 2017)

1.1 Problemstilling

“(..) Vitruvius along with vernacular architecture can be seen as the vanguard of sustainable architecture. Both of which responded to the societal conditions of their time, they built with local considerations and addressed environmental concerns out of necessity.” (Donovan, 2017)

Elizabeth Donovan, lektor ved Aarhus Arkitektskole, forklarer med ovenstående citat, at det er nemt, at post-rationaliserer historiske bevægelser som ”bæredygtige”: Den vernakulære arkitektur adapterede til de sociale konditioner af nødvendighed.

I dag er Danmark igen ramt af ikke blot én men flere kriser; ressourcekrise, økonomisk krise, klimakrise, energikrise m.fl. – og igen må vi tilpasse os af nødvendighed. Vi er dog i den situation, at historien er tæt nok på til, at vi kan huske den, men langt nok væk til, at vi måske kan lære af den og rationalisere.

1.2 Problemformulering

I hvilken grad har energikrisen i 1970'erne udviklet enfamiliehuset – og er det muligt at skabe et absolut ”bæredygtigt” enfamiliehus med de nuværende og historiske redskaber?

1.2.1 Fremgangsmåde

Denne opgave vil belyse oliekrisens påvirkning på dansk boligbyggeri med fokus på energioptimering. Diverse energiltag skal ses som ”bæredygtige” initiativer til afhjælpning af en energikrise med enfamiliehuse som fokus.

Herefter vil jeg analysere den ”bæredygtige” udvikling af dansk boligbyggeri efter oliekrisen ved hjælp af Elizabeth Donovans artikel; *From sustainability to resilience: an exploration of the development of sustainable architecture terminology*. Analysen vil kigge på termerne ’øko-arkitektur’, ’grøn arkitektur’ og ’bæredygtig arkitektur’ til at forstå udviklingen.

På baggrund af redegørelsen og analysen vil jeg diskutere fordele og ulemper ved de tre arkitektoniske termer: øko-arkitektur, grøn og bæredygtig arkitektur. Til sidst vil konklusionen afrunde opgaven og svare på problemformuleringen.

1.3 Teori og afgrænsning

Opgavens teoretiske afsæt er baseret på semesterets undervisning – i særlig grad Henriette Ejstrups seminar *'History of Sustainability'* – samt indsamlet empiri. Ydermere har jeg gjort brug af min viden og erfaring som bygningskonstruktør.

1.3.1 Afgrænsning

Semestrets overordnede emne for modulet Historie og Teori er *'bæredygtighed – relativ til absolut bæredygtighed'*. Denne opgave forstår emnet således, at grænsen mellem "bæredygtigt" og "ikke-bæredygtigt" er udvasket; relativ, eller klar; absolut. Hertil er det vigtigt at have styr på termerne og definitionen heraf. Det forsøger jeg at opnå ved hjælp af Elizabeth Donovans artikel; *From sustainability to resilience: an exploration of the development of sustainable architecture terminology*. Artiklen vil altså ligge til grund for forståelsen af de tre arkitektoniske termer.

Jeg har ikke medtaget termet 'robust arkitektur'. Det skyldes, at ordet stadig er nyt og endnu ikke medtaget i en ordbog. Derfor gør det sig ikke gældende i en historisk analyse af enfamiliehusenes energioptimering.

I mangel af bedre vil jeg bruge ordet "bæredygtig" som en overordnet beskrivelse. I denne opgave ses energioptimering, som et "bæredygtigt" tiltag i boliger. Dette har været hensigten med den energioptimerende proces som boligbyggeriet har været igennem, om end fokus har været skiftende fra økonomisk, socialt til miljøet. Ydermere er "bæredygtig" brugt i opgavebeskrivelsen.

Opgavens fokus er energioptimering i drift af et enfamiliehus i Danmark ud fra et klimahensyn. Energi er lig energi til varme og opvarmning.



Det
Kongelige
Akademi

Arkitektur
Design
Konservering

2. Redegørelse

2.1 Oliekrisens arkitektur

I dette afsnit vil jeg belyse de tiltag, som blev indført for boligbyggeri sidste gang Danmark var i en energikrise; oliekrisen i 1973. Da datidens primære fokus var på reducere af energiforbrug, så vil det også være fokus for denne redegørelse. Jeg vil bruge lavenergihusene i Hjortekær som eksempel.

I perioden fra 1960 til 1979 var enfamiliehuset et klassisk 'typehus'. Byggeaktiviteten var høj og toppede fra 1970-1974 med 27.000 nye boliger om året. (Mur & Tag, 2022) Typehuset var i høj grad formet af funktion, samt muligheden for præfabrikerede elementer. (Danske Boligarkitekter, 2022) Ydervæggen var enten uisoleret eller minimalt isoleret, se tabel 1 over udviklingen af u-værdi. (Mur & Tag, 2022)

Periode	Tung ydervæg	Let ydervæg	Terrændæk	Tag	Vinduer
1961-1979	1,00	0,60	0,45	0,45	2,90 (fra 1972)
1979-1986	0,40	0,30	0,30	0,20	2,90

Tabel 1 Bygningsdelenes u-værdi i perioden 1961-1979 og 1979-1986 (Mur & Tag, 2022)

Fra byggeloven i 1960 til bygningsreglementet i 1977 (BR77) var kravene til isolering sparsomme. Det ændrede sig med oliekrisen i 1973, hvor prisen på olie steg til det firdobbelte på få år. (Dirckinck-Holmfeld, Møldrup, Amundsen, & Sørensen, 1994) Olien udgjorde 90% af Danmarks energiforbrug, og regeringen frygtede derfor at mangle olie. Det startede en række kampagner, der havde til formål at få danskerne til at spare på olien ved at bruge mindre varme og lys samt afskærme døre og vinduer. På daværende tidspunkt var energi til opvarmning den største synder. (Munch-Petersen & Ejstrup, 2017) Udgivelsen af BR77 understregede det skærpede fokus på boligers energiforbrug, samtidig skete der et skift i måden, hvorpå opnåelsen af transmissionskoefficienten blev beskrevet: I byggeloven fra 1966 var udgangspunktet velkendte konstruktionsmetoder med velkendte materialer såsom, tegl, træ, porebeton mm. I BR77 derimod var tilgangen mere overordnet og generel. (Munch-Petersen & Ejstrup, 2017)

Energioptimering af en bolig viste sig på flere måder: På den ene side var der bygningsreglementet med konkrete krav til bygningens energiforbrug. Der var bl.a. krav om mindre åbninger i facaden, for derved at mindske kuldebroer samt arealet af elementer med lav isolerende effekt. (Poulsen & Lauring, 2019) På den anden side var der en ny bevægelse af unge arkitekter, der søgte inspiration i international arkitektur, teknologisk innovation og forbindelsen til naturen. (Poulsen & Lauring, 2019). Et eksempel var fokus på sollyset set som en passiv energikilde: Orangerier - eller havestuer - opvarmet af solen blev brugt som termisk regulering. I centrum af begge metoder var nødvendigheden af energioptimering af boliger. (Poulsen & Lauring, 2019) Arkitekturen for enfamiliehuset ændrede sig. (Mur & Tag, 2022)



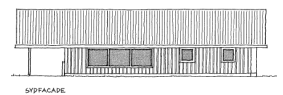
Billede 1 Typehus 1972, AHB huset (Mur & Tag, 2022)

Hjortekær¹

I år 1979 stod seks lavenergihuse færdige i Hjortekær, Lyngby-Tårnbæk kommune. Energiministeriet med Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, som projektleder stod bag studiet, som de seks enfamiliehuse udgjorde. Målet for de enkelte boligens energiforbrug til opvarmning og varmt vand var maks. 5000 kWh årligt.

Boligernes facade blev udført med min. 200 mm. mineraluld og en tung bagmur. De havde alle varmegenindvinding af afkastluft og spildevand. Projektlederne forventede, at der ville være et transmissionstab på 8-10.000 kWh, som skulle opvejes af "gratisvarme"; aktivt via solfangeranlæg og jordvarme eller passivt via udnyttelse af solindfald, varmeafgivelse fra beboere mm. Ydermere var et antal boliger udstyret med natskodder, der skulle fungere som isolerende element.

Projektet havde til formål at udvikle lavenergihuse, hvor kvadratmeterprisen ikke var højere end en standard bolig – eller i tilfælde af merpris kunne denne indtjenes ved besparelserne på varme. Boligerne skulle være egnet til præfabrikation som typehus.



Billede 2 Opstalter af bolig A, Hjortekær (Byberg & Saxhof, 1982)

¹ Afsnittet er baseret på rapporten *Lavenergihuse i Hjortekær – Konstruktioner, arbejdsudførelse og erfaringer* af Byberg & Saxhof (1982) og artiklen *Lavenergihusene i Hjortekær* af KD-H (1979)

3. Analyse

Elizabeth Donovan italesætter transformationen af arkitekturens termer og forståelsen heraf i artiklen; *From sustainability to resilience: an exploration of the development of sustainable architecture terminology*. Udviklingen fra økologisk til grøn til bæredygtig har medført misforståelser og manglende klarhed, hvorfor termerne ofte bliver brugt som synonymer for hinanden og dermed mister deres individuelle mening. (Donovan, 2017) Elizabeth Donovan påstår, at når termerne i stigende grad bliver brugt forkert, så stiger risikoen for *greenwashing* og brugen af termerne som *buzzwords*. Elizabeth Donovan fremhæver følgende citat af Ken Yeang:

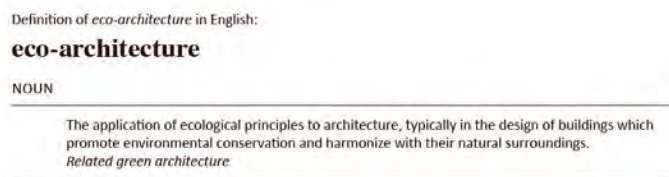
“What does the term ‘sustainability’ mean? There seem to be as many definitions as the number of people one asks. [...] confusion has been caused by the fact that there are such very widely divergent views on how to achieve it.”²

Ikke alle ser overstående som et problem, men en frihed og mulighed for designere til at danne sin egen forståelse af og svar på problemet, som termerne forsøger at italesætte. (Donovan, 2017)

Til at illustrerer udviklingen af termerne – øko-arkitektur, grøn arkitektur og bæredygtig arkitektur – så benytter Elizabeth Donovan basisdefinitioner fra ordbøgerne Online Oxford og Cambridge Dictionary til at undersøge det individuelle ords primære beskrivelse. Nedenfor vil jeg bruge Elizabeth Donovans undersøgelse til at analysere udviklingen af ”bæredygtig” arkitektur fra oliekrisen i 1973 til i dag.

3.1 Krisens ”bæredygtige” boligbyggeri: fra oliekrisen til i dag

Øko-arkitektur (*eco-architecture*)



Figur 1 Definition fra English Oxford Dictionaries (Donovan, 2017)

Udvalgte fokuspunkter: Harmoni med de naturlige opgivelser og applikation. (Donovan, 2017)

Boligerne i Hjortekær gør brug af sine naturlige omgivelser ved udnyttelsen af ”gratisvarme”. Om det så er via solindfald, beboernes eller de tunge

² Ken Yeang, *Green Design: From Theory to Practice*

bygningsdeles varmeafgivelse eller en fysisk tilføjelse til huset såsom solfan-geranlæg eller natskodder.

Orangerier brugt som termisk regulering kan anses for at være en applikation til boligens varme og tunge del: Orangerier skulle være et ekstra opholdsrum om sommeren og isolerende lag om vinteren. Derved skulle beboeren indrette sig efter tanken om migration i boligen alt efter årstiden. Denne tanke tog arkitekterne Aude, Lundgaard, Sørensen og Rotne med sig, da de designede Skriverhusene for KAB i 1985. (Beim & McNair, 2022) Idéen var at skabe fremtidens bolig med et reduceret energiforbrug. Boligerne var opdelt i tre zoner; mod nord var en isoleret facade med små vinduesåbninger. Zone 2 var periodevist opvarmet og bestod af tunge, varmeakkumulerende materialer. Tredje og sidste zone vendte mod syd. Zonen var uopvarmet og opbygget i ét lag glas. Boligerne var udført med isolerende skodder mellem zonerne, se billede 3. (Beim & McNair, 2022)

Grøn arkitektur (*green architecture*)

Definition of *green architecture* in English:

green architecture

NOUN

The activity of designing buildings in a way that protects the natural environment.

Figur 2 Definition fra Cambridge Business English Dictionaries (Donovan, 2017)

Udvalgte fokuspunkter: At designe som en aktivitet og beskytte naturen. (Donovan, 2017)

Henrik Grove starter bogen *Økologi i Parcelhuset* (1998) med følgende citat:

"Grænserne for, hvad der er miljøvenligt og økologisk, flytter sig hele tiden, ofte som et resultat af ny eller genopdaget viden. Det økologiske hus er ikke noget absolut. Det er derfor mere korrekt at bruge ordene 'mere' eller 'mindre' miljøvenligt og 'god' eller 'dårlig' økologi. Der er tale om en bestræbelse, om en aldrig standsende proces."

Henrik Grove beskriver i citatet arkitekturen som et aktivt forløb, der afhænger af udvikling og opdateret viden. Henrik Grove taler ind i en proces, som har bevæget sig fra 1970'ernes energioptimering grundet økonomiske hensyn til et miljøhensyn i slutningen af 1980'erne og starten af 1990'erne. (Dirckinck-Holmfeld, Møldrup, Amundsen, & Sørensen, 1994) Miljøhensynet ses bl.a. i form af brugen af lokale og fornybare ressourcer til belysning og opvarmningen. (Grove, 1998) Trods dette går 50% af Danmarks samlede energiforbrug til opførelse, drift og nedrivning af bygninger i 1990'erne. Det er en stor andel, som Henrik Grove mener medfører et stort ansvar overfor miljøet hos ejere af enfamiliehuse. (Grove, 1998)



Billede 3 Principskitse af Skriverhusene (Beim & McNair, 2022)

Bæredygtig arkitektur (*sustainable architecture*)

Definition of *sustainable architecture* in English:

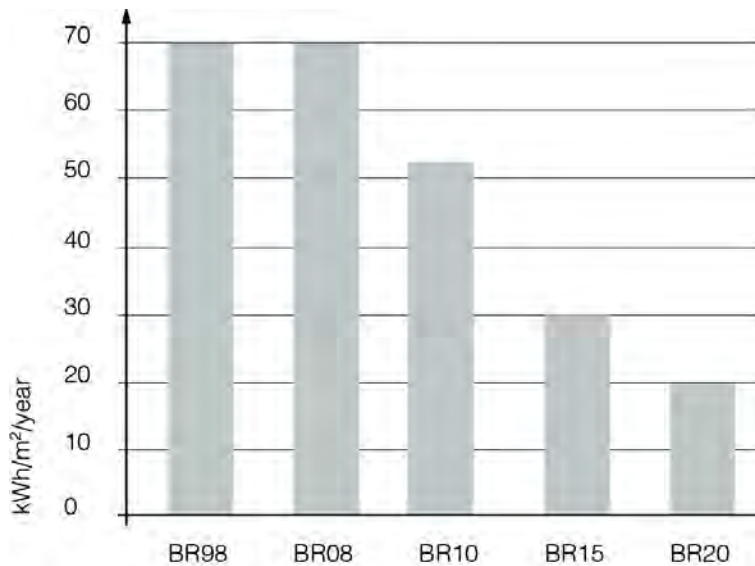
sustainable architecture

NOUN

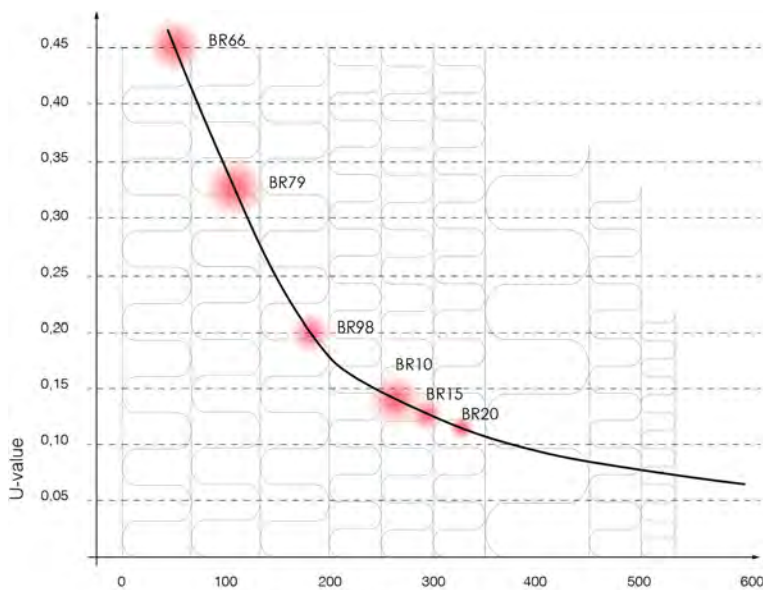
Architecture managed in such a way as to employ design techniques which minimize environmental degradation and make use of low-impact materials and energy sources.

Figur 3 Definition fra English Oxford Dictionary (Donovan, 2017)

Udvalgte fokuspunkter: Håndtere arkitektur og minimere miljømæssig nedbrydning. (Donovan, 2017)



Figur 4 Bygningsreglementets krav til energiforbrug (Munch-Petersen & Ejstrup, 2017)



Figur 5 Udvikling af u-værdikrav for boligens klimaskærm (Munch-Petersen & Ejstrup, 2017)



Det
Kongelige
Akademi

Arkitektur
Design
Konservering

Figur 6 og 7 ovenfor illustrerer de stigende krav til arkitekturens håndtering af boligens energiforbrug. Bygningsreglementet beskriver ikke specifikke konstruktioner, men opstiller krav til konstruktionernes energimæssige *performance* – eller ydeevne – og derigennem dikteres opbygningen. (Munch-Petersen & Ejstrup, 2017)

Figur 6 viser, at der siden BR10 har været et stigende fokus på at reducere boligens energiforbrug yderligere. Det har medført en stigende mængde materialer i boligen, især hvad angår isolering, da forholdet mellem isoleringsmængden og transmissionskoefficienten ikke følger en lineær nedadgående graf, se figur 7.

Et europæiske direktiv, *EU Directive 2010/31/EU of 19 May 2010 on The Energy Performance of Buildings*, understøtter, at boligens energimæssige ydeevne har fundamental betydning for boligens påvirkning på CO₂-udledningen. Målet er at opnå næsten nul-emission. EU-direktiver uddyber det ikke nærmere, men fokuserer på optimering via beregningsmetoder, certificeringer, tekniske installationer samt et minimumskrav til boligens klimaskærm. Hertil er indeklimaet et centralt emne, hvor tekniske installationer skal optimeres og intelligente målesystemer implementeres for at holde energiforbruget lavt. (Munch-Petersen & Ejstrup, 2017)



Det
Kongelige
Akademi

Arkitektur
Design
Konservering

4. Diskussion

4.1 Krisens ”bæredygtige” boligbyggeri: Tre arkitektoniske termer

Ud fra ovenstående analyse samt redegørelse vil jeg diskutere fordele og ulemper ved de tre arkitektoniske termer: øko-arkitektur, grøn og bæredygtig arkitektur.

Øko-arkitekturen

Øko-arkitekturs ønske om at benytte ”gratisvarme” udviser en forståelse for boligens plads og sammenspil med det omkringværende miljø. Boligens placering på grunden ifht. verdens hjørner, samt forståelsen af at de naturlige bevægelser og flow kan bidrage til et sænket energiforbrug. Dertil kommer tilpasning af boligen til årstiderne – eller dagsrytmen – med natskodder og migration ved brug af orangeri. Det medfører en forståelse af omgivelsernes foranderlighed og dermed en større kontakt til naturen.

Boligerne i Hjortekær var afhængige af ”gratisvarme” for at overholde et energiforbrug til varme og opvarmning på 5000 kWh årligt, hvilket var målet. Målet blev overholdt, men undersøgelsen var baseret på simuleringer. Dermed blev der ikke taget hensyn til menneskelige fejl, som eksempelvis at glemme at lukke natskodderne om natten. En familie kan ikke forventes at udvise samme disciplin som en simulering.

Orangerier som termisk regulerende element kan medføre et større energiforbrug fremfor at sænke det. Det skyldes, at der i Danmark ikke er tradition for migration i boligen, og orangeriet i visse tilfælde vil blive indrettet som et almindeligt, helårs opholdsrum. Opholdsrummet vil i så fald være dårligt isoleret og kræve yderligere opvarmning.

Grøn arkitektur

Et fokus på lokale og fornybare ressourcer medvirker til en holistisk tankegang om naturen og boligen i et samarbejde, frem for boligen som et fremmed element i sine omgivelser. At vedkende sig et ansvar over for naturen som boligejer bidrager til forståelsen.

En holistisk tilgang er dog svær at komme i en boks, og hvis en bolig skal anses for at være ”mere” eller ”mindre” miljøvenlig, så afhænger vurderingen af den enkelte rådgiver. Med udgivelsen af BR77 gik bygningsreglementet fra konkrete beskrivelser af konstruktioner og materialer til en mere general og overordnet tilgang til opnåelsen af en lav u-værdi. Det gav plads til udviklingen af grønne boliger: En generel beskrivelse af konstruktioner kan indeholde udviklingen og gøre designprocessen mere fri. På den anden side, kan det resultere i mange forskellige definitioner af en grøn bolig. Dermed kan ordet trækkes og tilpasses, så det passer til adskillige boliger, hvis konstruktion er vidt forskellige. Det kan medføre risikoen for *greenwashing* og misforståelser.



Det
Kongelige
Akademi

Arkitektur
Design
Konservering

Bæredygtig arkitektur

Bæredygtig arkitektur behandler konstruktioner som enkelte elementer, fremfor en helhed. Derved sikrer man, at det enkelte element overholder kravene og yder optimalt. Ved beregning og certificering bliver kravene til en energioptimeret bolig simplificeret og konkretiseret og dermed nemmere at indarbejde for rådgiver. Endvidere sikrer intelligente installationer og målinger, at menneskelige fejl ikke reducerer boligens mulighed for at yde optimalt og garanterer et godt indeklima.

En bolig skal behandles som en helhed, så de enkelte egenskaber og kvaliteter – eksempelvis tunge materials varmeakkumulerende effekt – medtænkes som passive energibesparende tiltag. Hvis vi kun fokuserer på driftsenergien som noget, der bliver tilført fra et varmekværk og ikke ser potentialet i den natur som omgiver boligen, så går vi glip af den hjælp, som naturen gratis tilbyder os.

De mange beregninger og certificeringer giver indtrykket af en kalkuleret, optimal og distanceret håndtering af energiforbruget i en bolig. Men hvor er den kalkulerede fornuft, når isoleringsmængderne bliver større, men den varmeisolerende effekt fortager sig, når mængden overstiger 200 mm?



Det
Kongelige
Akademi

Arkitektur
Design
Konservering

5. Konklusion

Konklusionen vil forsøge at besvare problemformuleringen på baggrund af redegørelse, analyse og diskussion.

Energikrisen i 1973 har haft stor indvirken på dansk boligbyggeri. Danmark gik fra at udføre tusindvis af præfabrikerede typehuse årligt til at spare på energien ved hjælp af nationale kampagner. Nødvendigheden tog over – primært af økonomiske hensyn, men senere også af miljømæssige hensyn. Spørgsmålet er, om processen fra harmoni til at beskytte til håndtere har fremmedgjort os fra vores omgivelser trods et større fokus på miljøet? Om økonomi er en mere effektiv drivkraft frem til samme mål? Energiministeriet indgik i et projekt, Hjortekær, hvor en bolig og dets beboere var aktive aktører, frem for nutidens fokus på intelligent teknologi, der fritager beboeren fra at forholde sig til hverken bolig eller natur. Studiet indeholdt fejl, men boligerne var rationelle.

Det er svært at passe på noget, man ikke har et forhold til. Derfor kan distanceringen til de nære omgivelser og naturen generelt komme i vejen for en yderligere ”bæredygtig” og energioptimeret udvikling af boligbyggeriet. Opgavens analyse af øko-arkitektur og grøn arkitektur viser et større kendskab til boligens nære omgivelser, fremfor den massive, fysiske barriere, der er kendetegnet ved nutidens boligbyggeri. Her er klimaskærmen bæredygtig og energioptimeret, fordi den er håndteret og beregnet.

Enfamiliehuset kan i dag være bæredygtigt – ved yderligere beregninger formentlig absolut bæredygtigt – som defineret i Elizabeth Donovans artikel, men grøn eller øko-arkitektur bliver det ikke. Som sagt, er Danmark ikke blot i en energikrise, vi er også i en økonomisk krise. Hvis økonomi er den mest effektive design driver, så må forhåbningen være, at boligbyggeriet vil tilpasse sig de sociale conditioner og udviklingen vil vende sig mod det grønne og økologiske igen.



Det
Kongelige
Akademi

Arkitektur
Design
Konservering

6. Referencer

- Beim, A., & McNair, L. L. (2022). *Teknik og Arkitektur - mod en bedre byggeskik*. København: CINARK.
- Byberg, M. R., & Saxhof, B. (1982). *Lavenergihus i Hjortekær - konstruktioner, arbejdsudførelse og erfaringer*. København: Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole.
- Danske Boligarkitekter. (21. december 2022). *Typehus fra 60-70erne: Danske Boligarkitekter*. Hentet fra Danske Boligarkitekters websted: <https://www.danskeboligarkitekter.dk/boligtyper/typehus-fra-60-70erne>
- Dirckinck-Holmfeld, K., Møldrup, S., Amundsen, M., & Sørensen, L. L. (1994). *Økologisk byggeri i Danmark*. Arkitektens Forlag 1994.
- Donovan, E. (2017). *FROM SUSTAINABILITY TO RESILIENCE: AN EXPLORATION OF THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE ARCHITECTURE TERMINOLOGY*. London: London South Bank University.
- Grove, H. (1998). *Økologi i Parcelhuset*. Århus: Forlaget Modtryk.
- KD-H. (14. august 1979). Lavenergihusene i Hjortekær. *Arkitekten*, s. 315.
- Munch-Petersen, P., & Ejstrup, H. (2017). *The relations between building performance and embedded energy - a new focus on building materials*. London: London South Bank University.
- Mur & Tag. (21. december 2022). *Typehuset 1960-79 Ver II: Mur & Tag*. Hentet fra Mur & Tags websted: https://www.mur-tag.dk/fileadmin/user_upload/Editor/filer/EUDP-I_Parcel_Materiale/Typehuset_1960-79_Ver_II.pdf
- Poulsen, M., & Lauring, M. (2019). The Historical Influence of Landscape, Ecology and Climate on Danish Low-rise Residential Architecture. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 91-102.
- Søndertoft, T. S. (20. december 2022). *Fortidens og fremtidens bæredygtige arkitektur i Danmark: Dansk Kulturinstitut*. Hentet fra Dansk Kulturinstituts websted: <https://www.danishculture.com/da/blog/2017/02/10/fortidens-og-fremtidens-baeredygtige-arkitektur-i-danmark/>



Det
Kongelige
Akademi

Arkitektur
Design
Konservering

HVORDAN KAN VI ANVENDE PLAST SOM ET

MODULÆRBART EFTERISOLERINGS-

ELEMENT ?

INDHOLD

PROBLEMFELT OG INSPIRATION

MATERIALE

TEKNIK

CASE

ABSTRAKTION MED PERSPEKTIVERING

PROBLEMFELT OG INSPIRATION

SAMFUNDETS REAKTION

”(..) Retrospectively, Vitruvius along with vernacular architecture can be seen as the vanguard of sustainable architecture. Both of which responded to the societal conditions of their time, they built with local considerations and addressed environmental concerns out of necessity.”

Elizabeth Donovan
FROM SUSTAINABILITY TO RESILIENCE: AN EXPLORATION OF THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE ARCHITECTURE TERMINOLOGY



1973 Energikrise
BR77

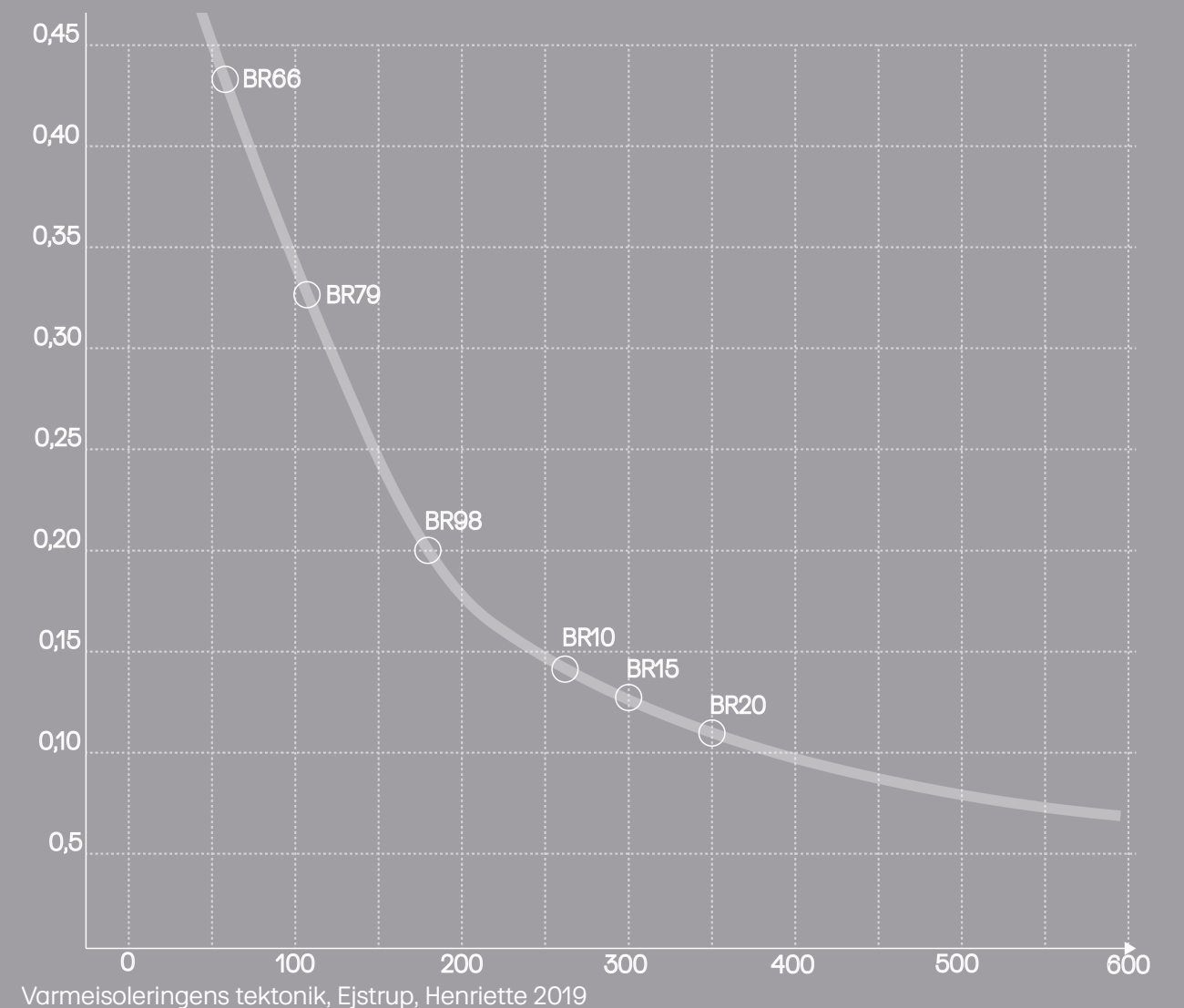


Energikrise + Ressourcekrise + Klimakrise
MEN
Overflod af plastiskaffald

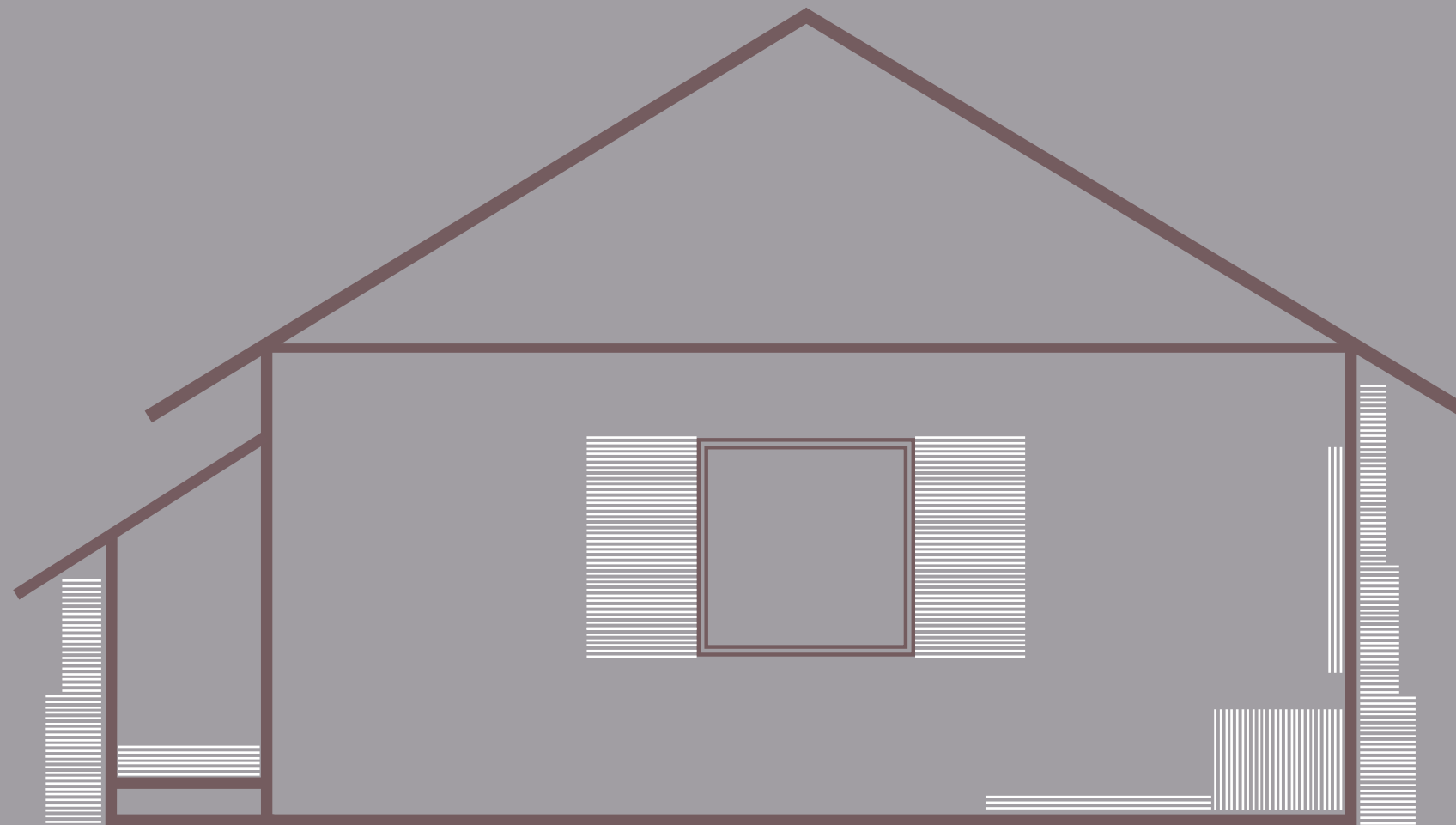


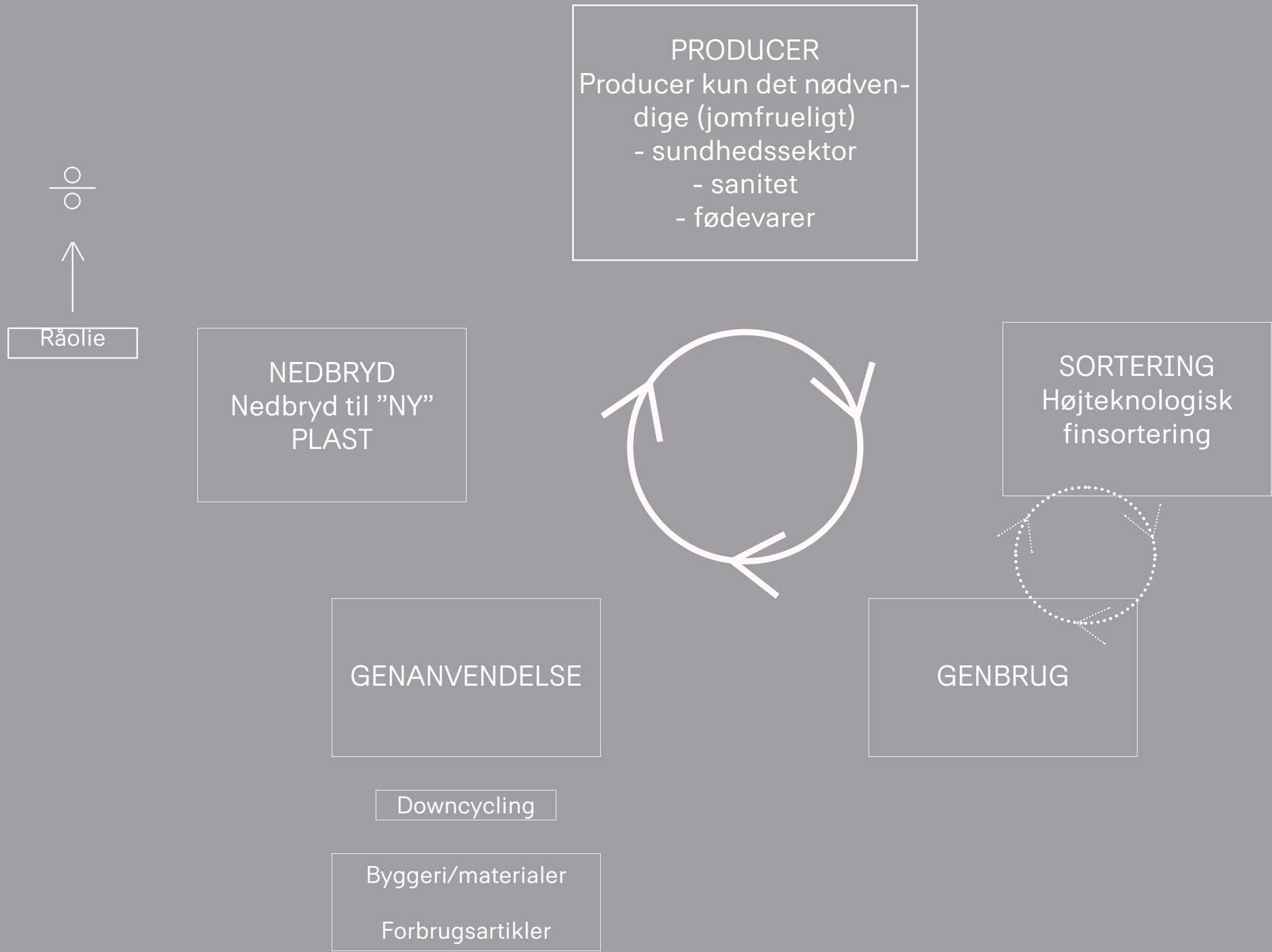
Tykke **sweatere** både inde og ude

<https://www.dr.dk/nyheder/indland/plastik-doerene-og-islandske-sweatere-saadan-tackledede-vi-energikrisen-i-70erne>

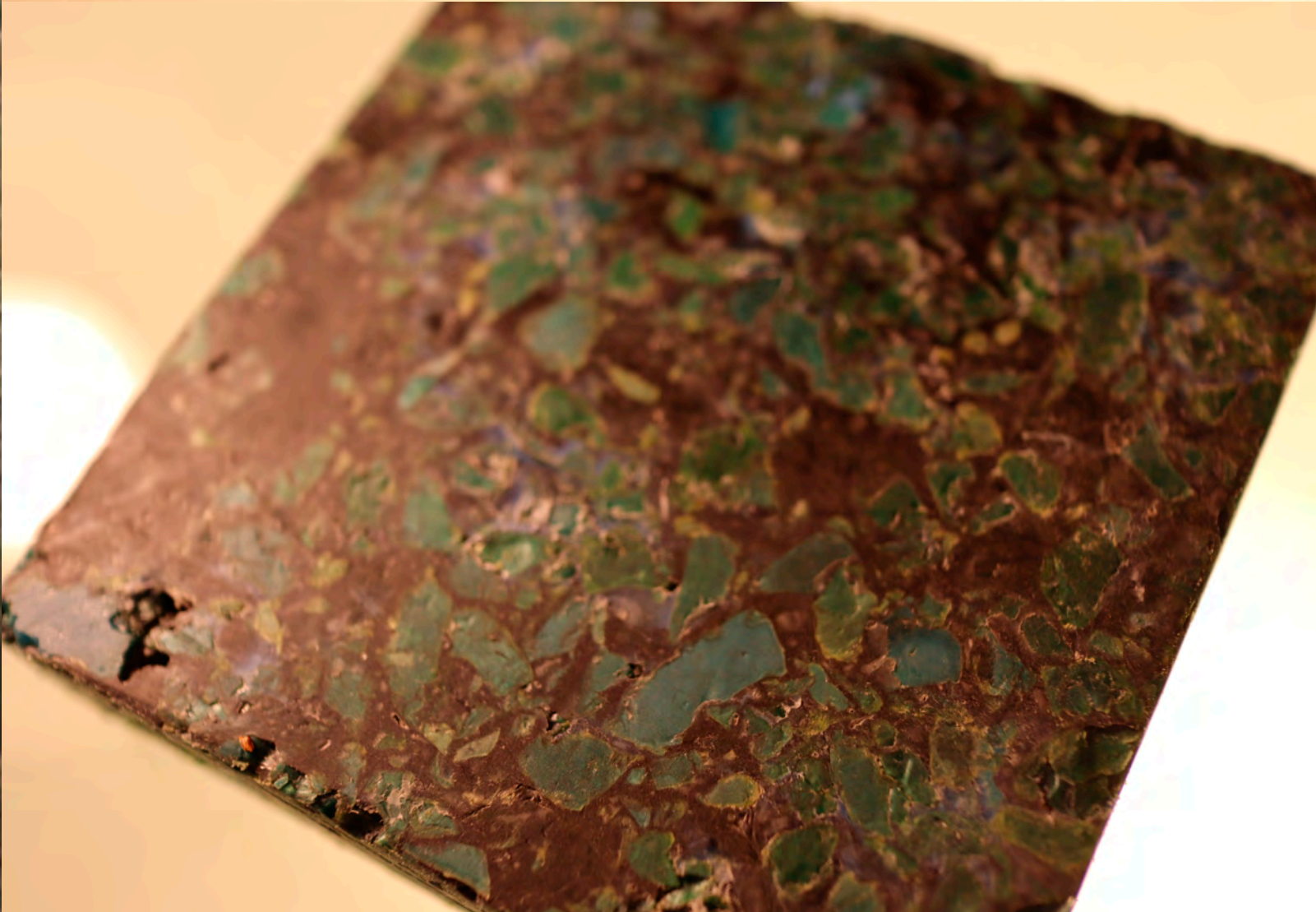
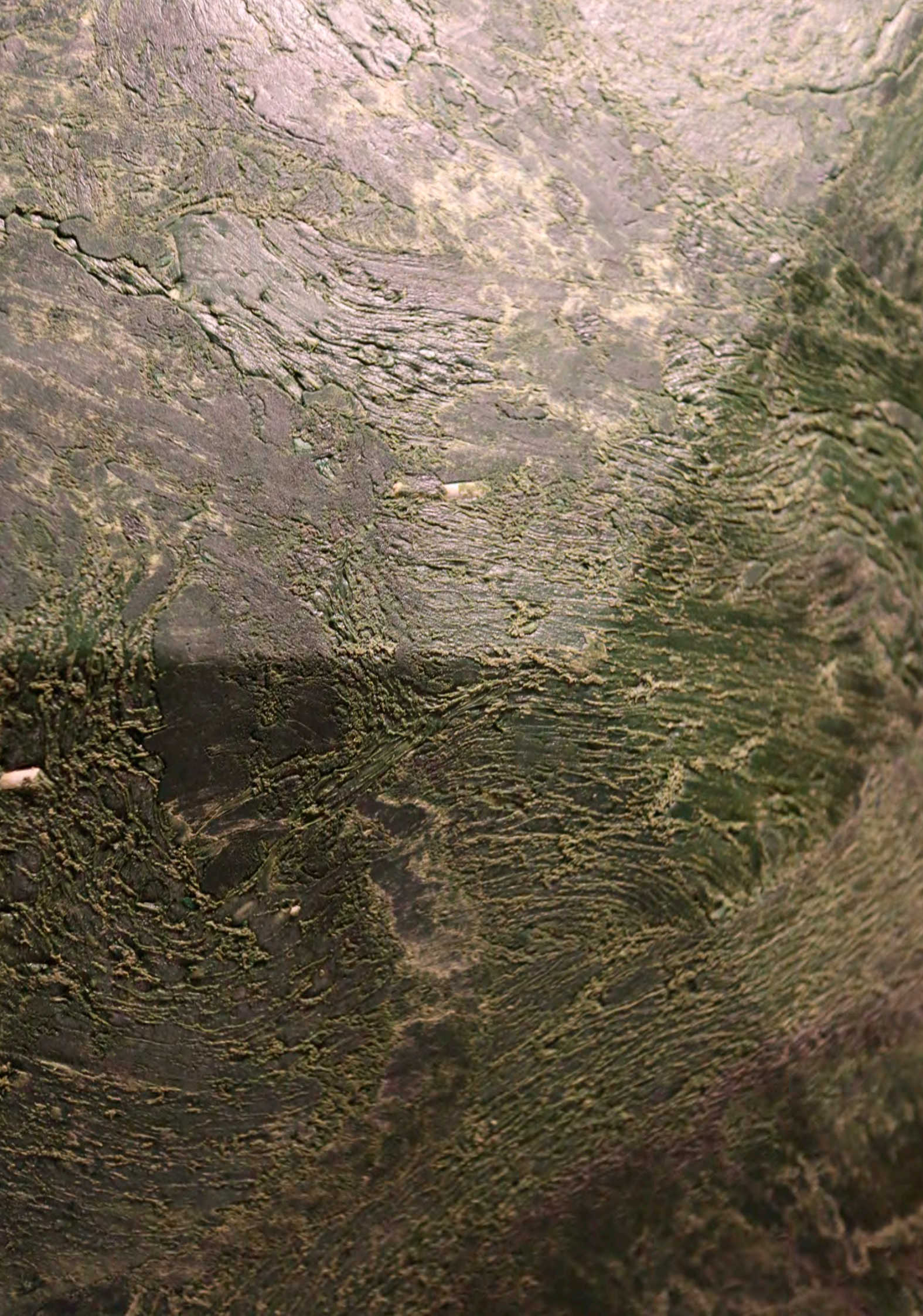


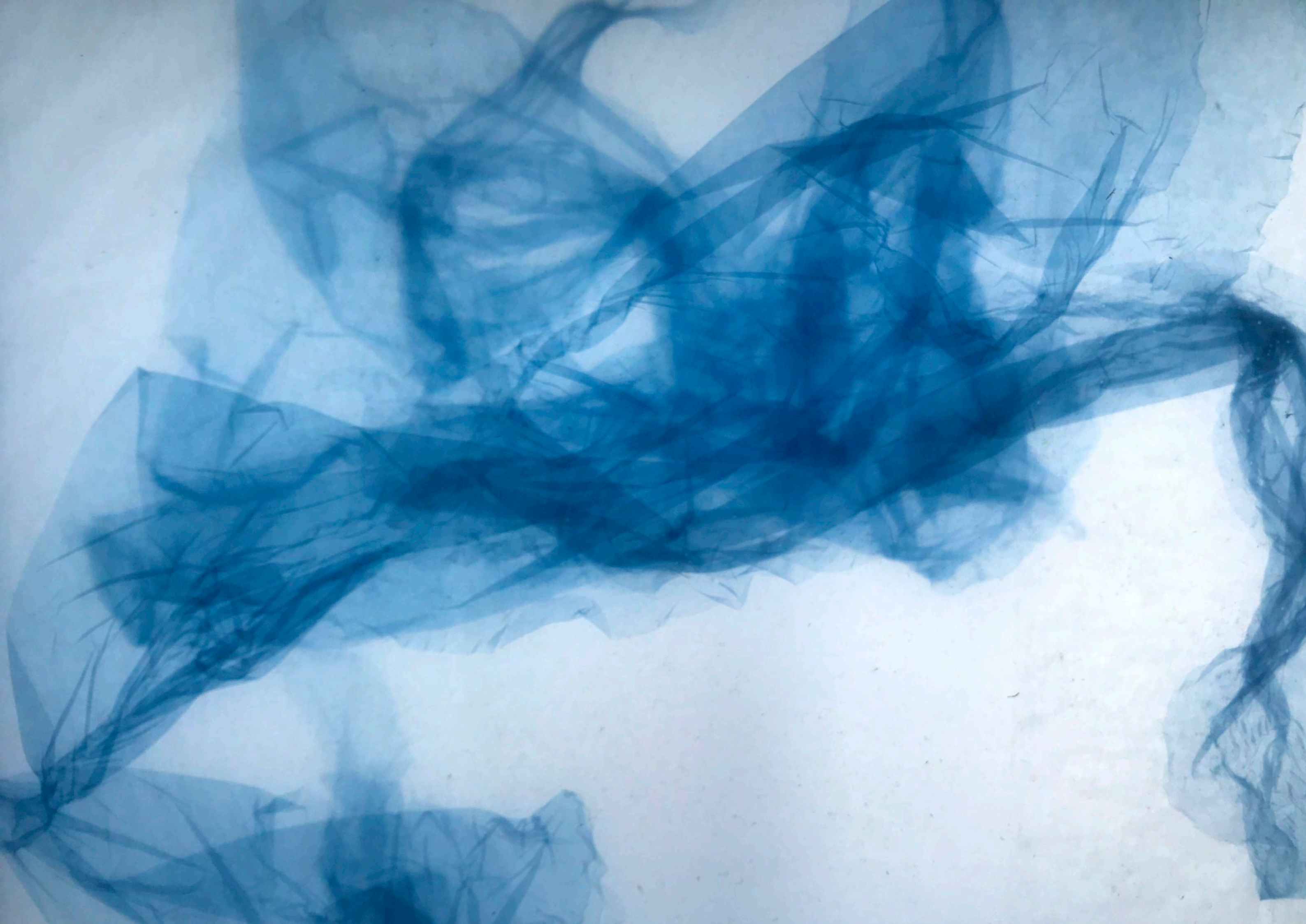
HISTORISKE VARMEKOMFORTSKABENDE BYGNINGSELEMENTER



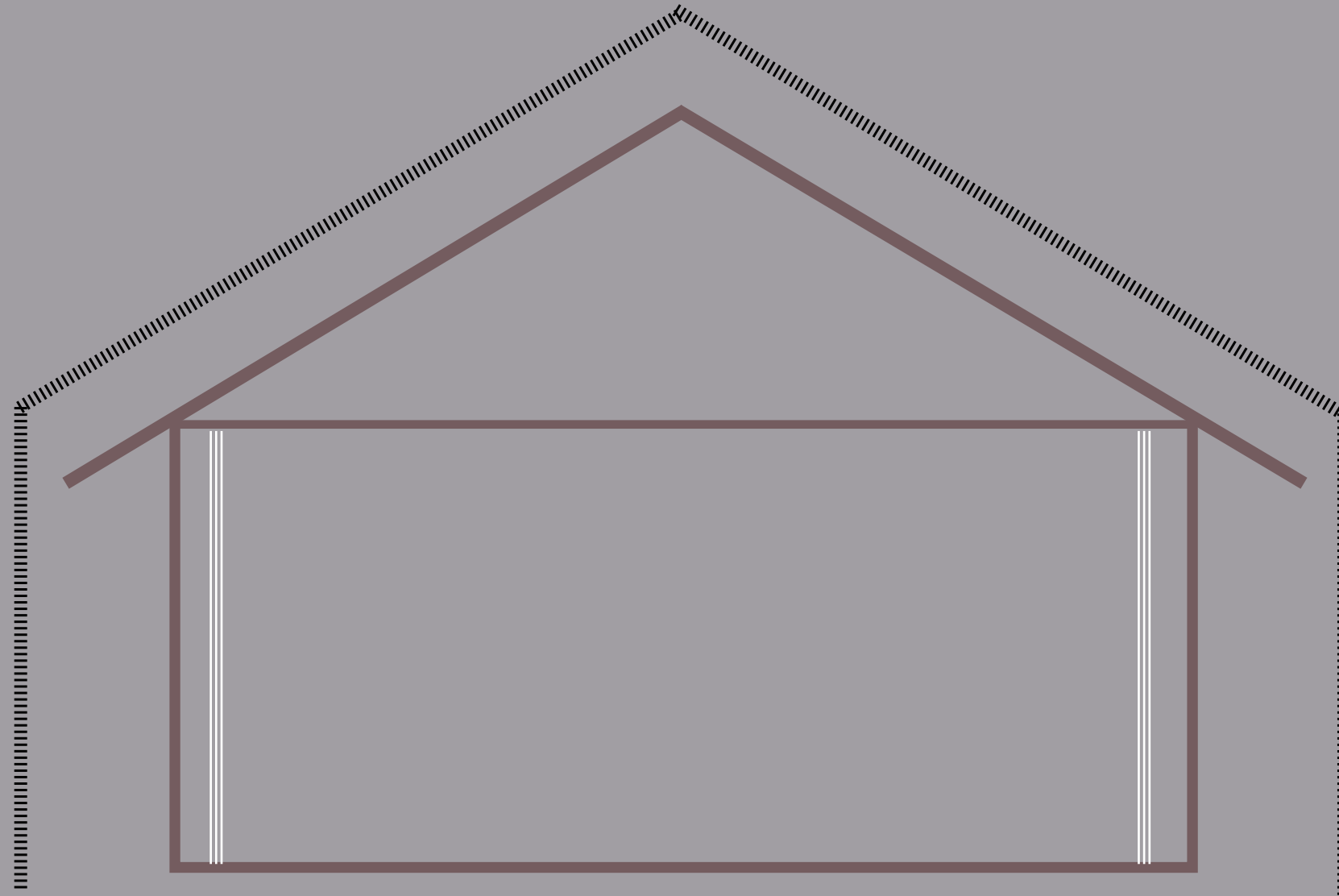


MATERIALE





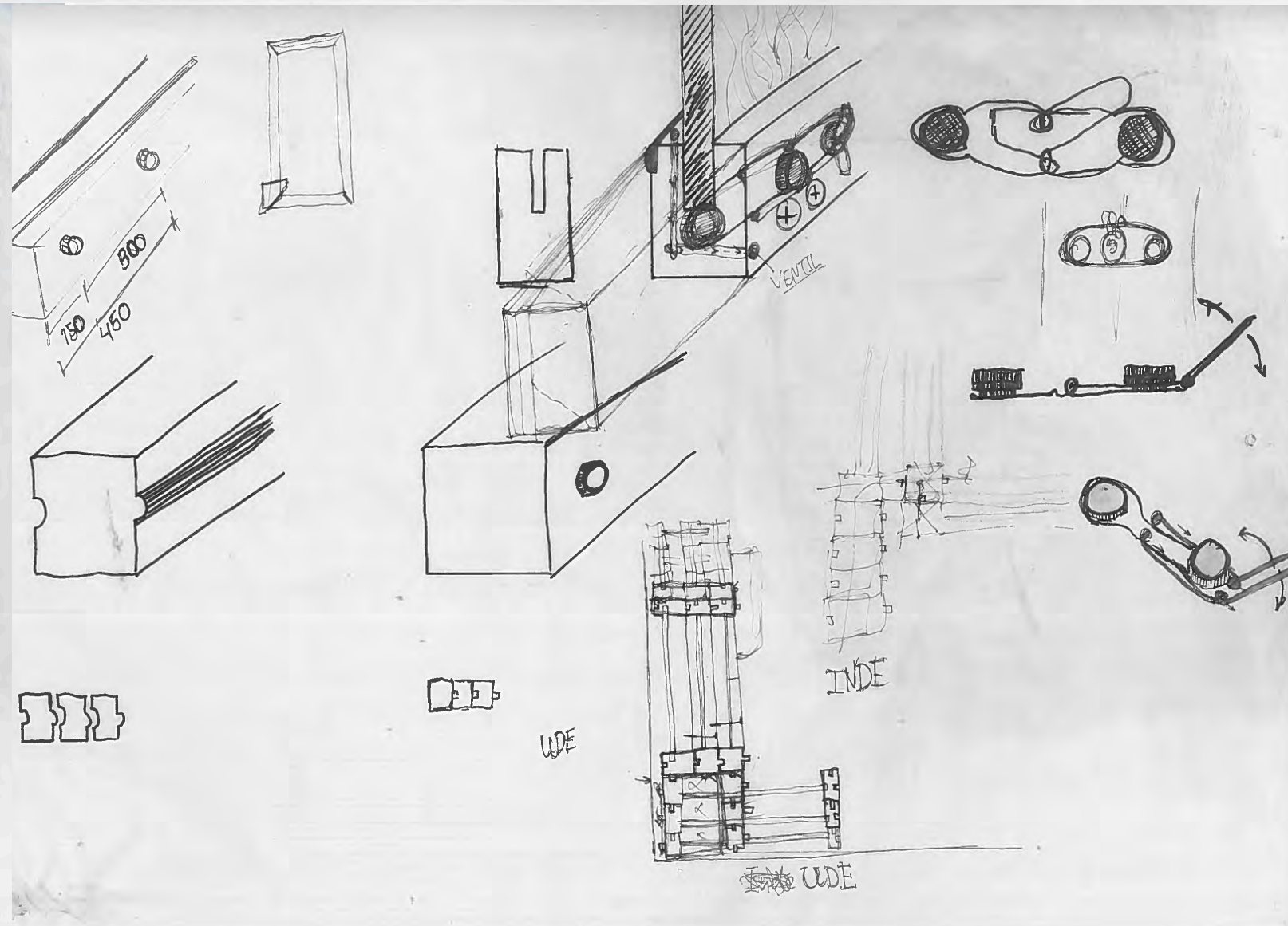
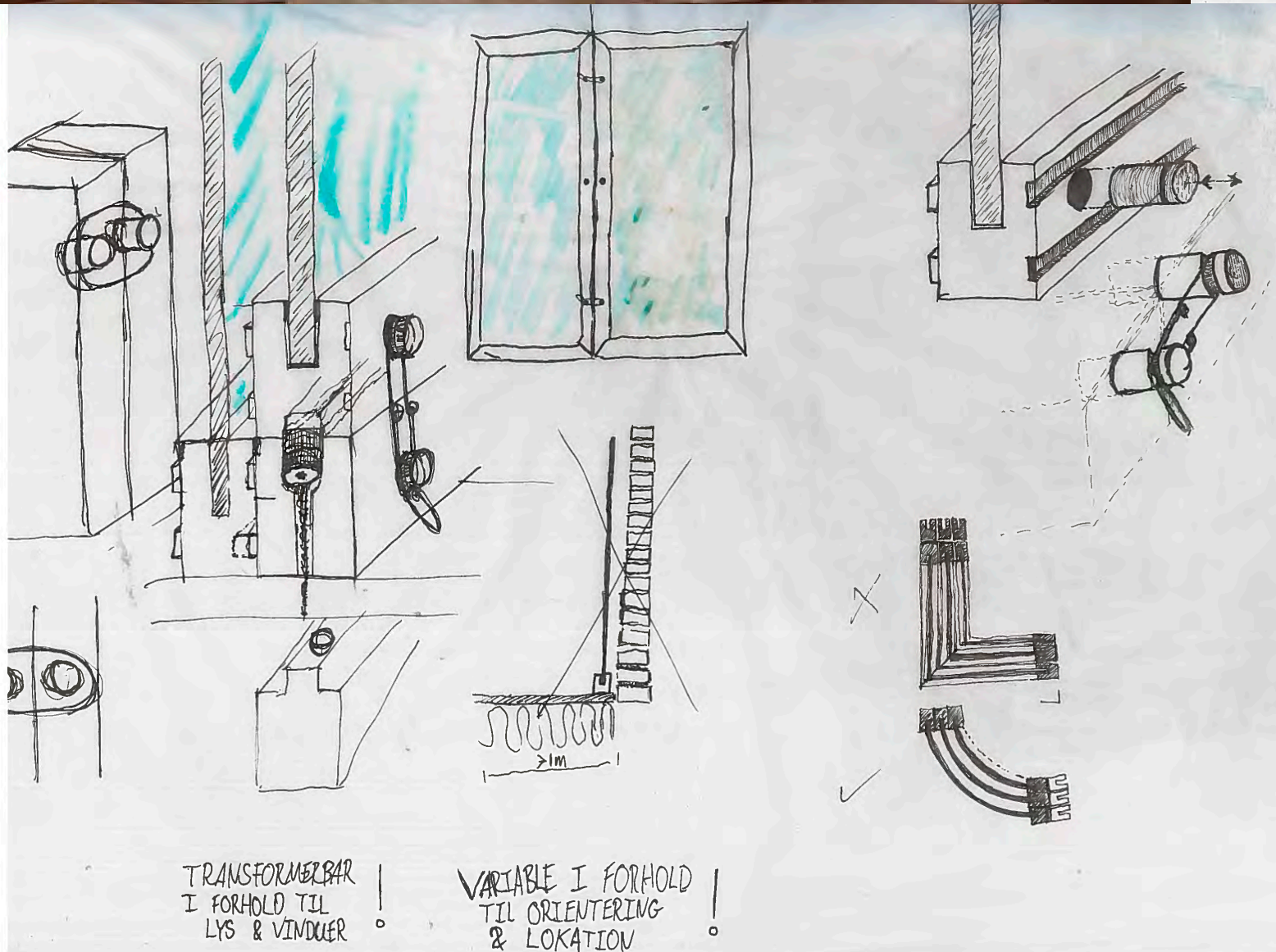
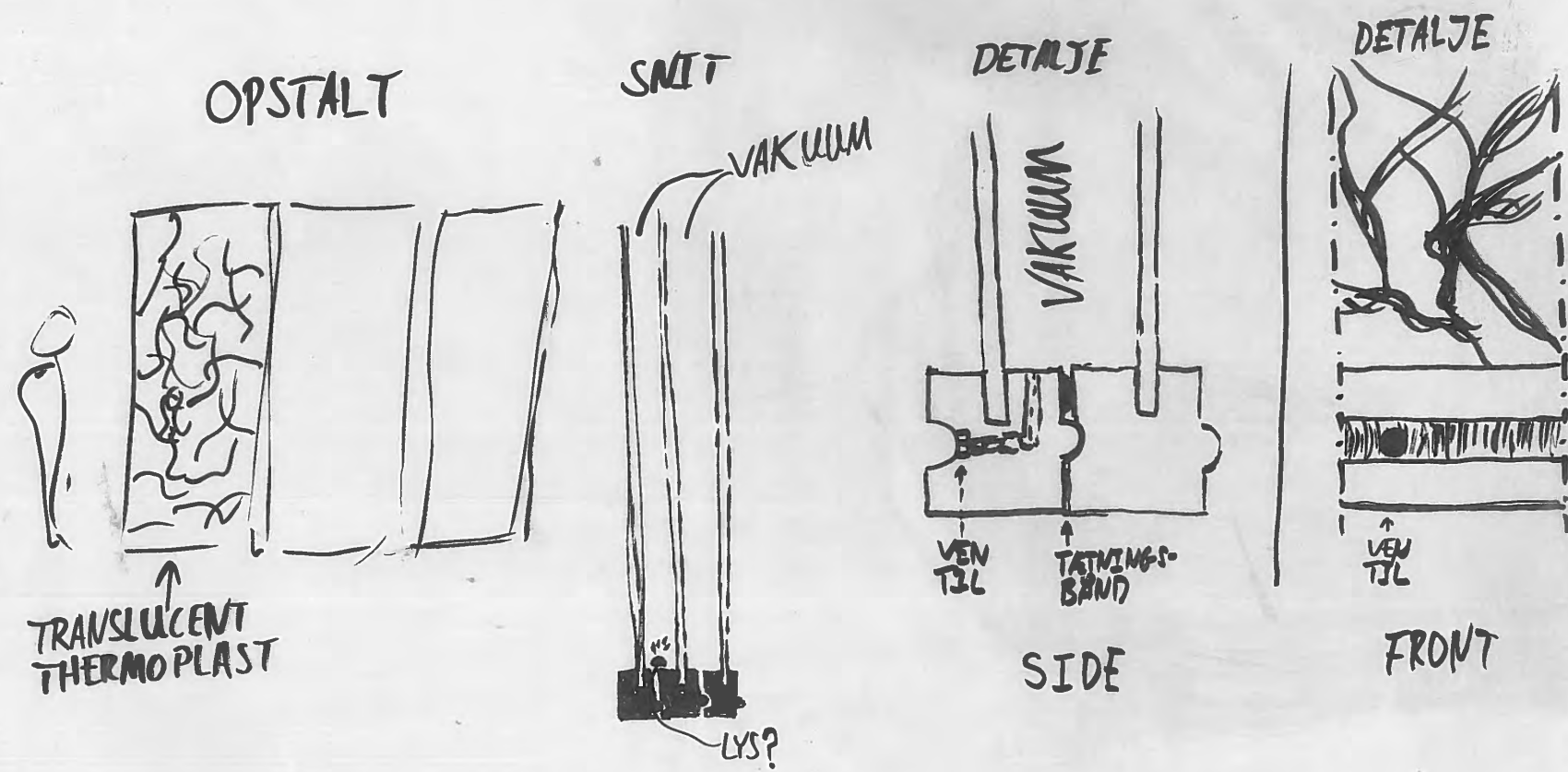
IKKE EN FRAKKE, EN FORING



foring = det at fore med et beskyttende eller udsmykkende materiale.

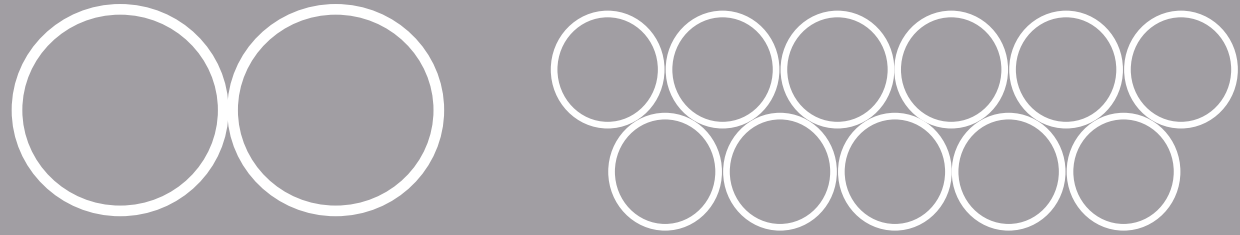
UNDERSØG IDÉEN I DETALJEN

e-BO Exhibition pavilion, BOLOGNA af Maria Cucinella Architects



PLADER MED VACUUM

CYLINDER MED UDSATTE SAMLING

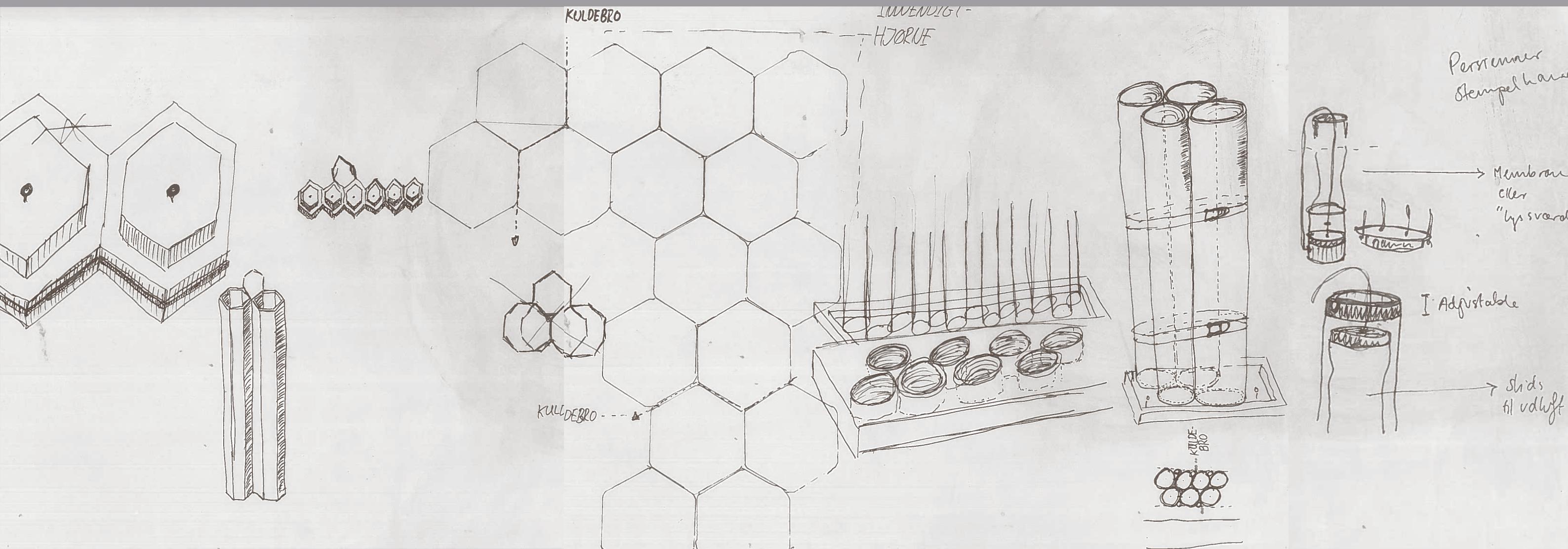


HEKSAGONER MED LANG KULDEVANDRING



ØNSKEDE EGENSKABER TIL GENANVENDT PLAST

- FORMSTABILT
- FORMGIVES VIA: EKSTRUSERING OG BLÆSESTØBNING
- GOD BARRIER MOD FUGT
- INTET INDHOLD AF FARLIGE KEMIKALIER
- INTET UNØDVENDIGT BEHOV AF ADDITIVER
- BILLIGT OG TILGÆNGELIGT I STORE MÆNGDER (SCALERBART)
- VARIERENDE KVALITET ER OK. DETTE KAN INDARBEJDES I PRJEKTET



KONCEPT AFPRØVET I 1:10

0 LAG



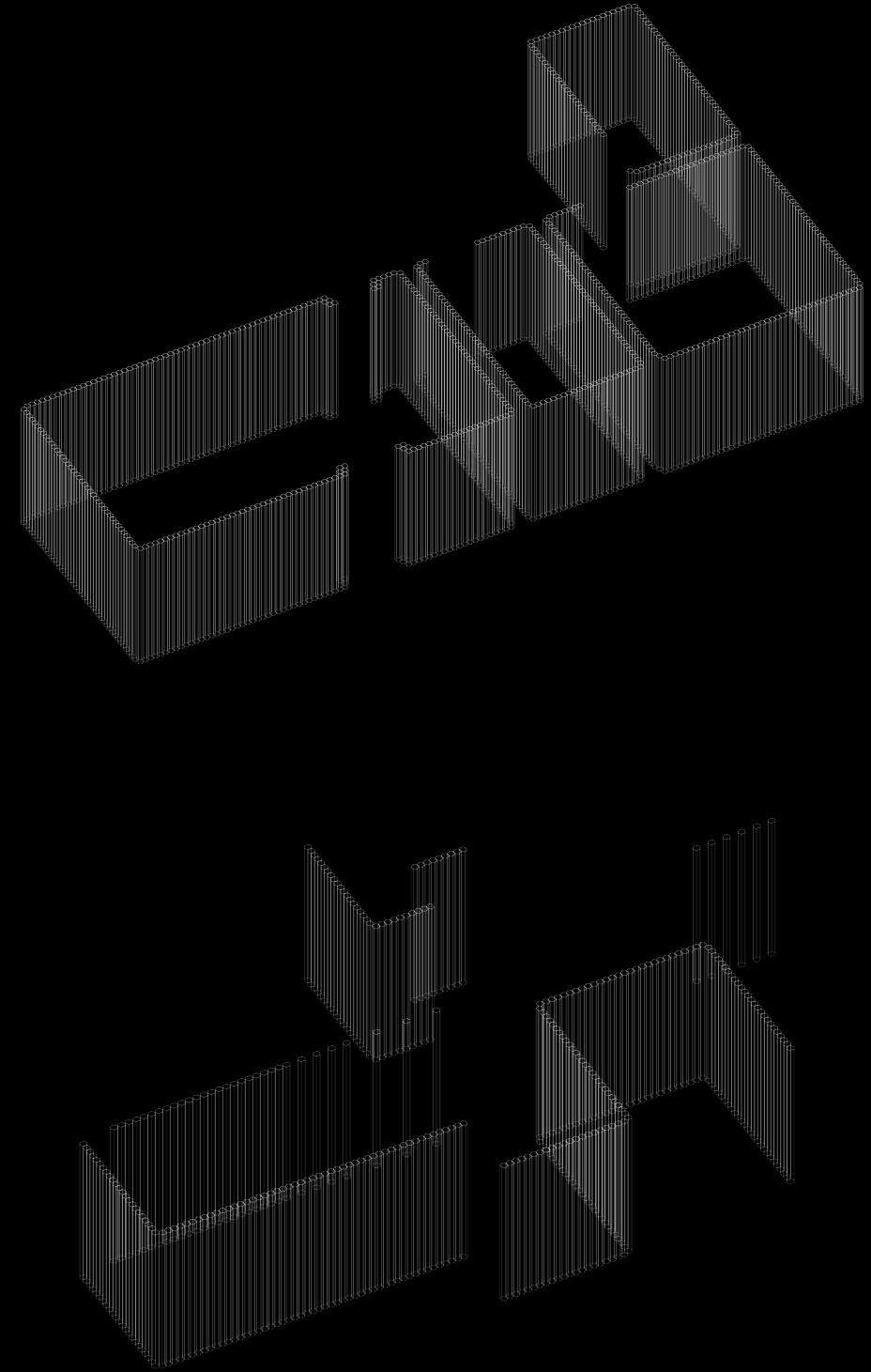
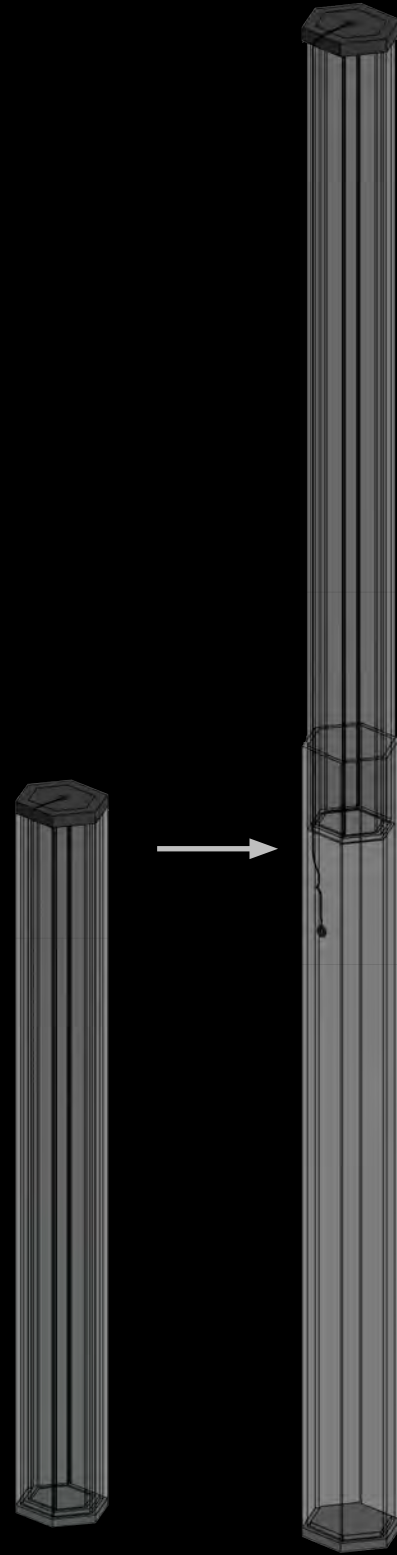
1 LAG



2 LAG



ELEMENTER



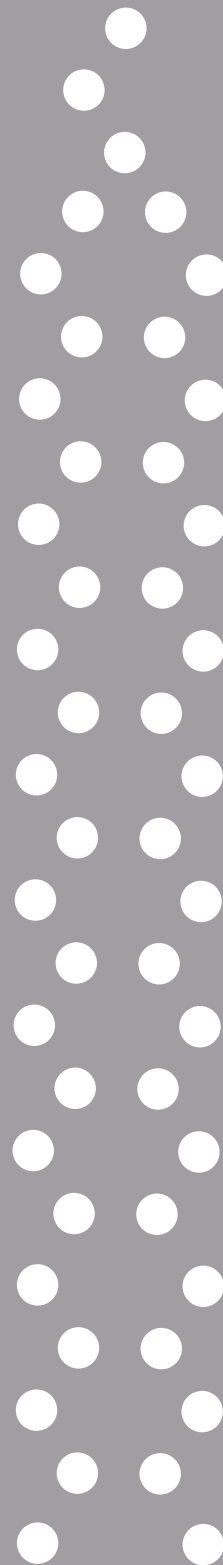
HVORDAN KAN VI ANVENDE PLAST SOM ET MODULÆRBART EFTERISOLERINGS ELEMENT?

TILFØJE KOMPLESITET FOR AT LØSE
PROBLEMEMATIKKER

KONVENTIONEL FORSTÅELSE AF ISOLERING

BRUGE FORSKELLIGE PLAST TYPER EFTER BEHOV

MANIPULATION AF MATERIALE VIA ADDITIVER

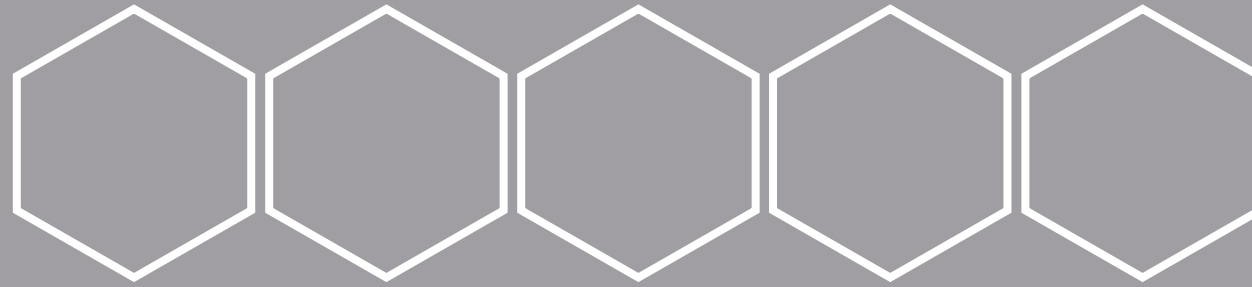
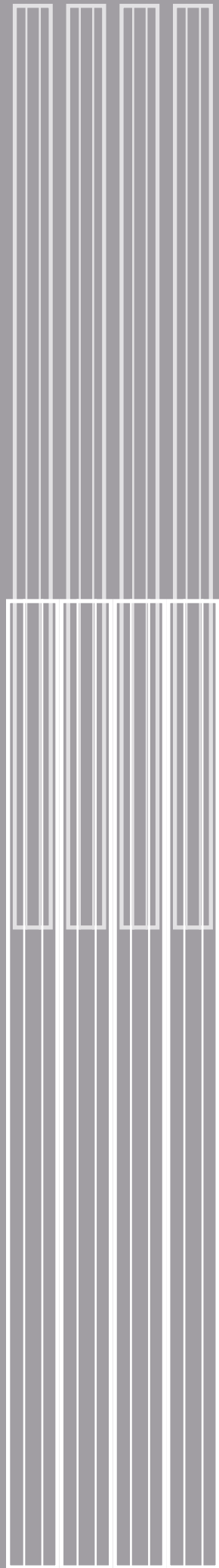


REDUCERE KOMPLESITETEN I LØSNINGEN

ANDEN FORSTÅELSE AF ISOLERING

UDELUKKENDE ANVENDE THERMOPLAST

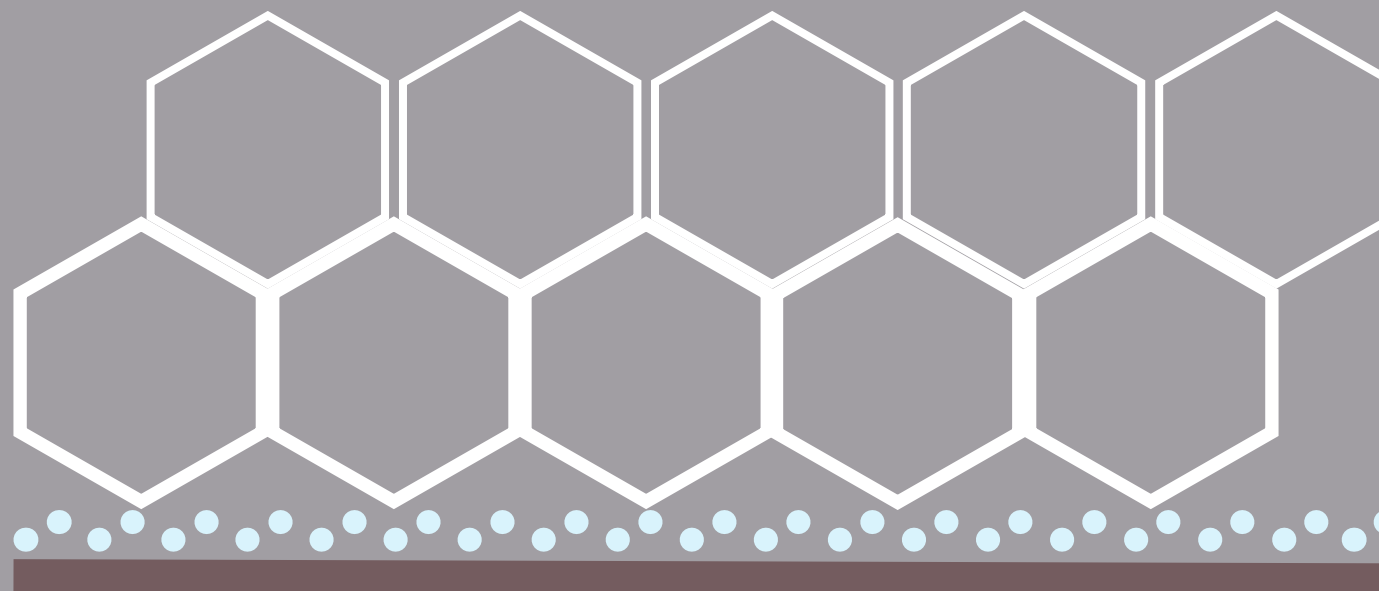
AT BRUGE MATERIALET IBOENDE
KVALITETER



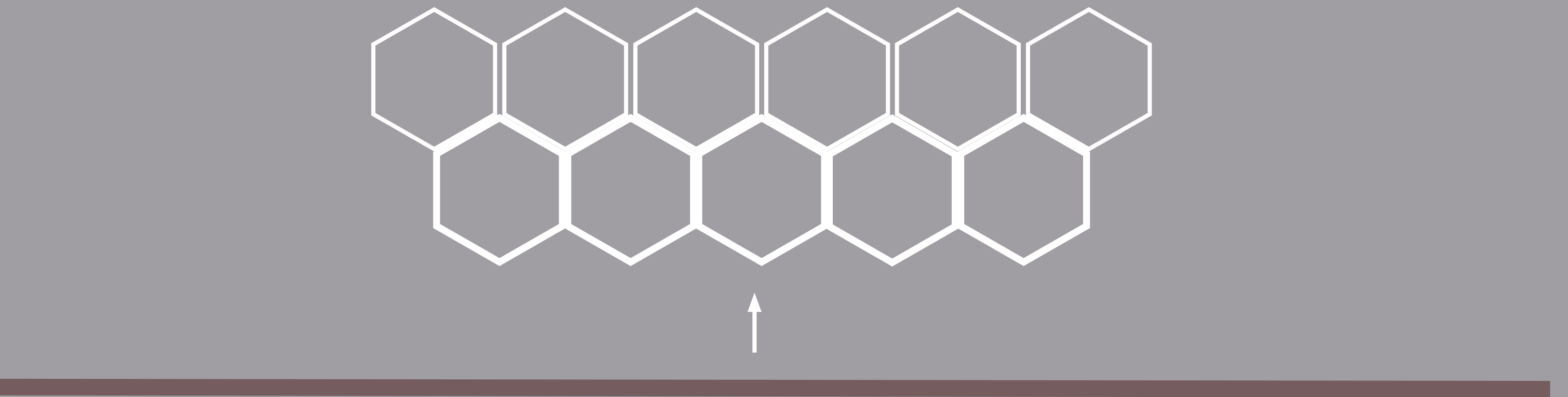
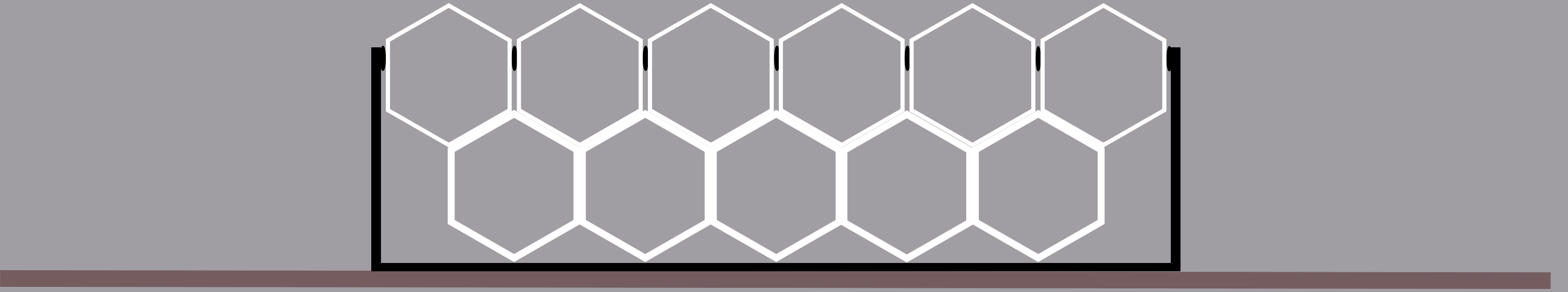
IKKE LUFTTÆT =
KOMFORTSKABENDE

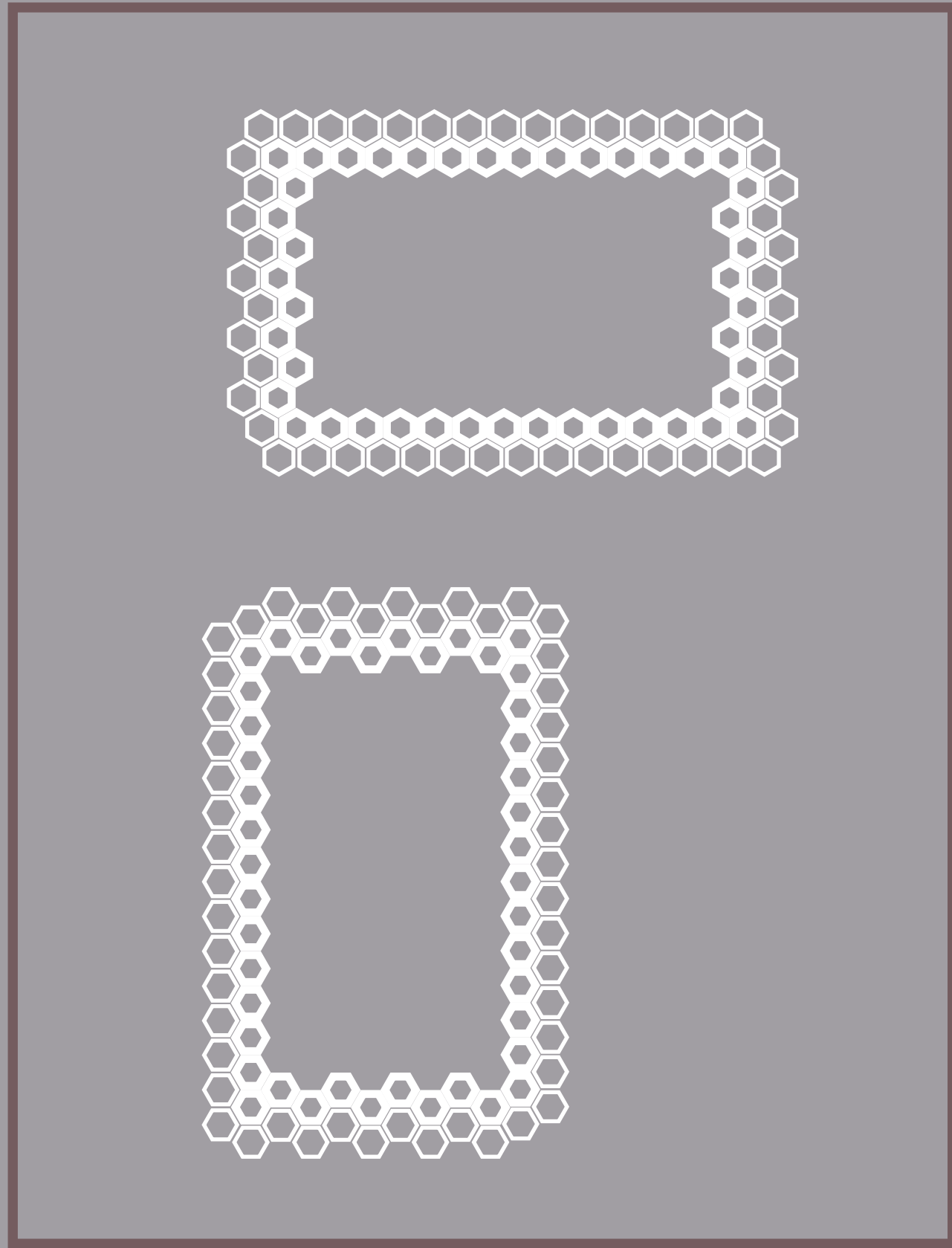
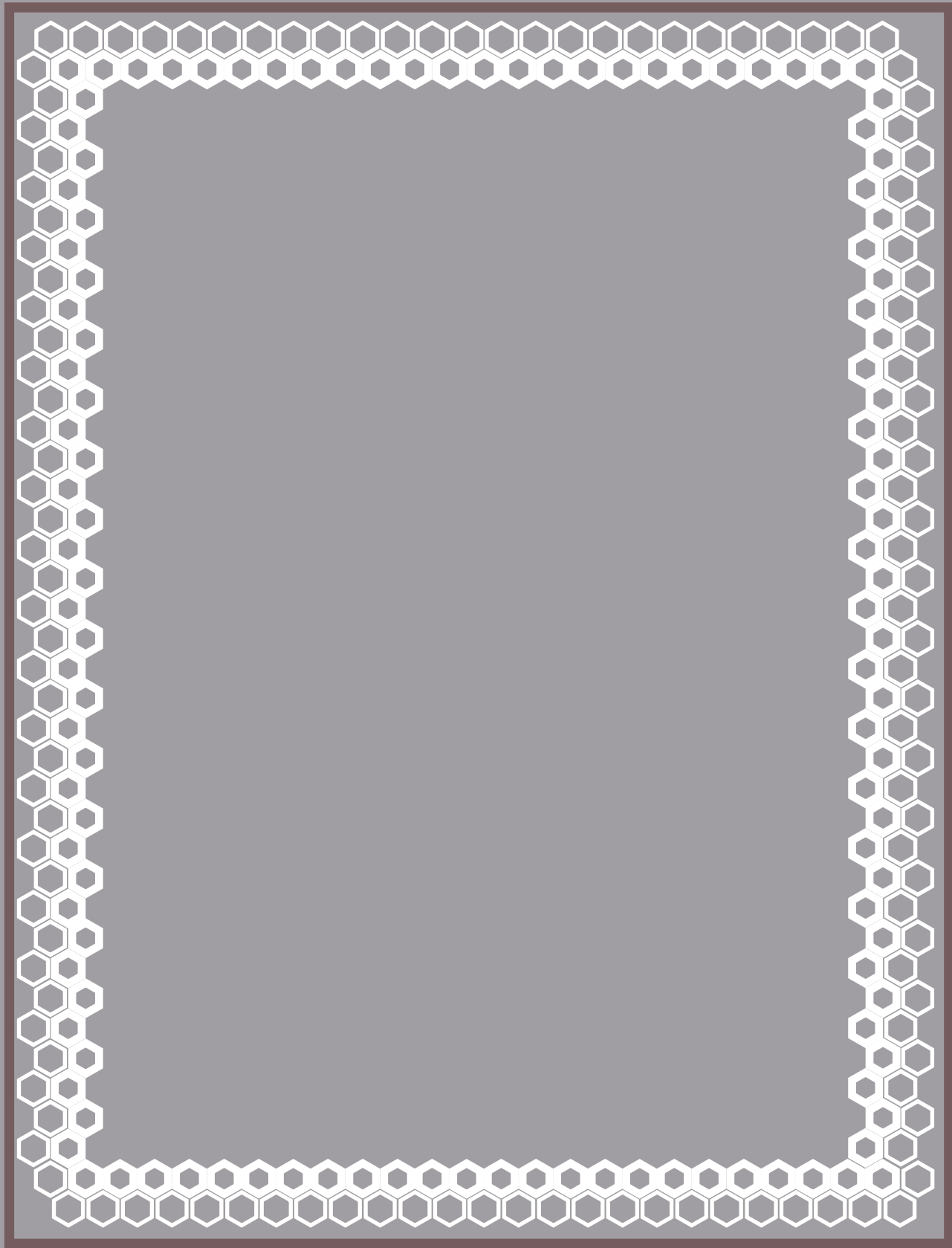


LUFTTÆT =
ISOLERENDE

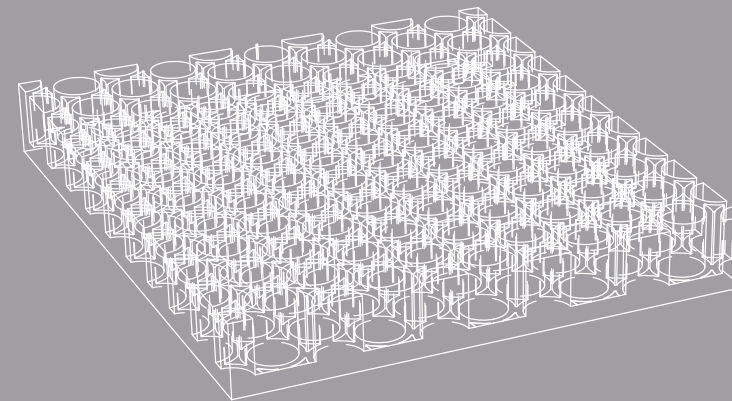
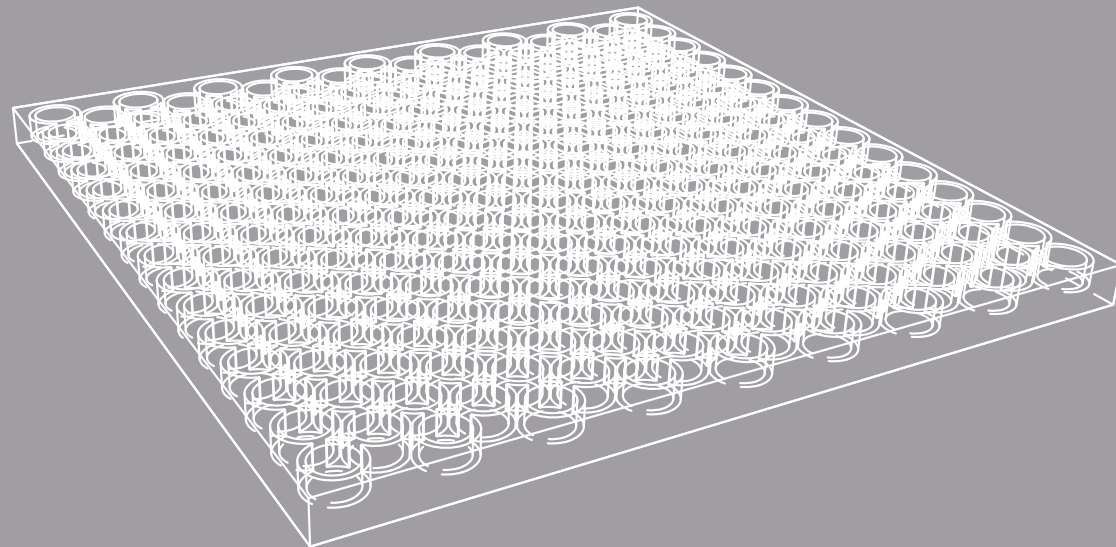
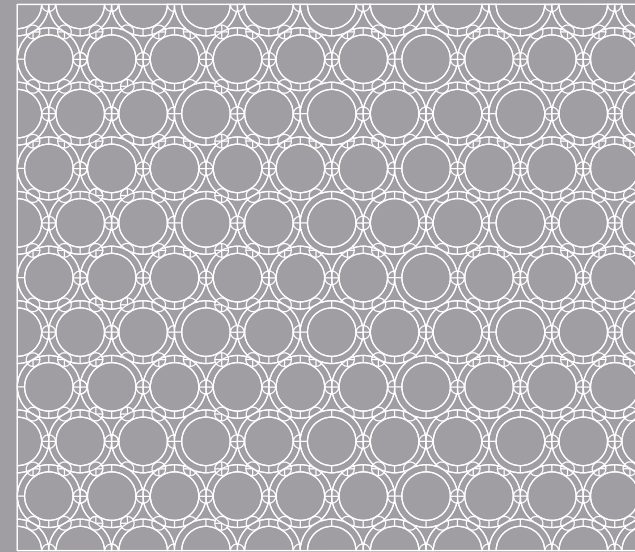
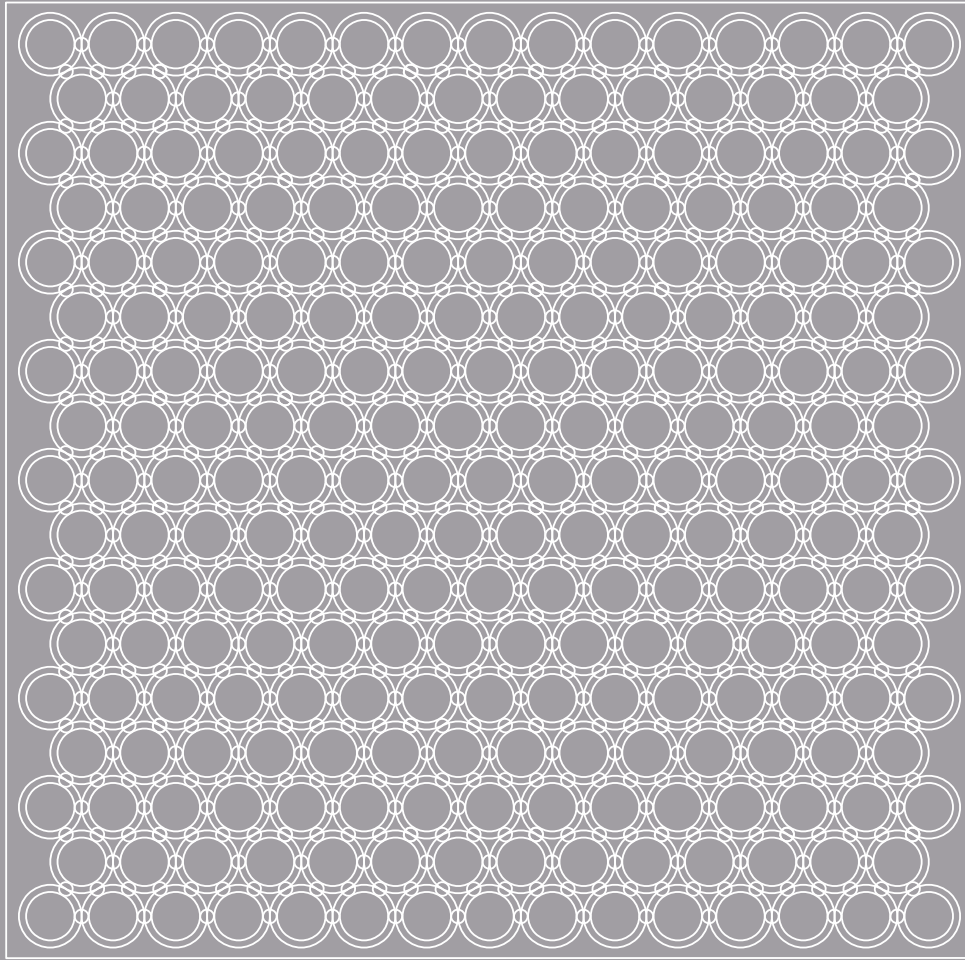


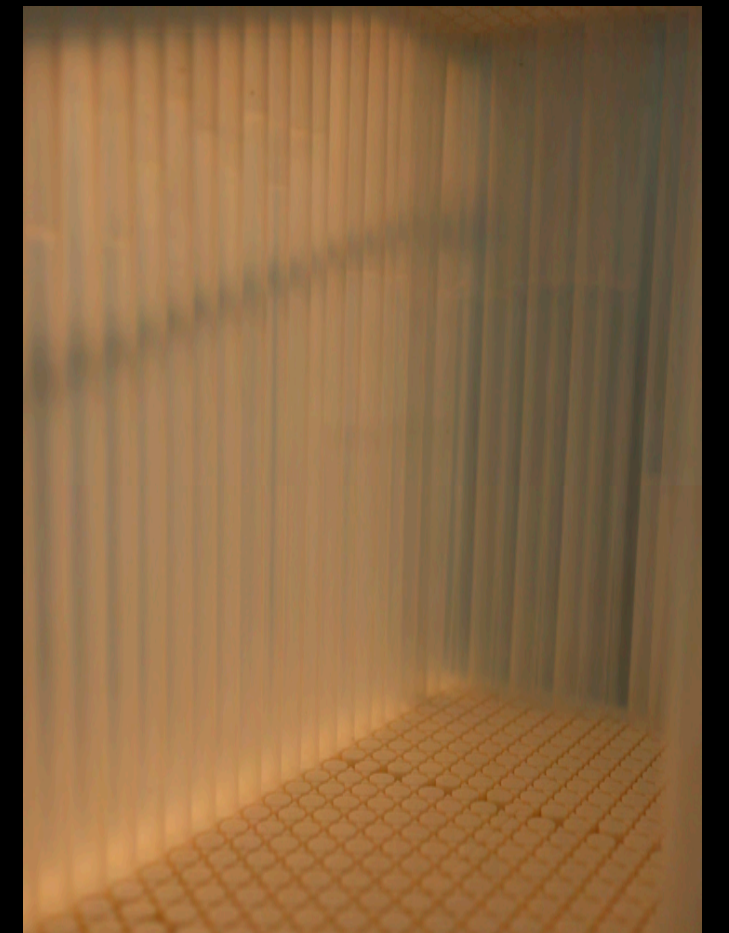
ET LUFTTÆT LAG
SKABER
FUGT PROBLEMER



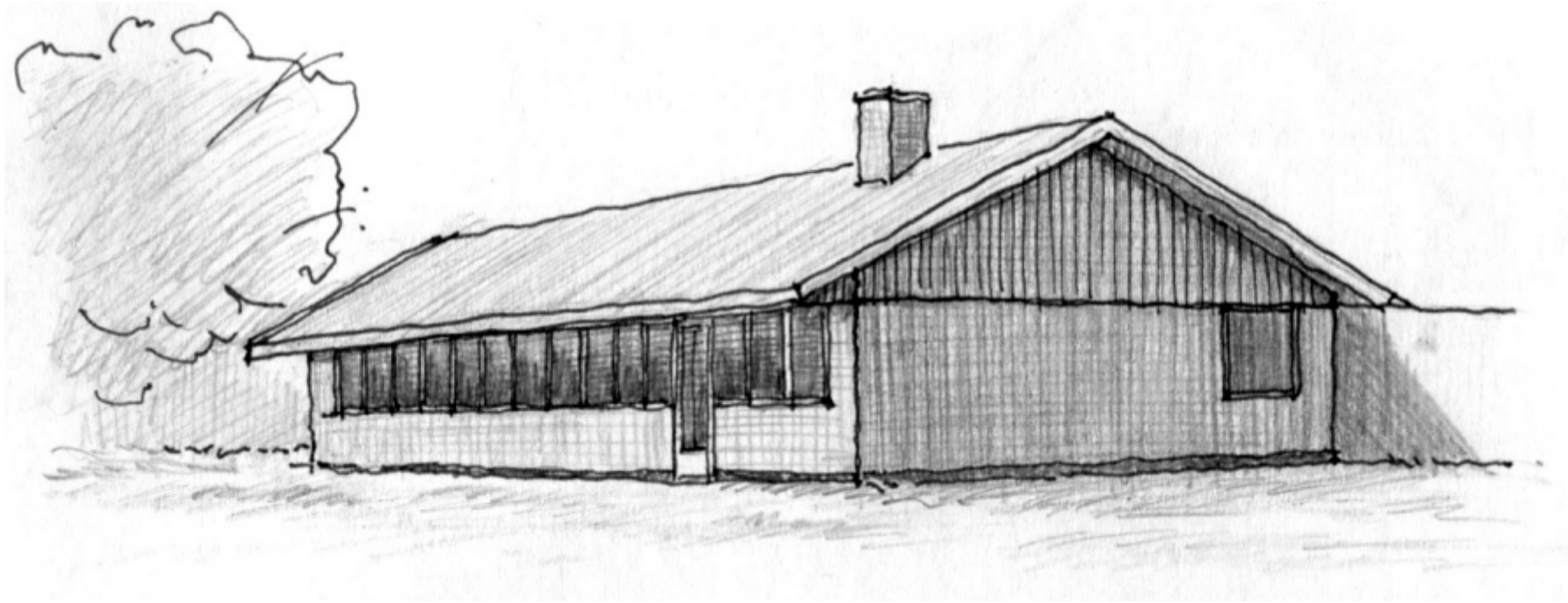


MODELUNDERSØGELSER 1:10





CASE-PROJEKT



Typehuset 1960-1979

40% af typehusene i DK*

Lave krav til varmeisolering

Ingen krav til linjetab

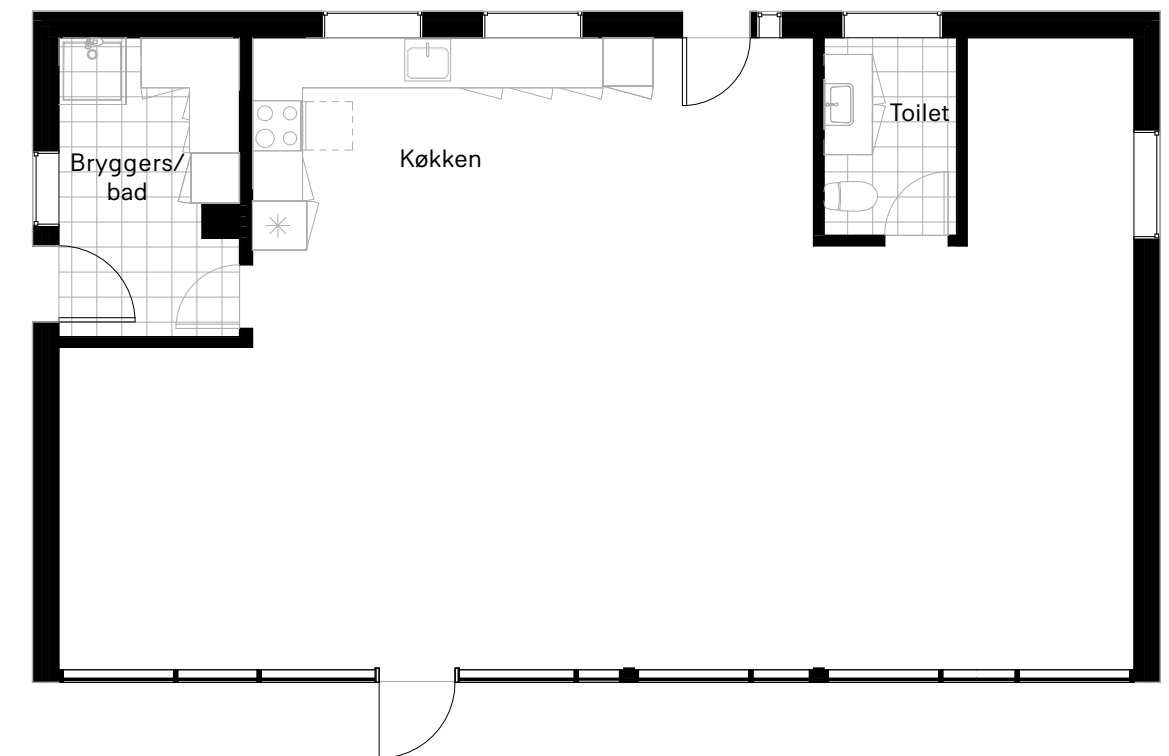
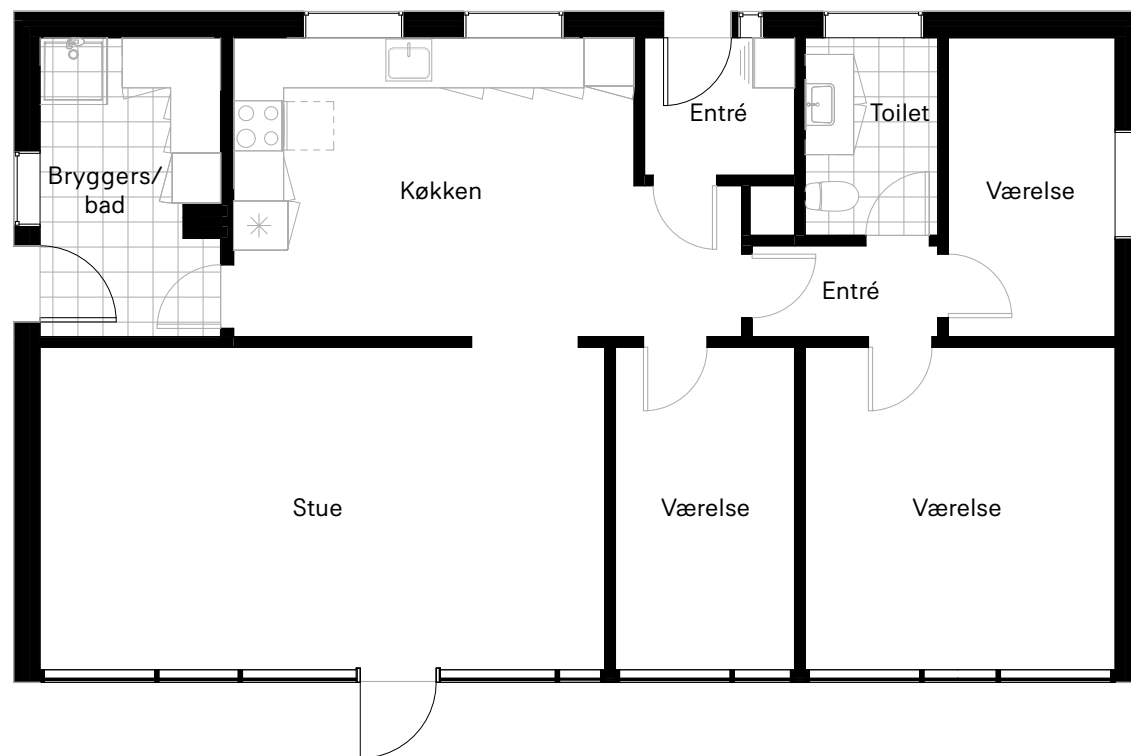
Statik: Bærende ydervæg og saksespær



Nye behov - alternativ plan

Flere beboere pr. bolig

Bevar bygningsmasse - opgrader

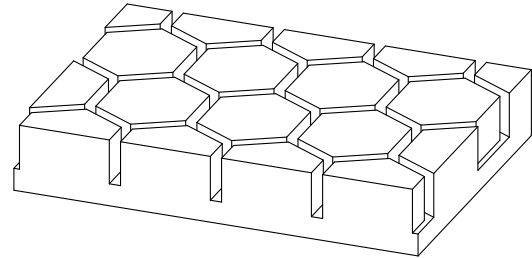


*Danmarks Statistik, 2010

MONTAGEPRINCIP

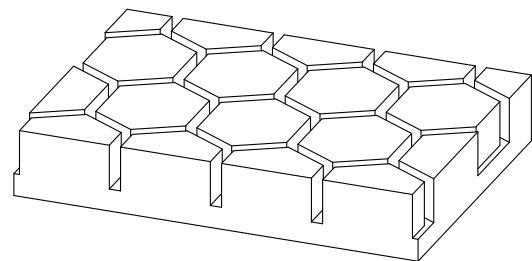
MANUAL, ELEMENTER

A



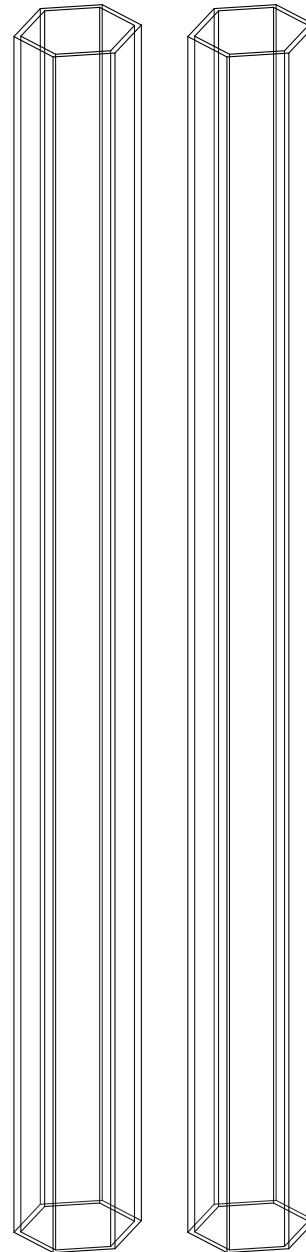
Højde 60 mm
Bredde 900 mm
Længde 1200 mm

B



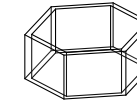
Højde 60 mm
Bredde 900 mm
Længde 1200 mm

C



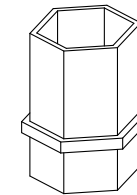
Højde 1090 mm
Bredde 90 mm
Længde 100 mm

D



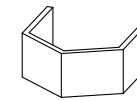
Højde 40 mm
Bredde 90 mm
Længde 100 mm

E



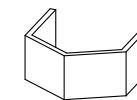
Højde 130 mm
Bredde 90 mm
Længde 100 mm

F



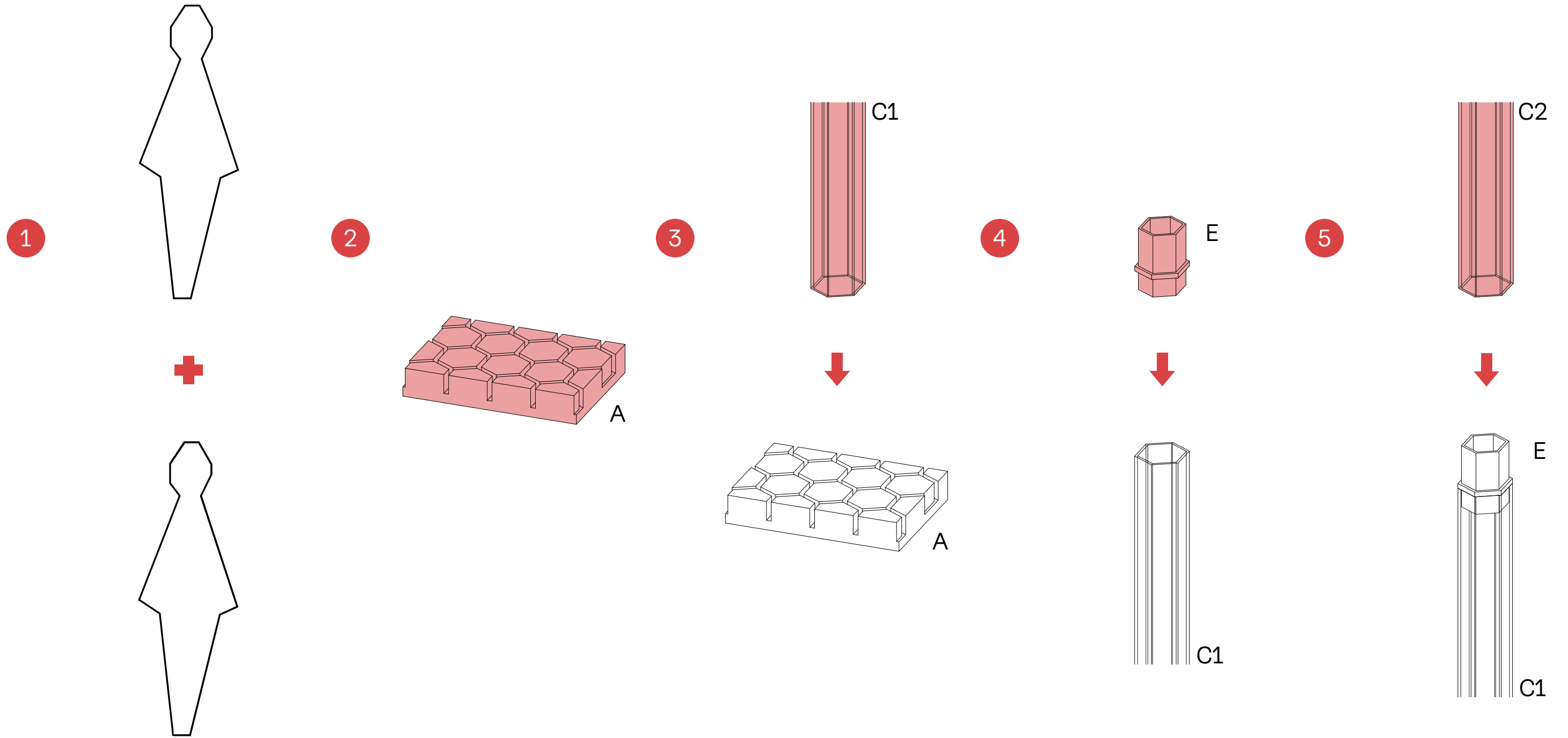
Højde 40 mm
Bredde 90 mm
Længde 80 mm

G



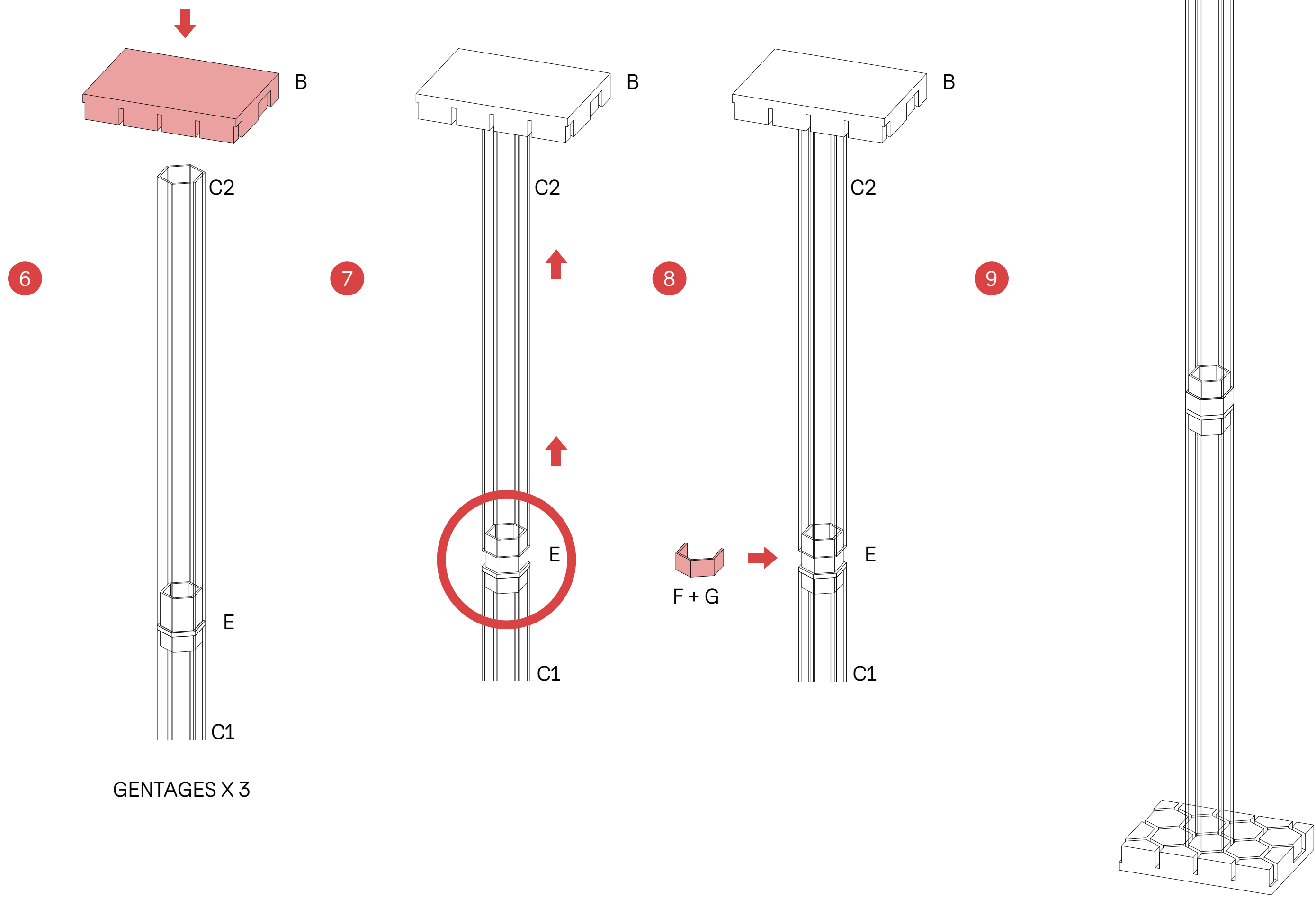
Højde 20 mm
Bredde 90 mm
Længde 80 mm

MANUAL, SAMLING AF HEXAGON



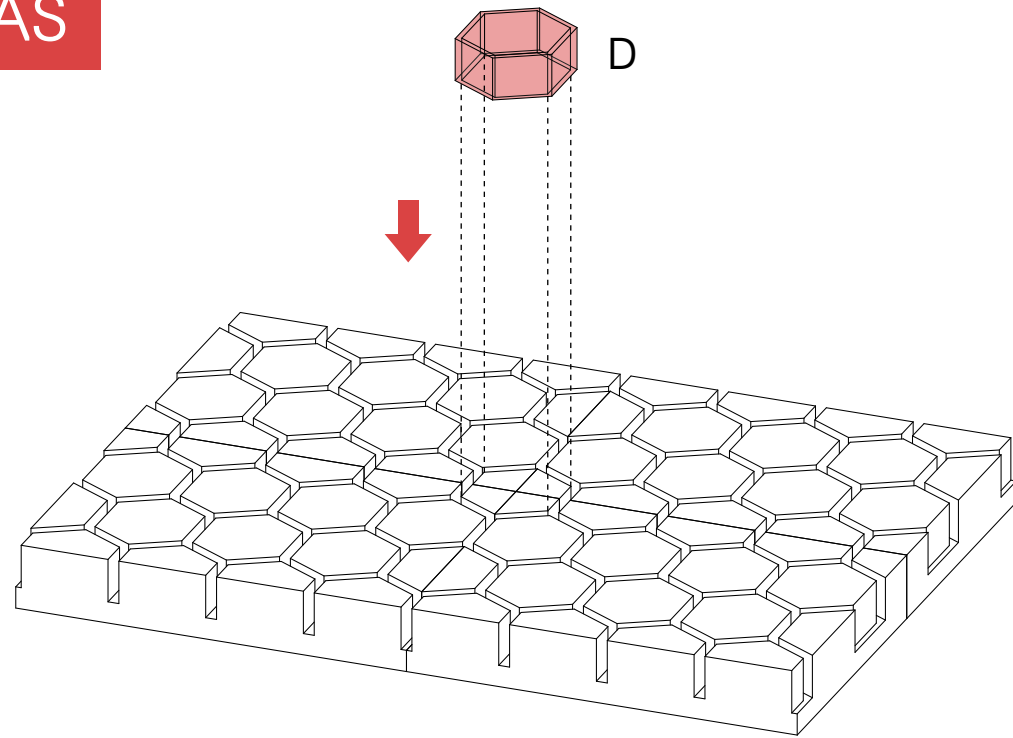
3 + 4 + 5 GENTAGES X 3 →

MANUAL, SAMLING MED TOPPLADE



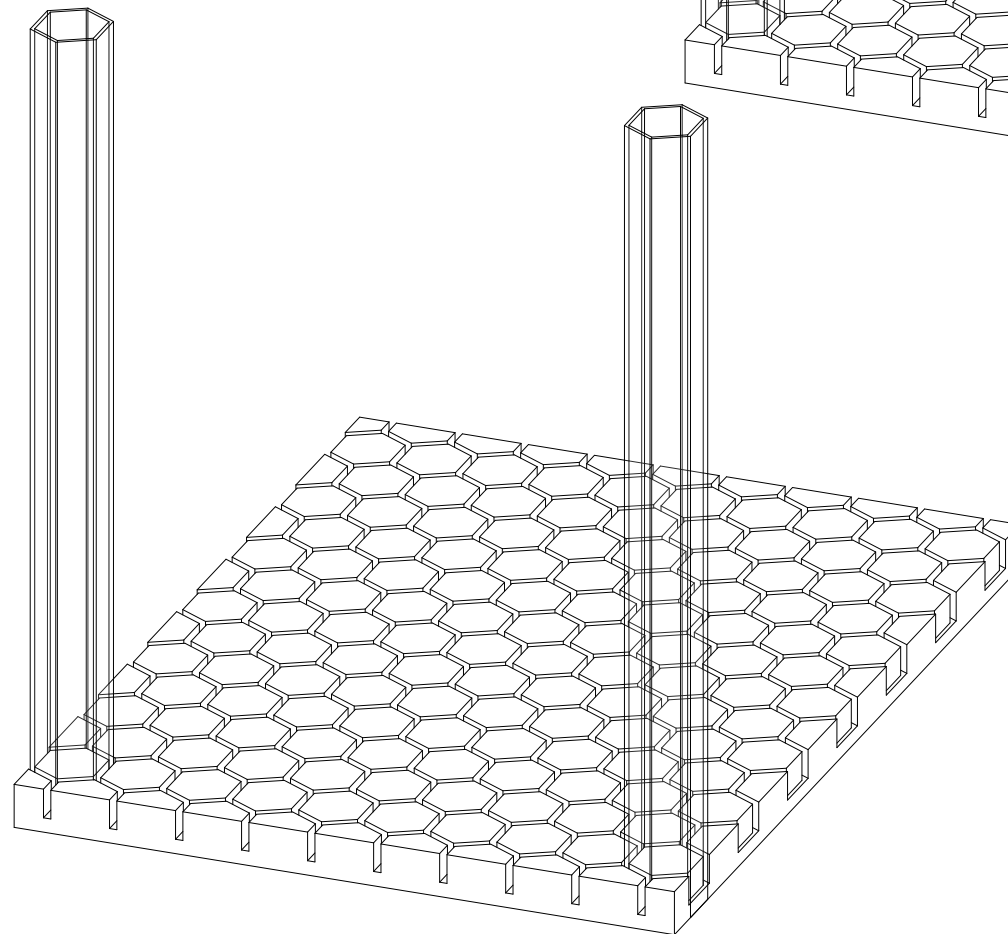
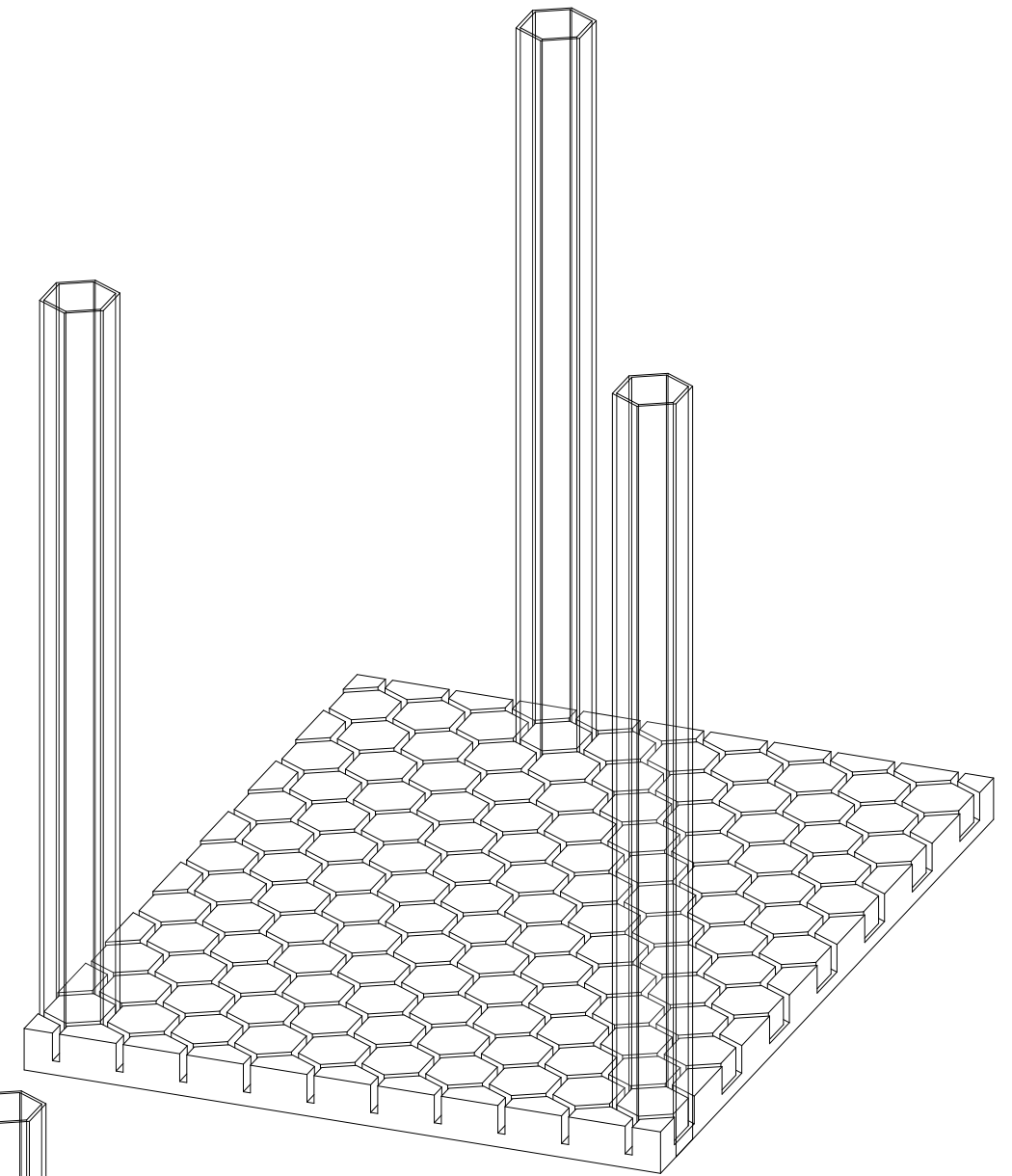
MANUAL, SAMLING AF FLERE ELEMENTER

LÅS



LÅSENE MONTERES I ALLE SAMLINGER

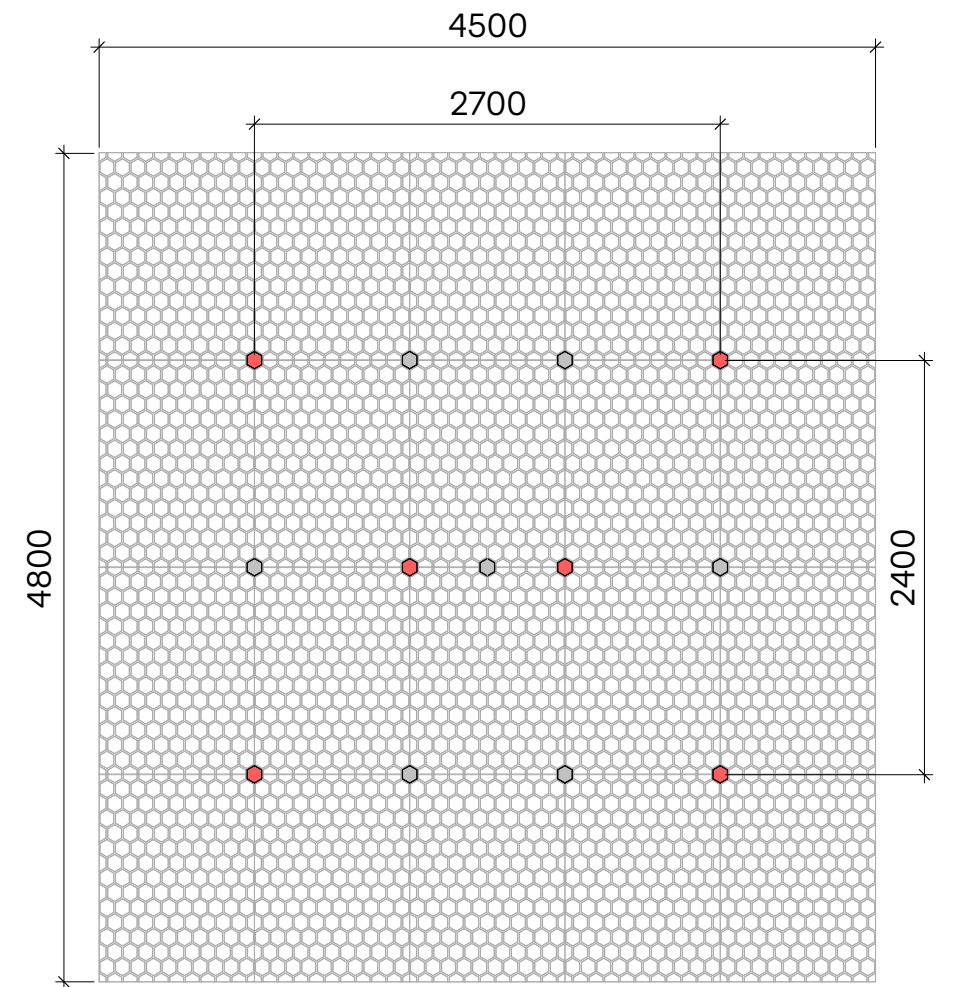
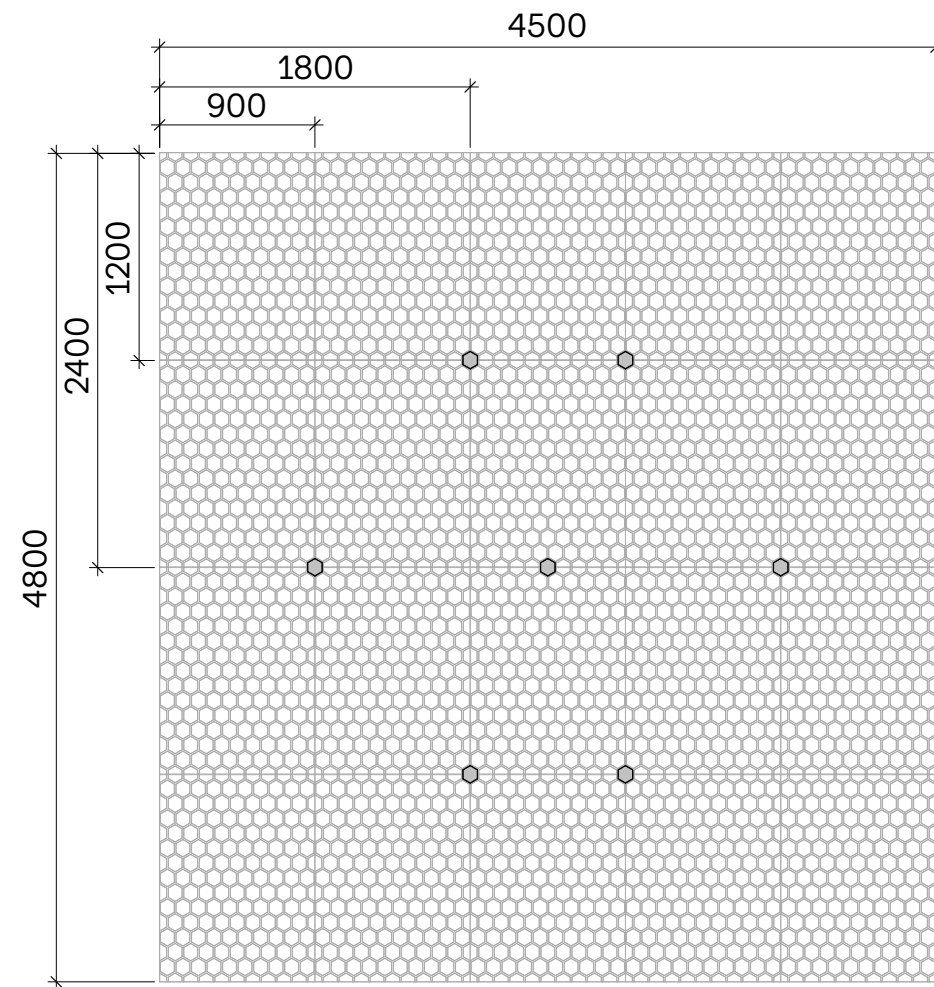
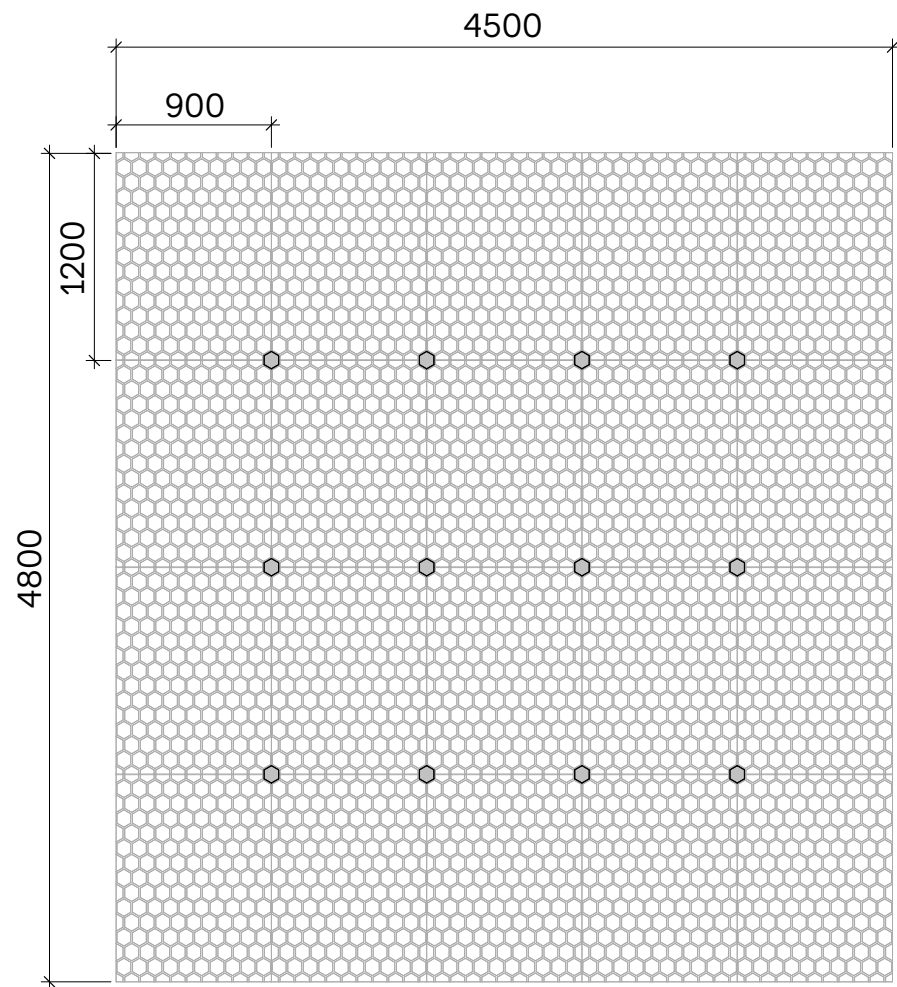
LÅSENE KAN OGSÅ VÆRE NEGATIVE



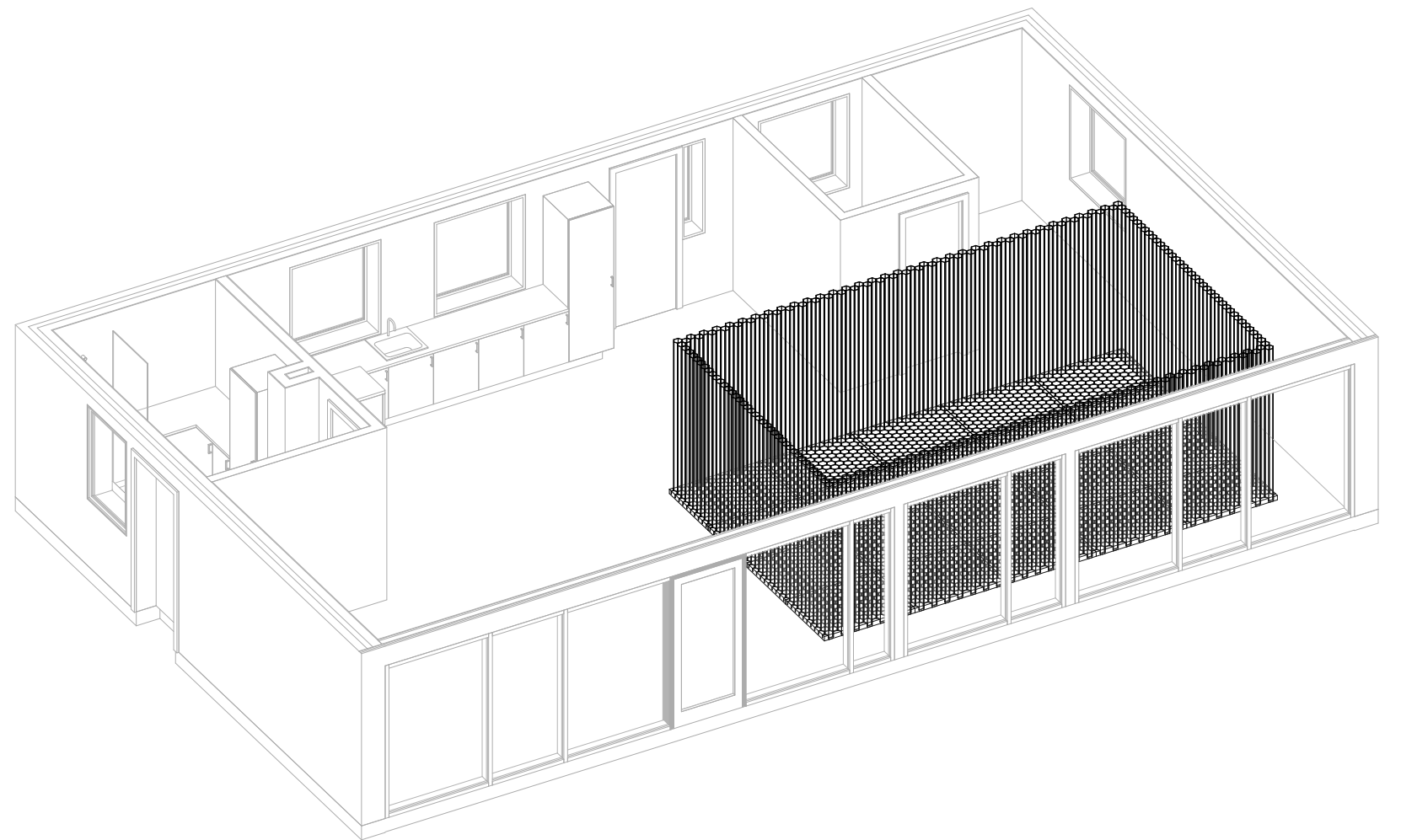
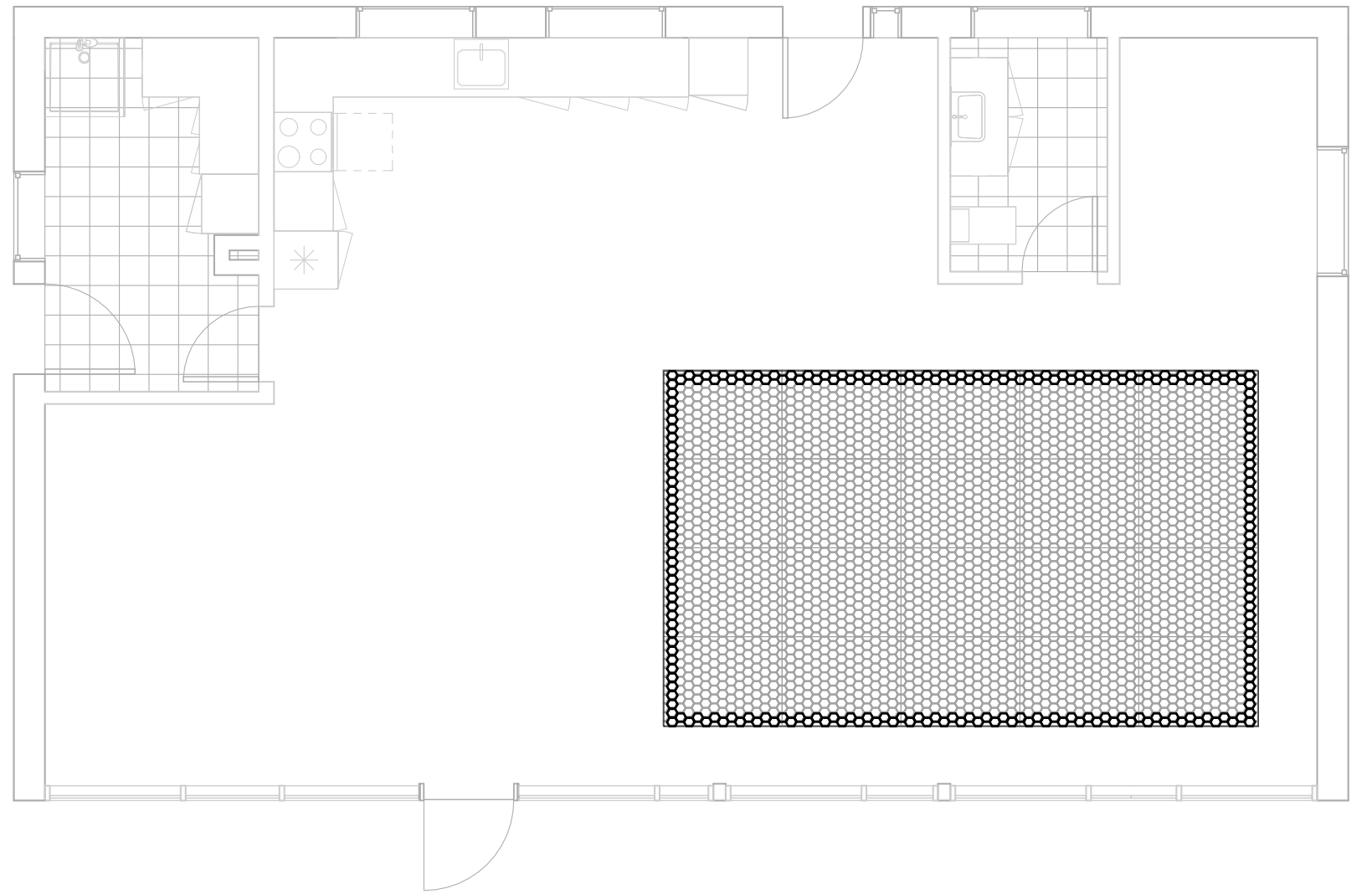
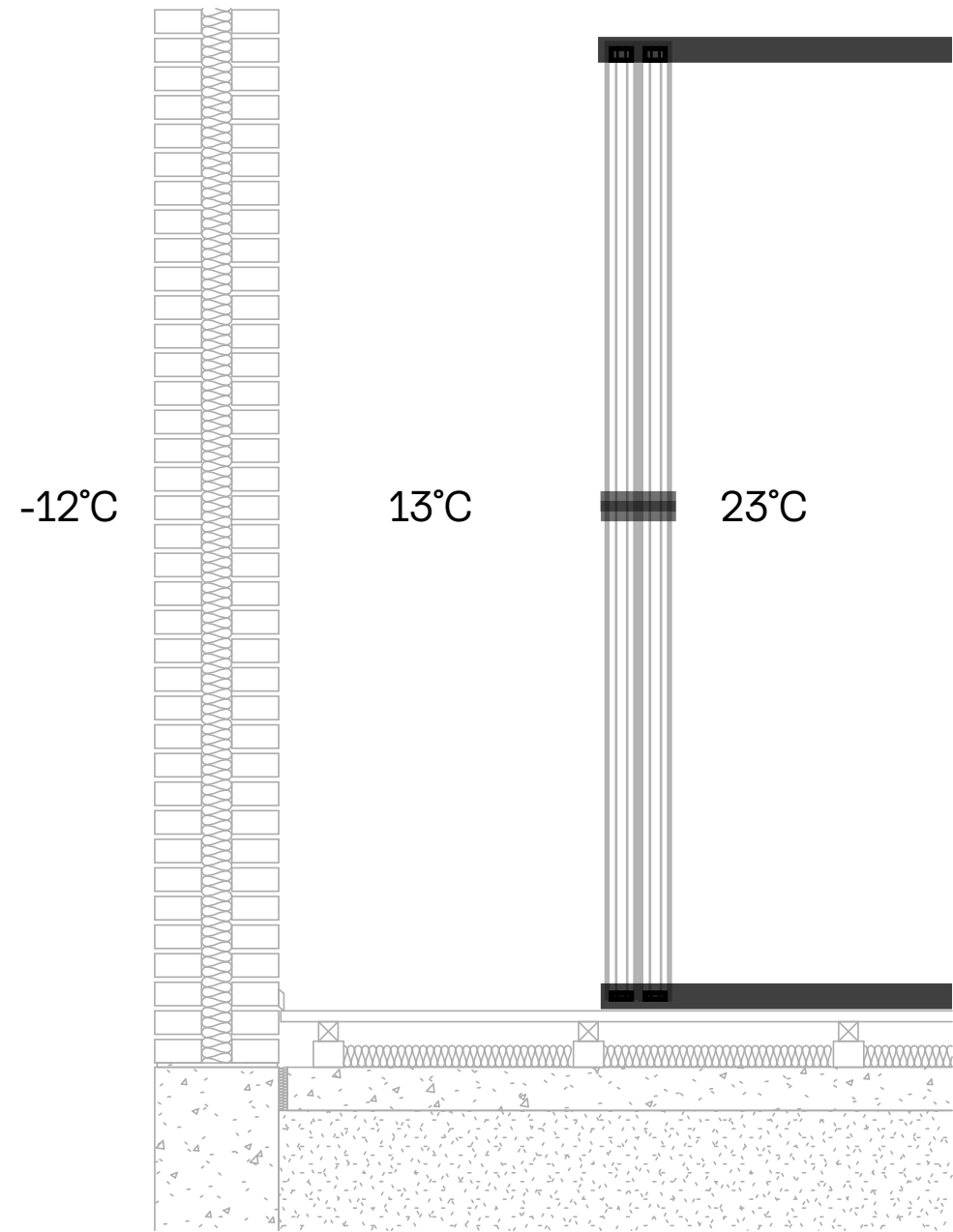
MIN. TRE HEXAGONER MONTERES,
INDEN TOPPLADEN SÆTTES PÅ

KONSTRUKTION

MANUAL, SAMLING AF KONSTRUKTION



TERMIK



VARMETAB

TYPEHUS, EKSISTERENDE KONSTRUKTION U. RUM*

Bygningsdel	U-værdi (W/m²K)	Mængde (m²)	Ude/inde (°C)	Temp. diff. (°C)	Varmetab (W)
Tung ydervæg	1,00	67,2	-12 til 20	32	2150,4
Let ydervæg	0,60	31,2	-12 til 20	32	599,0
Terrændæk	0,45	104,0	10 til 20	10	468,0
Tag	0,45	104,0	-12 til 20	32	1497,6
Varmetab i alt					4715,0

TYPEHUS, EKS. KONSTRUKTION U. RUM, SÆNKET TEMP.

Bygningsdel	U-værdi (W/m²K)	Mængde (m²)	Ude/inde (°C)	Temp. diff. (°C)	Varmetab (W)
Tung ydervæg	1,00	67,2	-12 til 13	25	1680,0
Let ydervæg	0,60	31,2	-12 til 13	25	468,0
Terrændæk	0,45	104,0	10 til 20	10	468,0
Tag	0,45	104,0	-12 til 13	25	1170,0
Varmetab i alt					3786,0

REDUCERING AF VARMETAB VED ÆNDRET TEMPERATUR DIFF.

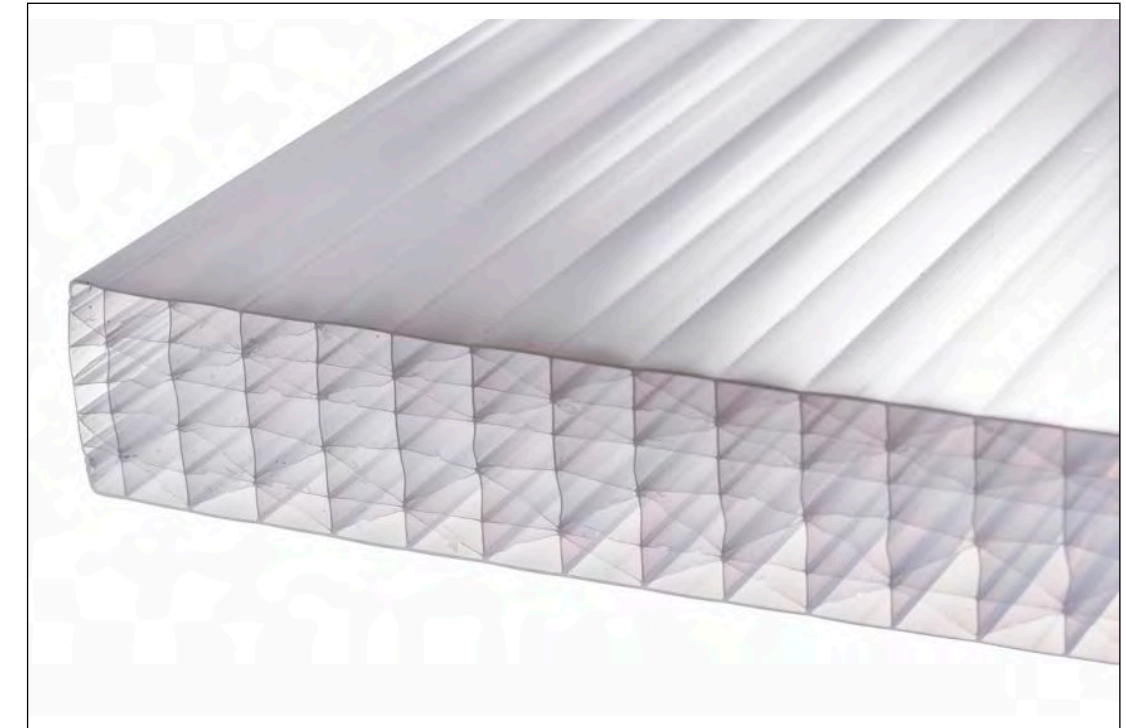
$$4715 - 3786 = 939,0 \text{ W} = 20\%$$

MIGRATIONSNUM

Bygningsdel	U-værdi (W/m²K)	Mængde (m²)	Ude/inde (°C)	Temp. diff. (°C)	Varmetab (W)
Bund	0,44	22,0	13 til 23	10	96,8
Top	0,44	22,0	13 til 23	10	96,8
Vægge	0,33	40,1	13 til 23	10	132,2
Varmetab i alt					325,8

Periode	Tung ydervæg	Let ydervæg	Terrændæk	Tag	Vinduer
1961-1979	1,00	0,60	0,45	0,45	2,90 (fra 1972)
1979-1986	0,40	0,30	0,30	0,20	2,90

*U-værdier hentet fra Mur & Tag, 2022



RIAS produkt, RIATHERM termoplader. 55 mm X-struktur. Opal

Tabel 2 - Mindstekrav til klimaskærm ved ændret anvendelse

Bygningsdel	U-værdi [W/m²K]	
	Rum opvarmet til T > 15 °C	Rum opvarmet til 5 °C < T < 15 °C
Rum opvarmet til	Rum opvarmet til T > 15 °C	Rum opvarmet til 5 °C < T < 15 °C
Ydervægge og kældervægge mod jord	0,15	0,25
Etageadskillelser og skillevægge mod rum, hvor temperaturforskellen mellem rummene er 5 °C eller mere	0,40	0,40

BR18: Bilag 2: Tabeller til kapitel 11 - Energiforbrug

OPVARMNING

OPVARMNING AF TYPEHUS

Typehus	Højde (m)	Areal (m ²)	Rum (m ³)	Temp. diff. (°C)	Varmekap. (W/h pr. m ³)	Varme (W/h)
Eksisterende	2,3	104	239,2	32	11,52	2755,6
Eksisterende m. migration	2,3	82	188,6	25	9,00	1697,4
Forskel i varmebehov						<u>1058,2</u>

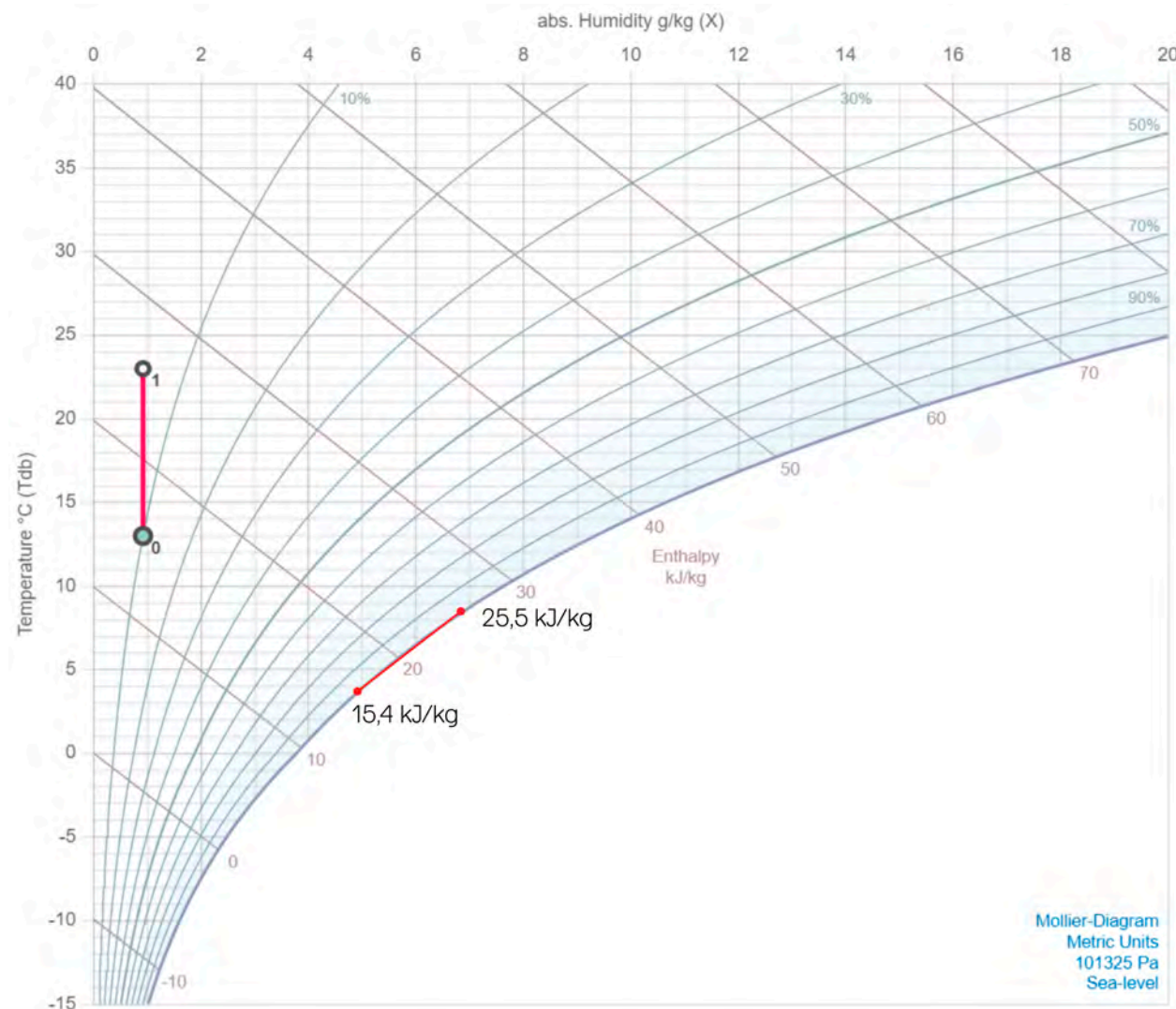
Beregningen benytter Mollier-diagram til at definere varmekapacitet af luft på 0,36 W/h pr m³K

BEREGNING AF WATT/HOUR I MIGRATIONSNUM

Fra 13° til 23° anvendes der	= 10,1 kJ/kg
Luft vejer	= 1,2 kg pr. m ³
Rummet indeholder	= 42 m ³ luft
Til opvarmning af rummet fra 13°-23° anvendes (42x1,2x10,1)	= 509 kJ
509kJ	= 141 watt/h

REDUCERING AF SAMLET OPVARMNING VED BRUG AF MIGRATIONSNUM

$$1058,2 - 141 = 917,2 \text{ W/h} = \underline{33 \%}$$



BEREGNING AF VARMEAFGIVELSE FRA PERSONER

Varmeafgivelse ved fysisk aktivitet	= 58,15 W. pr. m ² hud pr met
AKtivitetsniveau, stillesiddende: 1,2 met	= 58,15 x 1,2 = 69,8 W pr. m ² hud

Gennemsnitlige hudareal for en mand: 1,94 m² og en kvinde: 1,77 m²

Ved stillesiddende aktivitet (1,2 met) svarer dette til 135W, hvor

- 30-40% fugt
- 60-70% tør varme

Den tørre varme er derfor følgende

En mand	= 81-95 W
En kvinde	= 74-86W

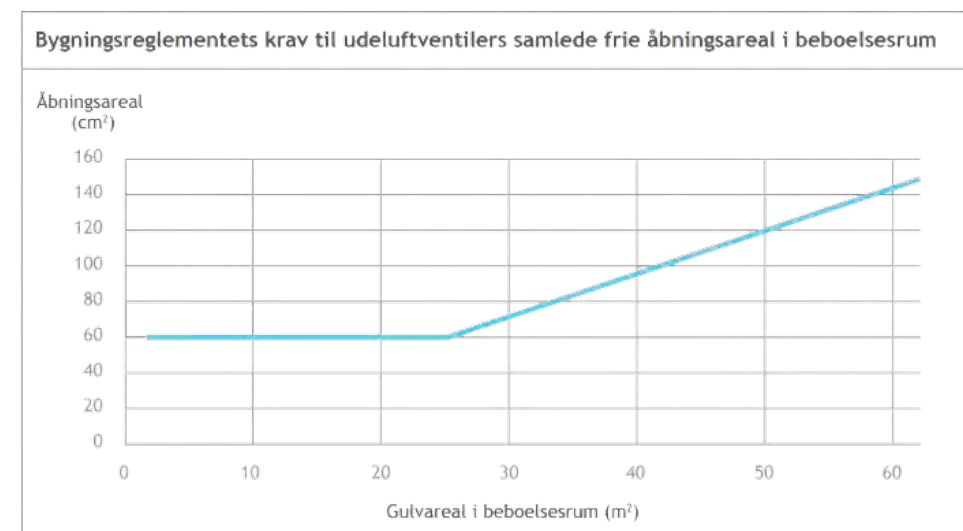
OPVARMNING AF MIGRATIONSNUMMET MED KROPSVARME

$$\text{Én kvinde og én mand} = 81+74 = 155 \text{ W}$$

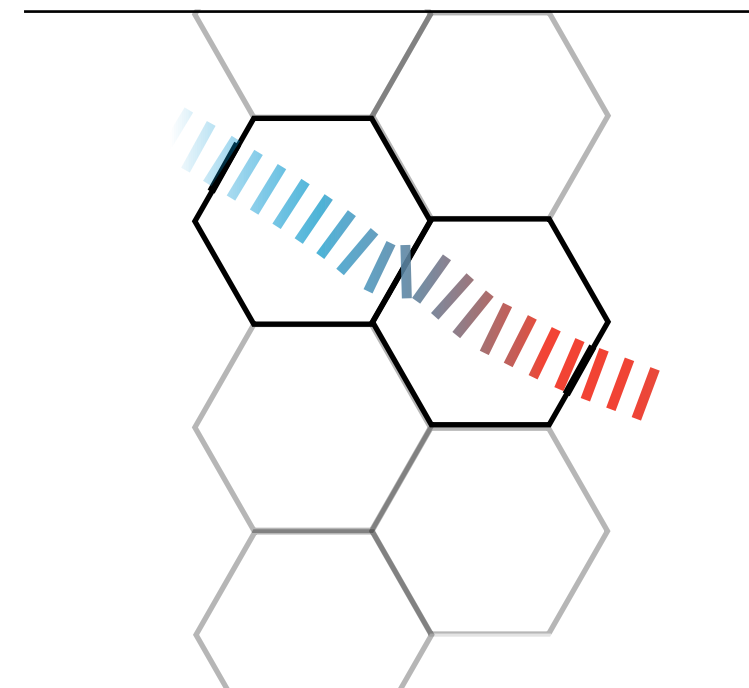
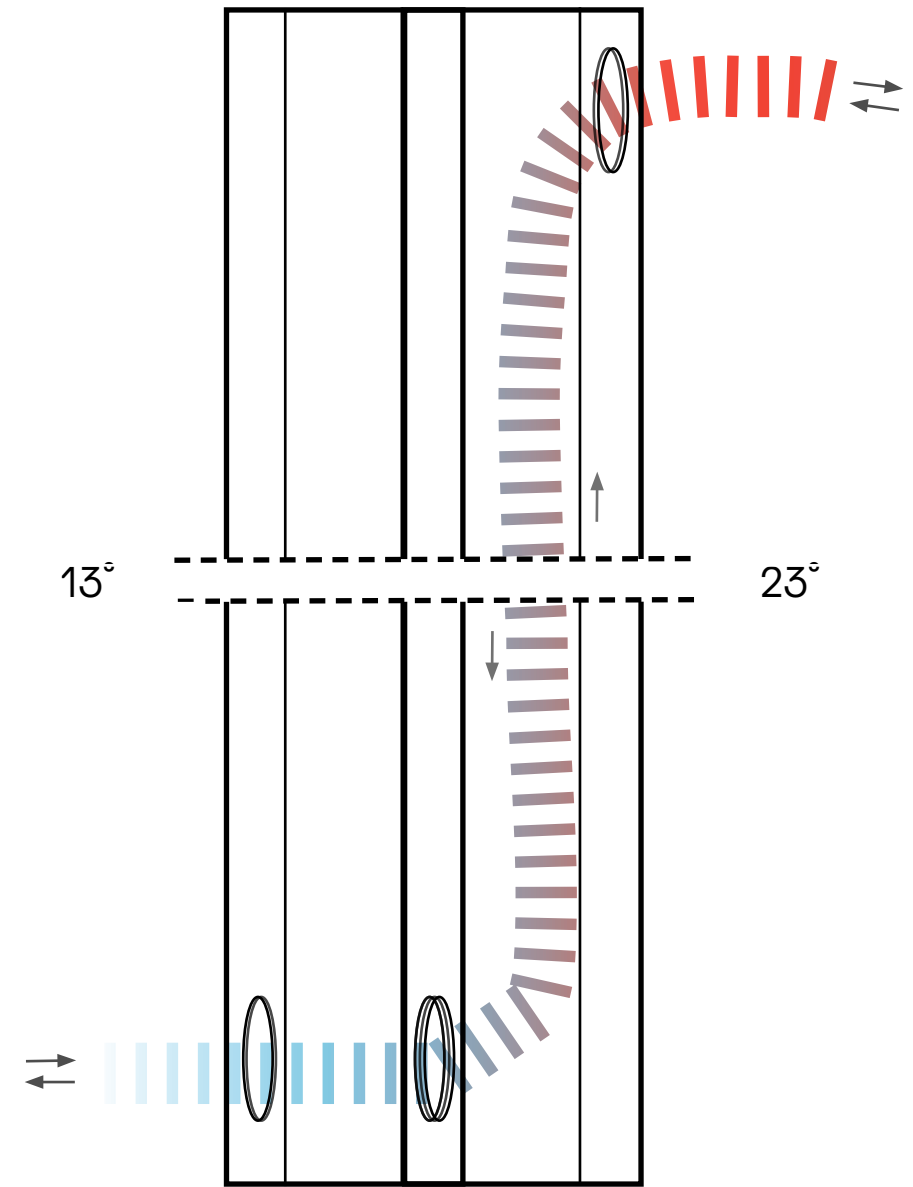
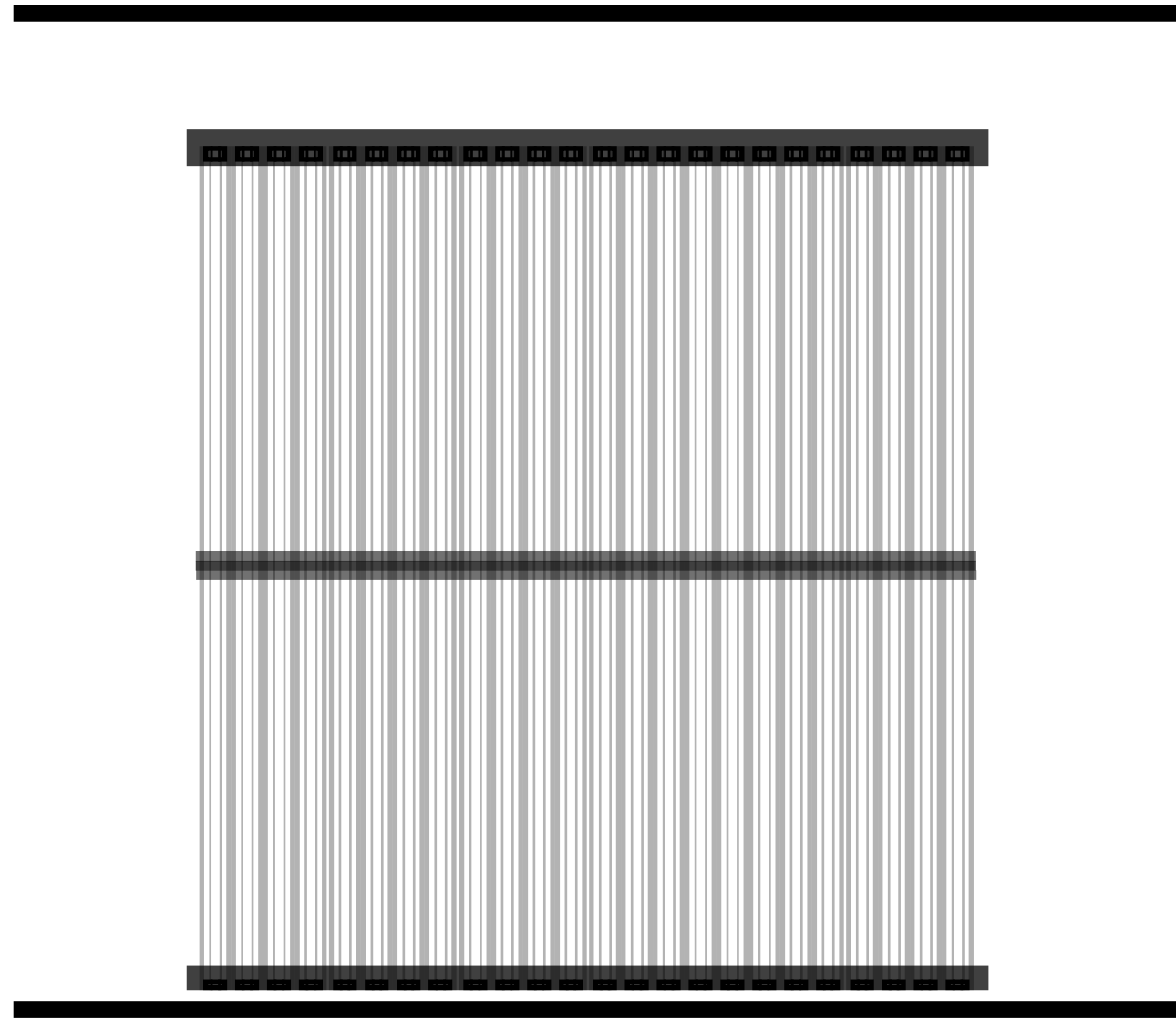
NØDVENDIG NATURLIG VENTILATION

Åbningsgrad ved rum under 25kvm	= 60cm ²
Åbning i hexagon (2x4)	= 8 cm ²
Antal rør med åbninger	= 7,5 stk

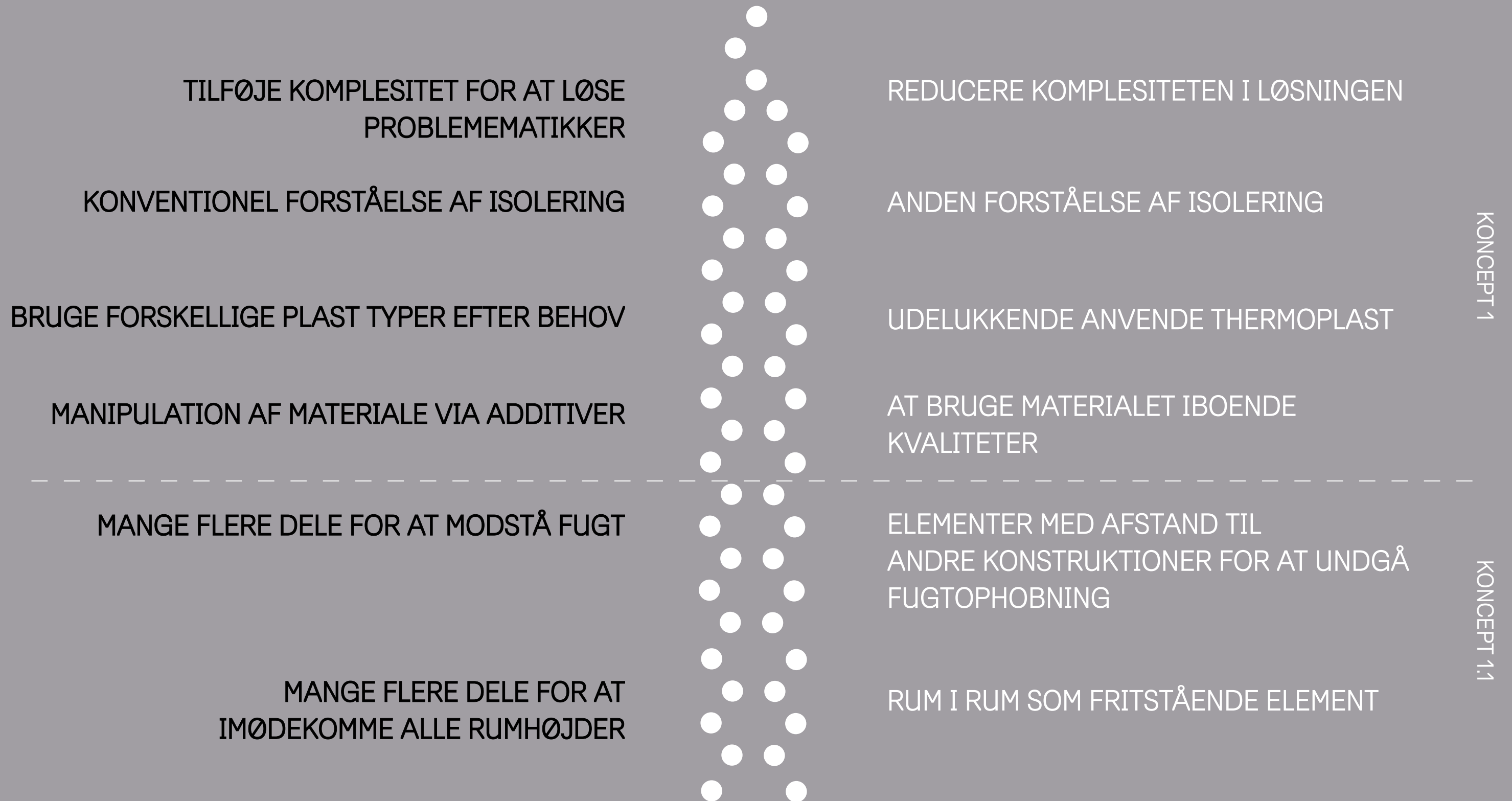
C02-produktion pr. person	= 17 l/h pr. met
aktivitetsniveau, stillesiddende, 1,2 met	= 17 x 1,2 = 20,4 l/h



TERMIK



HVORDAN KAN VI ANVENDE PLAST SOM ET MODULÆRBART EFTERISOLERINGS ELEMENT?



HVORDAN KAN VI ANVENDE PLAST SOM ET MODULÆRBART, ISOLERENDE OG RUMSKABENDE ELEMENT?

PERSPEKTIVERING

VIDERE ARBEJDE KUNNE VÆRE

ELEMENTET

Celleinddeling i rør og bund; optimere isoleringsevnen

Test af u-værdi og luftskifte

Afprøve produktionsmetoder - og evt. ændring af design

Specifikke plasttyper

Indtænk døråbning

BRUG - fleksibel, midlertidig konstruktion

Flere cases

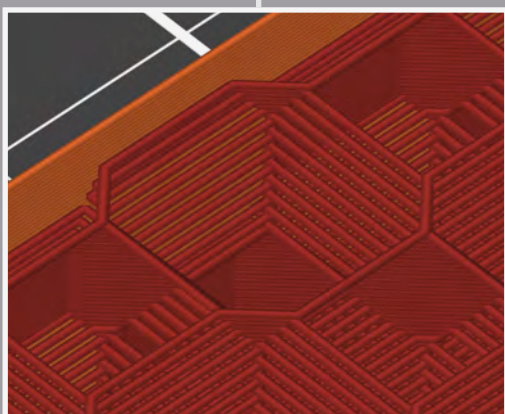
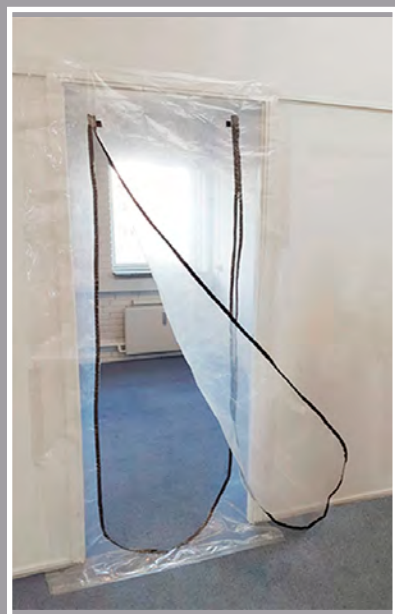
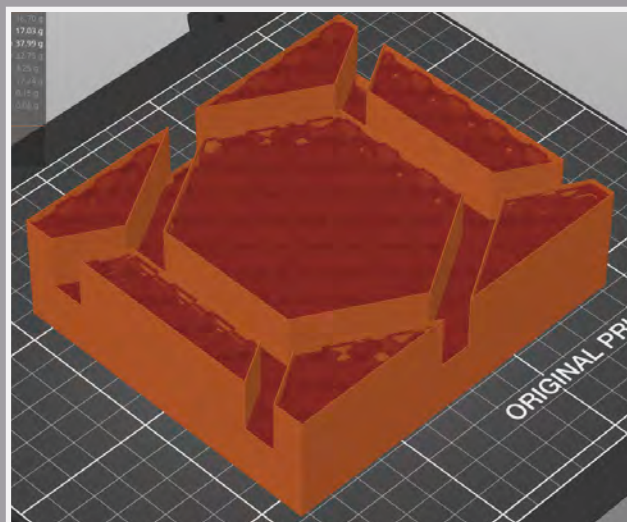
Afskærmning

Lydstudie

Sundhed; "Pandemiens Arkitektur"

Kan tilpasses internationalt

Midlertidig konstruktion i kriser



ABSTRAKTION

