

BOLIG+

Danmarks første
reelt energineutrale
etageboligbyggeri

Realdania

Realdania
Byg



KOLOFON

BOLIG+ Danmarks første reelt energineutrale etageboligbyggeri

© Realdania Byg 2015

ISBN: 978-87-92230-78-2

Tekst og redaktion: Journalist/kommunikationsrådgiver

Brian Stræde og Realdania Byg

Layout: MOURET/CO.

Fotos: Fotograf Kira Krøis Ursem og Realdania Byg

Illustrationer: Benny Box, MOURET/CO, MOE Rådgivende Ingeniører og Arkitema Architects

Forsidefoto: Fotograf Kira Krøis Ursem

Bogen er sat med Primo og Italian Plate No2 og trykt af OAB-Tryk ApS

Realdania Byg er et helejet Realdaniaselskab

TAK TIL...

BOLIG+ styregruppe, sekretariat og følgegruppe, som undervejs har været sparringspartnere i forhold til håndtering og fortolkning af BOLIG+ standarden.




BOLIG+ projektgruppe: Totalrådgiver og arkitekt Arkitema Architects, ingeniør MOE Rådgivende Ingeniører og hovedentreprenør Dansk Boligbyg.

Solcelleleverandør, Racell Sapphire ...og alle håndværkere, leverandører, producenter, forskere og rådgiver samt alle andre, som har været med til at udfordre og skabe Danmarks første reelt energineutrale etageboligbyggeri.

Indhold

BOLIG+ Danmarks første reelt energineutrale etageboligbyggeri	7
På grænsen til det utopiske	11
Jagten på det reelle nul	13
En integreret designproces	19
BOLIG+ i Søborg	23
Træd ind og tag et kig	37
Teknikken bag facaden	45
Et solcelleanlæg ud over det sædvanlige	55
Batterierne i BOLIG+	60
Et anderledes hus med en almindelig byggeproces	62
Ergineutralitet behøver ikke koste ekstra	64
Strømmen af strøm	66
Ergineutral betyder ikke gratis	68
BOLIG+ - en utopi der blev virkelighed	70

The image shows a modern, multi-story apartment building facade with large windows and balconies. The entire image is overlaid with a semi-transparent blue color and several large, overlapping circular shapes in various shades of blue, creating a layered, abstract effect.

BOLIG+
Danmarks første
reelt energineutrale
etageboligbyggeri



Arkitekt, ingeniør, entreprenører
og bygherre har realiseret det, der i
starten lignede en utopisk drøm: Et reelt
energinutralt etageboligbyggeri.

BOLIG+

Nogenlunde midt på Søborg Hovedgade som et moderne brud i rækken af gule og røde etagebyggerier ligger BOLIG+.

Den sort-hvide bygning er manifestationen af en vision, der tog form i 2005 i forbindelse med EnergyCamp 05. Her var en række repræsentanter fra byggesektoren samlet for at søge nye svar på spørgsmålet om, hvordan man kan udvikle energirigtige boliger til verdens voksende befolkning.

Tankerne om BOLIG+ udsprang af en utilfredshed med den retning og det tempo, branchen udviklede sig i. De blev undfanget af folk, som tillod sig at drømme stort uden at skele til begrænsende konventioner om, hvad der kunne lade sig gøre. Ud af de livlige diskussioner på energilejren opstod idéen om et hus, der var reelt energineutralt.

Det banebrydende var, at huset skulle producere energi nok til at dække eget forbrug. Ikke

bare til varme, brugsvand og ventilation, men også til bygningens øvrige forbrug og tilmed husstandenes elforbrug.

Samtidig var det afgørende, at huset skulle kunne opføres inden for en almindelig byggeøkonomi. Hvis BOLIG+ for alvor skulle kunne rykke branchen, måtte huset ikke blive en opvisning i dyr teknik, men tværtimod være et økonomisk jævnbyrdigt alternativ til almindeligt byggeri.

BOLIG+ skulle vise, at energineutralt byggeri er et spørgsmål om vilje. Derfor måtte de høje krav til energiproduktionen heller ikke gå ud over andre vigtige parametre som indeklima og arkitektur.

For at kridte projektet op formulerede BOLIG+ gruppen fem dogmer, som huset skulle funderes på:



■ **Energineutralitet**

Med energineutralitet forstås, at BOLIG+ huset på egen matrikel skal kunne producere samme mængde energi, som huset og dets beboere bruger. Det vil sige, at den energi, der eksporteres (altså sælges som overskydende strøm fra solcelleanlægget) skal have samme energimæssige værdi, som den der importeres (altså købes fra fjernvarmeværket og elnettet). Al energi er nemlig ikke lige. Der er forskel på, hvor meget energiråstof, der bruges til at producere henholdsvis 1 kWh fjernvarme og 1 kWh el. Fjernvarmen har en energifaktor på 0,6, mens el har en energifaktor på 1,8. Med andre ord er el altså kostbar at bruge, men omvendt også værdifuld at sælge, og på den måde bidrager den overskydende strømproduktion fra husets solcelleanlæg til energineutraliteten.

■ **Indeklima**

Godt og sundt indeklima handler for BOLIG+ blandt andet om, at alle lejligheder skal have et godt lysindfald, den

rette temperatur og være godt ventileret med mulighed for naturlig ventilation i alle rum.

■ **Fleksibilitet**

Med fleksibilitet forstås i denne sammenhæng, at boligens rum er anvendelige til forskellige formål og dermed kan ændre funktion over tid uden et stort ressourceforbrug til ombygning.

■ **Intelligens og brugervenlighed**

BOLIG+ skal integrere systemer, der via overvågning, måling og behovsstyring kan bidrage til energineutraliteten, samtidig med at de øger boligens brugsværdi – blandt andet ved at give mulighed for individuel tilpasning af systemerne.

■ **Lokalitet og arkitektur**

BOLIG+ skal honorere de funktionelle og energimæssige krav og samtidig holde en høj arkitektonisk kvalitet. Bygningen skal desuden falde ind i omgivelserne på en hensigtsmæssig måde.

På grænsen til det utopiske

Siden idéen om BOLIG+ blev til på energilejren i 2005 har konceptet været forankret i en styregruppe bestående af repræsentanter fra IDA-BYG (Ingeniørforeningen), Akademisk Arkitektforening, Energistyrelsen, Teknologisk Institut, Statens Byggeforskningsinstitut og Det Økologiske Råd.

Omdrejningspunktet for BOLIG+ var fra starten ambitionen om energineutralitet. Dette parameter blev definerende for de fire andre, og da rådgiverkonkurrencen om BOLIG+ blev afviklet i 2009, stod det klart, at der var tale om et meget ambitiøst projekt. Næsten på grænsen til det utopiske.

En af de absolut vanskeligste nødder, der skulle knækkes, var at finde løsningen på, hvordan der kunne produceres energi nok på grunden til at gøre bygningen energineutral. Energien skulle produceres på egen matrikel, og denne begrænsning betød reelt, at solenergi var den eneste farbare vej.

40 konsortier deltog, og de blev decimeret til et finalefelt på fem, og ud af den håndfuld faldt valget på TEAM+ ført an af Arkitema Architects.

Oprindeligt handlede konkurrencen om et etagebyggeri med 74 lejligheder på

havnefronten i Aalborg. Halvdelen skulle sælges i projektsalg inden opførelsen, og i den anden halvdel skulle ejerskabet deles mellem entreprenøren og Realdania Byg, der var gået ind i projektet som bygherre i 2008.

Den økonomiske krise og byggebranchens rutsjetur i slutningen af 00'erne gjorde imidlertid, at projektet blev lagt ned, inden det kom op at stå.

Efter forsøget i Aalborg forsøgte Realdania Byg at finde en ny grund til en redefineret udgave af BOLIG+, og i 2013 dukkede grunden på Søborg Hovedgade op.

Principperne bag Arkitema-holdets vindende forslag var fortsat egnede som fundament for byggeriet, så efter en omfattende tilpasning af projektet til den nye lokalitet, kunne arbejdet med BOLIG+ alligevel fortsætte.

Denne bog fortæller historien om husets tilblivelse og tankerne bag det. Og om hvordan arkitekt, ingeniør, entreprenører og bygherre sammen har realiseret det, der i starten mest lignede en utopisk drøm, så Danmark har fået sit første reelt energineutrale etageboligbyggeri.



Jagten på det reelle nul

Til kamp mod CO₂-udledningen
Vi forbruger mere, end vi tror
Barren er sat højt



Jagten på det reelle nul

Ønsket om at skabe bæredygtige boliger med et lavt energiforbrug har bidt sig fast i store dele af den danske byggebranche, og det kære barn har fået mange navne: lavenergi, nulenergi, passivhus, aktivhus, osv.

Det særlige ved BOLIG+ er, at man her går et skridt videre end de øvrige koncepter. Den vigtigste forskel er dogmet om, at bygningen selv skal producere al sin energi.

Hidtil har ”energin neutralt” betydet, at der skulle produceres kWh nok til at modsvare energiforbruget til opvarmning af boligen, opvarmning af brugsvand og til drift af ventilationsanlægget.

Men det er jo blot en del af den energi, en bolig reelt bruger. Al den strøm, der bliver hevet ud af stikkontakterne for at holde liv i køleskab, tv, elkedel og iPad, bør ifølge BOLIG+ tankegangen også regnes med. Det samme skal den energi, der bruges til lyset i opgangen, dørtelefonen og hvad der ellers findes på fællesarealerne.

Ambitionen for BOLIG+ er nemlig at ramme ”det reelle nul”, så en husstand ikke sætter noget CO₂-mæssigt fodaftryk, når det handler om den energi, der skal til for at ”drive” hjemmet.

Til kamp mod CO₂-udledningen

Ambitionen om energineutralitet hænger sammen med den grundlæggende motivation bag BOLIG+ konceptet – nemlig at nedbringe CO₂-udledningen fra nybyggede danske boliger. Vores boliger og det liv, vi lever i dem, tegner sig for en så stor del af samfundets samlede CO₂-udledning, at det er et område, man ikke kommer uden om, hvis man generelt vil nedbringe CO₂-udledningen. Og ifølge BOLIG+ kommer man heller ikke uden om vores private

strømforbrug. Tager man udgangspunkt i en ny lejlighed bygget efter gældende bygningsreglement (p.t. BR2010, Bygningsreglementet 2010), tegner strøm sig nemlig for 56 pct. af den samlede CO₂-udledning fra husstanden.

At BOLIG+ sætter fokus på elforbruget, hænger også sammen med, at vi som samfund endnu ikke er lykkedes med at knække forbrugskurven. Mens forbruget af vand og varme er faldet markant over de seneste tiår, er elforbruget blot stagneret. Vi har ganske vist fået mere energirigtige apparater, men vi har samtidig fået flere af dem og bruger dem så meget, at forbruget forbliver højt.

I BOLIG+ konceptet er en husstands årlige energiforbrug sat til 1.725 kWh. Det er ambitiøst på beboernes vegne, og det forudsætter både, at husets elektriske apparater er lavenergimærket, og at beboerne bevidst forsøger at begrænse deres elforbrug.

Vi forbruger mere, end vi tror

BOLIG+ tager udgangspunkt i den højst eksisterende barre inden for lavenergibyggeri, nemlig kravene i BR2020. BOLIG+ nøjes dog ikke med at lægge de 1.712 kWh oveni det energiforbrug, som er tilladt for et hus bygget efter BR2020.

Ifølge BOLIG+ er de forudsætninger, der ligger til grund for BR2020, nemlig for optimistiske. Og når ambitionen er at blive reelt energineutralt, må regnestykket baseres på realistiske tal.

BR2020 tager udgangspunkt i en teoretisk model, som lægger til grund, at ’model-borgeren’ bor med en temperatur på 20 grader, men undersøgelser har vist, at det tal er lavt sat i den



**I BOLIG+ konceptet
er en husstands årlige
elforbrug sat til ambitiøse
1.712 kWh**

virkelige verden. Reelt ligger temperaturen i danskernes stuer nærmere omkring 22 grader. Samme mønster gælder for husstandenes vandforbrug. Hvor BR2020 tager udgangspunkt i et forbrug på 250 liter pr. m² årligt, har undersøgelser vist, at forbruget er væsentligt højere, når det drejer sig om lejligheder – faktisk 67 pct. højere for lejligheder som i BOLIG+ byggeriet. I BOLIG+ projektet regner man med 40 liter vand pr. person pr. dag.

Samtidig opererer BR2020 med et sekundært varmetilskud til boligen fra lyskilder og elektriske apparater. I BOLIG+ bruger beboerne i sagens natur LED-pærer og lavenergi-apparater for at holde elforbruget nede. De giver kun minimal varme fra sig, så derfor regner BOLIG+ med et varmetilskud, der er 41 pct. mindre end BR2020.

Barren er sat højt

Disse ændringer ændrer spillereglerne. For at blive energineutralt efter BR2020 standarderne ville et hus som det på Søborg Hovedgade skulle producere 19,1 (p) kWh/m² årligt. Med BOLIG+ standarderne er barren hævet markant – nu er tallet nemlig 28,5 (p) kWh/m². Dertil skal så lægges de 1.712 kWh til hver husstands årlige elforbrug samt fællesforbrug i kælder og trappeopgang. I alt 2,2 gange energiforbruget af BR2020.

Dermed er målstregen kridtet op for arkitekten og ingeniøren, som sammen skal finde ud af, hvordan man kan bygge et hus, der bruger så lidt energi, at det er muligt at producere solenergi nok på selvsamme hus til at dække husets samlede energiforbrug.



En integreret designproces

Workshops drev samarbejdet
Solcellernes tyranni?
Ventilation og vinduer i spil



Solcellerne på taget af BOLIG+

Panelerne er bygget op som små tage med en hældning på 12,5 pct., hvor den ene flade vender mod sydøst og den anden mod nordvest. I alt er der monteret 182 m² solpaneler på taget.

En integreret designproces

Da konkurrenceprogrammet for BOLIG+ blev lagt frem, var det åbenlyst for alle, at der var tale om et meget ambitiøst projekt. Skulle man kunne indfri kravene, var det derfor lige så åbenlyst, at man måtte bringe alle gode kompetencer i spil – det var utænkeligt, at man kunne lykkes med udfordringen, hvis arkitekten først tegnede sit forslag og derefter bad ingeniøren om at få det til at fungere energimæssigt.

BOLIG+ projektet fordrede altså en integreret designproces – selvfølgelig med arkitekt og ingeniør som de centrale aktører, men også med vigtige indspark fra byherre og en række andre interessenter.

Workshops drev samarbejdet

Som nævnt var det TEAM+, der vandt konkurrencen om det oprindelige BOLIG+ projekt i Aalborg.

Den største del af den integrerede designproces på BOLIG+ foregik i forbindelse med konkurrencen i Aalborg. Strukturelt var processen bygget op omkring fem workshops. Før hver workshop gjorde alle parter et stort stykke forarbejde i forhold til de relevante problemstillinger, som blev fremlagt for resten af deltagerne, så selve workshoppen kunne bruges så konstruktivt som muligt.

”Det stod klart fra starten, at det ville blive meget teknisk svært at opnå fuldstændig energineutralitet. Da jeg først hørte om det, troede jeg ikke rigtig på, at det ville kunne lade sig gøre.”

Lars Kvist, projektleder, Arkitema

Tilgangen til arbejdet var, at hver workshop indebar forberedelse (input), som skulle bruges til de diskussioner, som var vigtige på det givne tidspunkt i processen (agenda), og at disse diskussioner skulle munde ud i noget konkret at arbejde videre med for hver af de respektive fagligheder (output). Denne tredelte struktur var med til at sikre den rigtige fremdrift i det ca. tre måneder lange forløb.

En anden nøgle til et succesfuldt forløb var at sikre, at videnskurven steg hurtigt, mens de afgørende beslutninger blev holdt tilbage, indtil det rigtige grundlag var på plads.

Selv om projektet i Aalborg aldrig blev realiseret, kunne mange af de principielle beslutninger genbruges på projektet i Søborg.

Solcellernes tyranni?

På BOLIG+ i Søborg har den integrerede designproces for alvor udfoldet sig omkring spørgsmålet om, hvordan ejendommens altaner skulle udformes for at producere så meget strøm som muligt, uden at træde de andre vigtige BOLIG+ dogmer under fode.

Vægtningen af energi, arkitektur, økonomi, indkig til naboer og udsigt fra altanerne faldt på plads gennem en omfattende proces, hvor der blev regnet på mange forskellige muligheder. På et tidspunkt i processen blev det drøftet at dække hele den sydvendte side af altanerne med solceller, da det ville give det højeste udbytte.

Selvom kilowatt-høsten var tillukkende, var prisen dog for høj. Det ville forringe udsigten og dermed boligens kvalitet for meget. Som Arkitemas projektleder slog fast: Det ville blive ”solcellernes tyranni”. Den arkitektoniske idé med BOLIG+ var et hvidt hus med sorte felter, og ikke et sort hus, hvor det hvide allernådigst kunne få lov at titte frem blandt solcellerne.

Ventilation og vinduer i spil

Også i forbindelse med ventilationsanlægget har den integrerede designproces været afgørende for, at man har fundet en løsning, som fungerer både teknisk og arkitektonisk. Som det er beskrevet i et senere afsnit, har man valgt en decentral ventilation med afkast og indtag i facaden, og inden placeringen af disse faldt på plads, blev der rykket meget rundt på vinduerne for at finde den rette afstand mellem elementerne.

BOLIG+ i Søborg

Stringent facade

Solceller bag sorte paneler

Altaner vendt og drejet

Stenurter på tagene

Træd ind og kig ud

Lyse og rummelige

Fleksibel planløsning



Som på et skakbræt rammer felternes hjørner præcist hinanden og deler facaden knivskarpt op i hvid og sort.

BOLIG+ i Søborg

Kommer man kørende ad Søborg Hovedgade fra nord og kigger lige frem, ser det på et tidspunkt ud, som om der er vokset et nyt hus op midt på vejen lidt længere fremme. Det er BOLIG+.

Den opsigtsvækkende placering skyldes ganske vist et synsbedrag, forårsaget af at grunden ligger højt og lige efter et knæk på vejen, men det er på sin vis en passende iscenesættelse af et hus, der på mange måder skiller sig ud fra nabobygningerne.

Stringent facade

Når man kommer tættere på, begynder husets dimensioner og arkitektur at træde frem. Fem etager med i alt 10 lejligheder bag en distinkt facade af sorte og hvide felter. Som på et skakbræt rammer felternes hjørner præcist hinanden og deler bygningens facade knivskarpt op i hvid og sort. Går man helt tæt på, kan man se præcist, med hvor stor nøjagtighed hjørnerne på de høje vinduespartier møder hinanden.

Det har krævet ganske nøjagtig matematik at opnå denne præcision – selv bredden på fugerne har været i spil – og resultatet er en meget stringent facade.

Bygningen fortsætter ubrudt over i en hvid støjmur, som slanger sig langs matriklen ud mod Søborg Hovedgade og rundt langs Hagavej. Den 2,5 meter høje mur er etableret på grund af larmen fra den trafikerede Søborg Hovedgade, idet lokalplanen stiller krav om en lav støjbelastning i den tilhørende have.

"BOLIG+ huset stiller sig op i rækken af gadens etagebyggerier og spiller på mange måder med på de præmisser, der gælder for området, men samtidig peger det et helt andet sted hen. Det bliver et tydeligt landmærke."

Lars Kvist, projektleder, Arkitema

Solceller bag sorte paneler

Facadens farvespil mellem det hvidmalede beton og de mørke paneler er ikke bare et udtryk for arkitektens visuelle præferencer, men også det mest synlige tegn på, at der er arbejdet med at klemme så mange kWh ud af huset som muligt.

De store, sorte paneler på facadens lukkede altaner og på den sydvendte gavl gemmer på 203 m² solceller. Normalt ville man nøjes med at placere solceller på taget, som både er det mest effektive og mindst synlige sted. Udfordringen er dog, at så snart et hus kommer over to etager, bliver det vanskeligt at producere tilstrækkeligt med solenergi på tagfladen til at dække husets forbrug. Derfor stod det fra starten klart, at det ville blive nødvendigt også at tage husets facade i brug.

Placeringen af solcellerne på den sydøstvendte gavl var en relativt simpel øvelse ud fra et arkitektonisk synspunkt. Her var det primært et spørgsmål om at få udarbejdet solpaneler, der var store nok til at dække facadefladerne mellem gavlens vinduer. Mellem de sorte paneler titter enkelte hvide rektangler frem for at give et farvemæssigt modspil til de mørke flader. Et lille eksempel på at dogmerne – her energikravet og arkitekturen – hele tiden udfordrer hinanden, så der skal arbejdes med tingene for at finde den rette balance.



Fem etager med i alt 10 lejligheder bag
**en distinkt facade af sorte
og hvide felter**

For altanerne har målet været at finde den bedste balance mellem arkitektur, økonomi, energiproduktion, udsigt, indkig og lysindfald.

Altaner vendt og drejet

Placeringen af solpanelerne på den vestvendte facade ud mod Søborg Hovedgade var en langt mere kompleks proces, da det var på denne facade, at husets altaner skulle placeres for at lukke op til livet på gaden.

Altanerne er endt som lukkede dobbeltaltaner formet som forvredne rektangler. Formen var dog langt fra givet på forhånd og var genstand for et tæt samspil mellem arkitekt og ingeniør, som regnede på mange forskellige muligheder undervejs.

Det mest simple ville være at sætte rektangulære kasser udenpå huset, men det viste sig ikke at være den mest hensigtsmæssige form til opfyldelse af de mange funktionskrav til altanerne, herunder flest mulige kvadratmeter solceller mod syd og vest. Derfor endte de med en form, som ved første øjekast ligner en trekant, men reelt er en meget skæv firkant.

De to lange sider vender mod syd og vest, da disse vinkler giver mulighed for den bedste udnyttelse af solens stråler. Den smalle side vender mod nordvest, og normalt ville man ikke sætte solceller på en nordvestvendt facade. Det har man alligevel valgt på BOLIG+ af to årsager. For det første viste beregninger nemlig, at øvelsen kunne betale sig, fordi den hvide bygning reflekterer tilpas meget sollys, der rammer den nordvendte flade og bidrager til energiproduktionen. For det andet er der en arkitektonisk pointe i at få en ensartet beklædning på alle sider af altanerne.

Antallet af altaner har også været til debat, idet det undervejs var meningen at etablere en altan for hver af de 10 lejligheder. I stedet blev det besluttet at lave fem dobbeltaltaner, og ved at samle altanerne kunne man samtidig minimere skygger på facadens solpaneler.



Stenurter på tagene

Går man ind ad indkørslen til BOLIG+, bliver man ført om til en flisebelagt gård med 10 parkeringspladser placeret under et grønt halvtag. Der er lagt et lag sedum – en blanding af forskellige stenurter – ovenpå såvel carporten som affaldsgården.

Man finder også sedum på toppen af de to altantage, som kan ses fra de øverste boliger. Formålet med tagvegetationen er flersidig. For det første er det mere interessant for beboerne

at kigge ned på sedummens grønne og røde nuancer end på sort tagpap, og for det andet bidrager sedummen med en række sidegevinster. I modsætning til tagpap genererer sedum ikke varme omkring bygningen, hvilket indvirker positivt på indeklimaet i lejlighederne. Sedum optager og tilbageholder desuden vand ved kraftige regnskyl og medvirker altså til en aflastning af kloaksystemet, ligesom det skaber grundlag for, at forskelligt småliv fra bunden af fødekæden kan trives.



Der er indgang til BOLIG+ fra både gaden og gården – en entré skærer sig tværs gennem bygningen mellem teknik- og opbevaringsrum.

Træd ind og kig ud

Træder man inden for i BOLIG+ huset, sætter man fødderne på et betongulv, hvorfra en trappe fører op til lejlighederne på de fire overliggende etager. Stueetagen benyttes alene til teknikrum, pulterrum, tørrerum og cykler..

Opgangen er udført på det mindst mulige areal og står med sine trappeløb i ubehandlet grå beton. På første sal er der tre lejligheder – én toværelses på 83 m² og to treværelses på 89 m². Samme layout findes på etagen ovenover, mens



3. og 4. sal begge huser to store lejligheder: En treværelses på 113 m² og en 137 m² stor fireværelses lejlighed.

Lige meget hvilken af de tre døre, man træder ind ad, vil man som det første få et kig ud – enten via altanen eller et højt gulv-til-(næsten)-loft vindue. Fra vinduerne på 4. sal kan man se helt til Sverige på en klar dag.



6

KRS
380
SNE
201





Balancegang på altanerne

Altanerne er et af de elementer, der er lagt flest tanker i. Målet har været at finde den bedste balance mellem arkitektur, økonomi, energiproduktion, udsigt, indkig og lysindfald.

Disse hensyn er alle forenet i formen og vinklerne på altanerne, men oven i det har altanernes design både skullet skabe et attraktivt rum og forhindre, at altanerne medvirker til overophedning eller varmetab.

Først og fremmest var det en forudsætning, at altanerne skulle være lukkede. Det skyldes trafikstøjen fra Søborg Hovedgade – lukkede altaner ville være den eneste måde at holde sig under lokalplanens dB-krav, og når både vinduer og altandør er lukket, kan trafikstøjen stort set ikke høres.

Ofte ville man anskue de lukkede altaner som en mulighed for at få et ekstra isolerende element – en varmebuffer mellem ude og inde. Men da BOLIG+ i forvejen er så tæt og velisoleret, er det ikke nogen fordel med et ekstra lag isolering. Tværtimod ville en tæt altan medvirke til en overophedning, der ville gå ud over indeklimaet og medføre et for højt energiforbrug til ventilation og køling.

Derfor er altanerne bevidst lavet utætte. Der er brugt etlags glas i vinduerne, og der er fræset ventilationsåbninger, som ikke kan lukkes.

Ud over at modvirke overophedning i lejligheden har den utætte altan paradoksalt nok også et modsatrettet formål. Den modvirker nemlig varmetab.

Det hænger sammen med, at det er vigtigt, at beboerne ikke fristes til at udvide stuen med nogle ekstra kvadratmeter ved at have altandøren stående kronisk åben. Gør de det, bliver varmetabet fra lejligheden for stort, og der skal bruges for megen energi til opvarmning. Derfor har det været nødvendigt at ramme en balance mellem en altan, der på den ene side opleves som en positiv værdi ved lejligheden, men på den anden side ikke som et så attraktivt rum, at man inddrager det i stuen.

For at skabe en tydelig adskillelse mellem stue og altan, er der lagt lærketræsbrædder som gulvbelægning på altanen, og opbygningen er mere rå med hvide fibercement-facadeplader på siderne og træbeton på loftet. Samtidig er døråbningen placeret, så man åbner til den smalle side af altanen. Et lille nudging-element, som gør det mindre oplagt at inddrage altanen som en del af stuens rum.

Derudover er der valgt et vinduessystem med skydevinduer, som er meget fleksibelt i forhold til, hvor meget man vil åbne og i hvilken retning. Dermed vil det næsten altid være muligt at sidde i læ og nyde sol og frisk luft på altanen.

Altanerne er udført med afvanding, så den regn, der måtte komme ind ad åbne vinduer, ledes til nedløbsrør. Desuden er alle altaner løftet fri af gadeplan, og beboerne kan derfor trygt lade skydevinduerne i altanen stå åbne – også om natten, og når de forlader lejligheden.



Lyse og rummelige

Lyset fra altanerne og de høje vinduer er med til at skabe en fornemmelse af rummelighed, som kan forstærke oplevelsen af de lyse og store rum, man møder i resten af lejligheden.

Rummeligheden skyldes blandt andet en loftshøjde på 2,64 meter. Loftshøjden opleves ekstra tydeligt i køkkenområdet, hvor loftet er sænket for at få plads til ventilationsanlægget. Forskellen mellem de to loftshøjder indrammer og markerer køkkenet, selv om det er i åben forbindelse med stuen, og de to niveauer bidrager med en dynamik til rummet.

Det åbne køkkenalrum er lejlighedernes hjerte med et godt lysindfald fra både altanen og de høje vinduer. Gulvene er beklædt med parketgulv i ask, og væggene er fuldspartlet. I stedet for at sætte et gipsloft op har man valgt blot at male betondækket, som med sine v-fuger fremstår lidt mere simpelt, end et glat gipsloft ville gøre. Til gengæld opstår der et interessant spil imellem det lidt rå betondæk og det mere for-

finede, forsænkede gipsloft over køkkener og entréer. Samtidig bidrager fravalget af gipsloft til nogle ekstra centimeters loftshøjde.

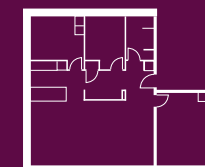
Det hvide køkken er udstyret med lavenergi-hvidevarer for at holde elforbruget nede, og badeværelset er holdt enkelt med kvadratiske sorte klinker på gulvet og rektangulære hvide fliser på væggene. På badeværelset er LED-spots i loftet styret af en bevægelsessensor, og der er vandbesparende armaturer i brusenichen.

Fleksibel planløsning

En af BOLIG+ dogmerne er fleksibilitet i brug, set over tid. For at leve op til dette dogme har arkitekten og ingeniøren sørget for, at ingen af boligernes interne vægge er bærende, så det er muligt at redefinere planløsningen, hvis der skulle blive behov for det. Samtidig er der i betonvæggen mellem lejlighederne på 3. og 4. sal lavet et felt, som let kan fjernes og forvandles til en dør, så man i stedet får en sammenhængende lejlighed på en hel etage.

BOLIG+

Træd ind og tag et kig



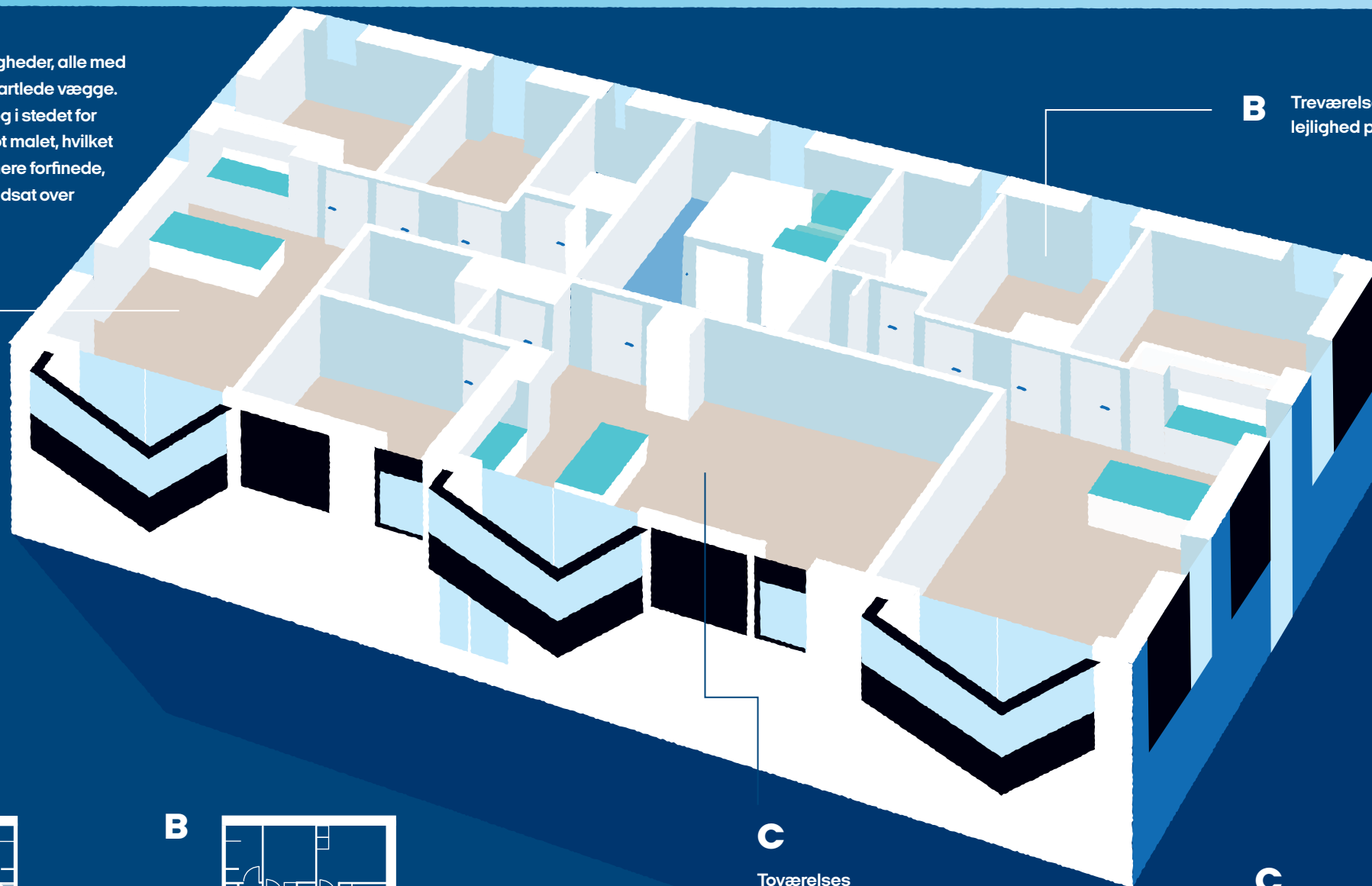
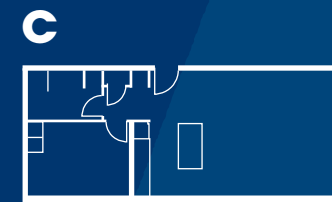
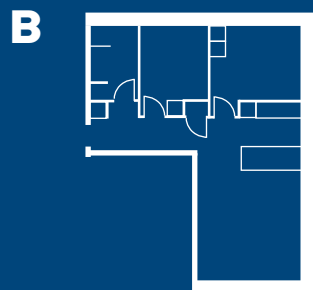
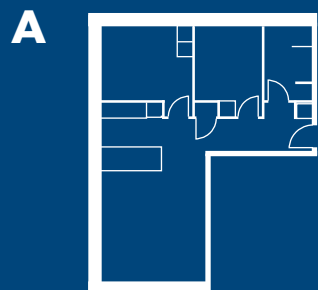
1. og 2. sal

På 1. og 2. sal er der tre lejligheder, alle med parketgulve i ask og fuldspartlede vægge. Loftshøjden er 2,64 meter, og i stedet for gipsloft er betondækket blot malet, hvilket giver en fin kontrast til det mere forfinede, sænkede gipsloft, som er indsat over køkken og entré.

A
Treværelses
lejlighed på 89 m²

B Treværelses
lejlighed på 89 m²

C
Toværelses
lejlighed på 83 m²

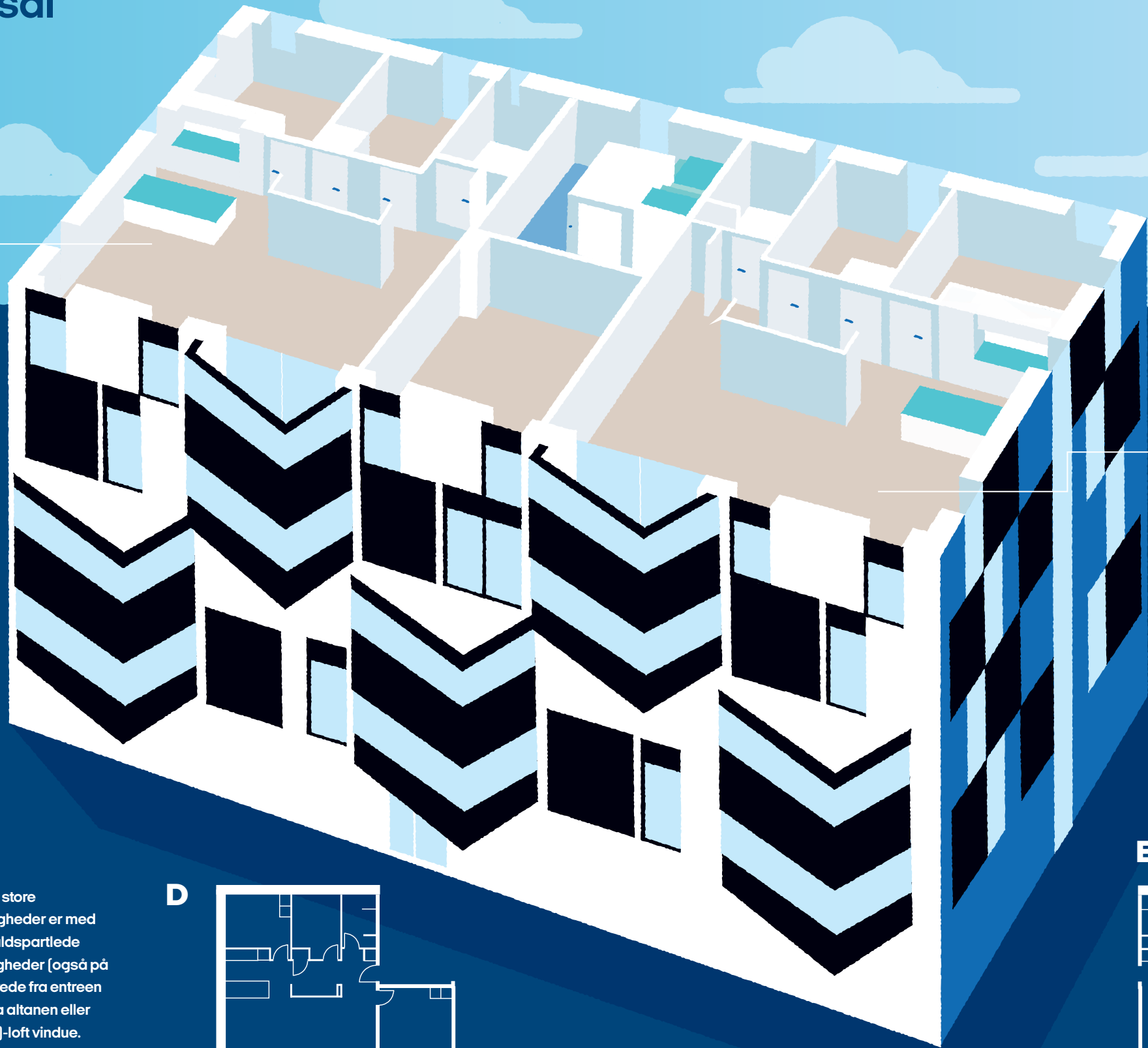
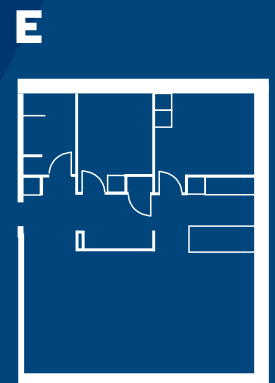


3. og 4. sal

D Fireværelses
lejlighed på
137 m²

E Treværelses
lejlighed på 113 m²

På 3. og 4. sal er der to store lejligheder. Begge lejligheder er med parketgulve i ask og fuldspartlede vægge, og fra alle lejligheder (også på 1. og 2. sal) er der allerede fra entreen et flot kig ud – enten via altanen eller et højt gulv-til-(næsten)-loft vindue. Fra vinduerne på 4. sal er der udsigt til Sverige på en klar dag.







Teknikken bag facaden

En tæt klimaskærm

Ventilation efter behov

Varmen fra brusebadet genbruges

Gode, gammeldags radiatorer

Tag liften

Ingen varme i stueetagen



Teknikken bag facaden

At skabe et energineutralt hus består grundlæggende af to faser: Først planlægger man huset, så det bruger så lidt energi som muligt, og derefter etablerer man en energiproduktion, der dækker den energi, der trods alt skal bruges.

Det allerførste trin er at vælge boligtype. Frem for at bygge 10 parcelhuse, rykker BOLIG+ de 10 boliger sammen til lejligheder i en etageejendom. Dermed kommer boligerne til at dele klimaskærm, så der bliver en mindre overflade at miste varme igennem. På den måde halveres varmeforbruget.

BOLIG+ er bygget efter BR2020 kravene, hvis krav til energirammen er et energiforbrug på højst 20 kWh pr. kvadratmeter årligt – vel at mærke energi til opvarmning, varmt vand, ventilation og evt. køling.

Ved at bygge efter BR2020-kravene i stedet for de gældende BR2010-krav reduceres energiforbruget med 60 pct.

Det lavere energiforbrug opnås blandt andet i kraft af følgende tiltag:

- Højere tæthed i bygningens klimaskærm
- Behovsstyret ventilation med et mekanisk anlæg, hvor varmen genvindes.
- Varmegenvinding på varmt brugsvand

En tæt klimaskærm

Bygningens tæthed er helt afgørende for energiforbruget. Der er ikke noget, der flytter varme hurtigere end luft, som får lov at bevæge sig. Man får altså først optimal effekt af den omfattende isolering af bygningen, når man eliminerer de utætheder, hvor varmen kan slippe

ud. Tætheden er opnået ved at kombinere en enkel konstruktion med gode komponenter og omhyggelig udførelse.

Den enkle konstruktion er et hus udført i betonelementer i vægge og dæk, hvor betonkonstruktionen – under forudsætning af tætte sammen- og understøbninger – i praksis er lufttæt. De største udfordringer er helt lufttætte samlinger imellem betonbaggmuren og vindueskarmene, hvor der i BOLIG+ er anvendt lysningsfolier med tapede samlinger. Dernæst er det afgørende, at der udføres effektiv tætning omkring alle installationsgennemføringer.

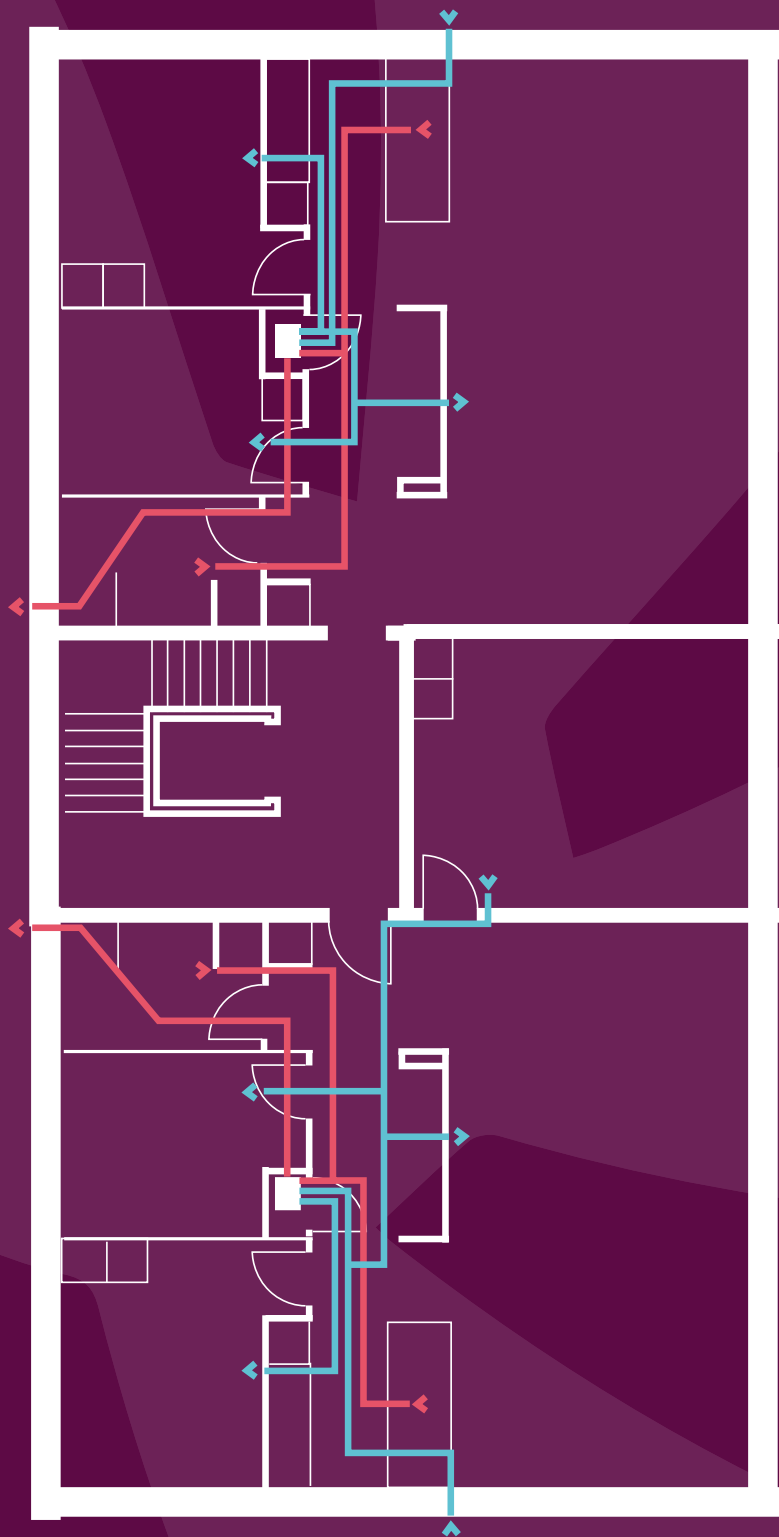
Et ambitiøst tæthedskrav medfører således ikke blot et lavere varmetab (ventilationstab), men også en øget kvalitetssikring af den håndværksmæssige udførelse.

Niveaue for ejendommens tæthed er defineret af BR2020, som stiller krav om 0,5 l/s pr. m² ved trykprøvning med 50 Pa. På BOLIG+ er der udført en blowerdoor-test, som viser 0,4 l/s pr. m².

BOLIG+ er et eksempel på, hvor langt man kan nå ved at gøre brug af de ypperste materialer og metoder i forhold til isolering og tæthed.

Ventilation efter behov

Ventilationsanlægget i BOLIG+ er specielt på flere måder, både rent teknisk og i form af den måde, det er installeret på. For at holde energiforbruget så lavt som muligt er der i BOLIG+ valgt et decentralt behovsstyret anlæg.



Ventilationsanlægget i BOLIG+ er decentralt, så alle 10 lejligheder har hver deres ventilationssystem. Luften hentes ind i gavlene (de blå rør) og blæses ud mod haven (de røde rør). Ved at placere udblæsningen ved badeværelserne, tæt på opgangen – i stedet for tæt på vinduer til stue og værelser – minimeres generende madlugt til de andre boliger. Indtagene til den luft, der blæses ind, er placeret på husets gavle bag solcellerne og dermed udnyttes varmen fra solcellerne.

Om vinteren styres systemet efter fugtniveauet, ligesom den manuelle brug af emhætten bidrager til ventilationen. Anlægget kører dog altid med mindst 0,3 l/s pr. m². Om sommeren bruges naturlig ventilation og anlægget er som udgangspunkt slukket, men tændes af en PIR-føler på badeværelset samt ved manuel brug af emhætten. Anlægget skifter selv mellem vinter- og sommerdrift afhængig af udetemperaturen.

Alternativet til det behovsstyrede system ville være et ventilationssystem, som kører kontinuerligt, hvilket for det første bruger markant mere energi, og for det andet ikke virker optimalt i forhold til indeklimaet. Udfordringen med anlæg, der kører med kontinuerlig, fast ventilation, er, at det typisk enten ventilerer for meget eller for lidt.

Når der ikke er behov for ventilation, kører anlægget alligevel, og når der så endelig er behov, ventilerer det ikke nok til at opfylde behovet.

"Vi har forsøgt at minimere behovet for mekanisk ventilation ved at give gode muligheder for at bruge naturlig ventilation. I alle rum er der et eller flere vinduer, der kan åbnes, og som har en lås, der gør, at man kan have dem stående på klem, selv om man ikke er hjemme."

Simon Kamper, ingeniør, MOE

Derfor er et behovsstyret system både en fordel for indeklimaet og energiforbruget. Ventilationsanlægget i BOLIG+ er decentralt, så alle 10 lejligheder har hver deres ventilationssystem. En af de vigtigste årsager til valget af denne løsning var, at man havde brug for at holde taget fri for installationer. De ville nemlig både kaste skygge på solcellerne og optage værdifuld plads, som kunne udnyttes til flere solceller.

Et stort centralt anlæg ville have afkast gennem bygningens tag eller i terrænen, men med decentralt anlæg bliver det muligt at lave både indtag og afkast gennem facaden.

Det decentrale anlæg har også store energimæssige fordele i kraft af sine kortere ventilationskanaler, og at det er nemmere at styre luftmængden i de enkelte lejligheder. Det betyder nemlig mindre tryktab og altså en mere effektiv ventilation.

Gevinsten opnås dog ikke uden udfordringer, for Dansk Standard foreskriver, at afkast af ventilation bør ske over tagniveau. Det skyldes blandt andet indeklimaet – man vil ganske enkelt undgå, at den "brugte" luft og mados bliver trukket ind i lejligheden igen eller ind i de omkringliggende lejligheder.

For at løse denne problematik har ingeniøren gjort to ting. For det første er emhætten blevet forsynet med et kulfilter, som renser udsugningsluften. For det andet har man placeret indtag og afkast på hver sin side af bygningen, og samtidig sikret sig, at vinduer er placeret langt fra nærmeste afkast. På den måde bliver der rigelig afstand til det nærmeste, oplukkelige vindue.

Varmen fra brusebadet genbruges

Et af de elementer, der skæpper godt i energiregnskabet i BOLIG+, er varmegenvindingen på det varme brugsvand. Det er ikke en særlig udbredt teknologi i Danmark, men den er yderst effektiv.

Normalt ville det varme vand fra beboernes brusebad ryge direkte i kloakken, men i BOLIG+ bliver det brugt til at forvarme det kolde vand fra vandværket. Det sker gennem et rør-i-rør system, hvor det nye, kolde vand løber ind i huset i det yderste rør, mens det brugte, varme vand løber i et rør inden i. Det kolde vand løber i et tyndt rør, og derfor bliver varmen fra det omkringliggende vand let overført.

Anlægget gør det muligt at forvarme det nye vand med cirka 20 grader, og der kan dermed spares meget på den energi, der skal bruges til opvarmning af vand. Faktisk regner man med, at varmegenvinding på brugsvandet reducerer energiforbruget til varmt brugsvand med 20 pct.



Gode, gammeldags radiatorer

Lejlighederne i BOLIG+ bliver opvarmet med radiatorer frem for gulvvarme. Det skyldes, at gulvvarme er relativt træg som opvarmingsform og derfor kan bruge mere energi end radiatorer. Samtidig viser erfaringer, at man hurtigt indstiller sig på, at gulvet konstant skal være behageligt lunt, og derfor kommer man til at hæve sit energiforbrug med gulvvarme.

Brugerne er mere vant til at regulere på en termostat på en radiator end på en termostat til gulvvarme, og radiatorer sikrer dermed, at man kan regulere hurtigt og præcist, hvilket medvirker til et godt termisk indeklima.

Tag liften

BOLIG+ projektgruppen har desuden valgt at installere en lift i stedet for en elevator af to årsager. For det første kræver en lift ikke så meget frihøjde som en elevator, hvorfor det ikke er nødvendigt med en skakt, der stikker op over tagniveau, hvilket ville være tilfældet, hvis man havde valgt en elevator. Denne detalje er vigtig, eftersom kvadratmeterne på taget er ganske dyrebar for BOLIG+. Det er her, størstedelen af produktionen af solenergi skal finde sted, så der er brug for både plads og et skyggefrit miljø.

For det andet kører en lift langsommere end en elevator og bruger derfor mindre strøm, når den kører. Den kører heller ikke så ofte, som en elevator ville gøre, for på grund af dens lave fart

vil beboerne være mere tilbøjelige til at vælge trapperne. Liften er endnu et eksempel på de små nudging-elementer, som er lagt ind i byggeriet for at anspore beboerne til at træffe mere energirigtige – og i dette tilfælde også sundere – valg i hverdagen.

Ingen varme i stueetagen

Stueetagen i BOLIG+ er ikke beboet, men bliver i stedet primært benyttet til tørrerum og pulterrum til de enkelte lejligheder. Etagen er uopvarmet for at spare på energien. Samtidig har man placeret solcelleanlæggets invertere, som omdanner solcellernes jævnstrøm til brugbar vekselstrøm, i tørrerummet.

Normalt ville de være placeret på taget sammen med panelerne, men da de arbejder mest effektivt ved lave temperaturer, er de blevet flyttet ind i underetagens tørrerum. Anlægget afgiver lidt varme, som så kan bruges til at tørre tøj med.

Den uopvarmede underetage har givet nogle udfordringer i forhold til kuldebroer, idet de bærende vægge omkring liftskakten går igennem til lejligheden ovenpå. Kuldebroerne har været umulige at eliminere, men det samlede energiregnestykke har været så godt, at der har været plads til lidt spildt varme på den konto.

Spot på de skjulte energislugere

Målet for BOLIG+ er at opnå energineutralitet, men bare det at svare på, hvad bygningens energiforbrug egentlig er, har været en udfordring.

En lang række energiforbrugende bygningskomponenter – for eksempel dørtelefon, målere og brandspjæld – er nemlig ikke omfattet af krav til energiforbrug, hverken komponentkrav eller totalenergikravet i bygningsreglementet. Derfor er der heller ingen, der har haft fokus på at **minimere forbruget** fra disse elementer, til trods for at det langt fra kan afskrives som bagatelagtigt.

Et eksempel, som dukkede frem under arbejdet med det oprindelige BOLIG+ i Aalborg, handler om brandspjæld. Efter BOLIG+ konkurrencen kom der nemlig en ny brandnorm, der kræver, at brandspjæld skal være elektriske – de skal klappe i, når strømmen går. Tidligere skete dette ved, at en brandsnor brændte over.

Disse brandspjæld kunne dengang – ved projektering af BOLIG+ Aalborg-projektet – have et konstant elforbrug på helt op til 16 W pr. stk. Det lyder måske ikke af meget, men det er et **standbyforbrug**, som tikker uafbrudt. Med to brandspjæld i hver lejlighed som i BOLIG+ ville dette give et årligt standbyforbrug på 2,7 (p) kWh/m² etageareal.

Det forbrug har ingen rigtig sat spørgsmålstegn ved tidligere, men på grund af BOLIG+ dogmet om energineutralitet blev konsekvensen pludselig meget tydelig. Det ville nemlig kræve 170 m² ekstra solceller at dække brandspjældenes energiforbrug på det oprindelige BOLIG+ i Aalborg og 25 m² ekstra på huset i Søborg.

Derfor blev der fra flere sider i BOLIG+ styregruppen afgivet hørings svar til Energistyrelsen, ligesom branchen i mellemtiden har udviklet typer, som nu bruger omkring 2-3 W.

Brandspjældene er altså et lille eksempel på, hvordan det at rette fokus mod bygningers energiforbrug kan være med til at drive udviklingen i en mere **energivenlig** retning. Jo større efterspørgsel der bliver på **energi-effektive** produkter, desto større vil incitamentet til produktudvikling blive for producenterne.

I BOLIG+ i Søborg er man endt med at undgå brandspjæld i næsten alle lejligheder, fordi man har valgt decentrale ventilationsanlæg samt afkast og indtag i facaden. Brandspjældene skal nemlig kun bruges, hvor man passerer fra en brandsektion – typisk en lejlighed – til en anden. Det undgås her. Det har dog for den øverste af de to midterlejligheder ikke været muligt at finde en egnet placering af indtaget. Derfor var det nødvendigt med brandspjæld for at undgå at trække røg ind i lejligheden nedenunder i tilfælde af brand.



"Jo mere du ved, jo bedre kan du handle. Ved at give beboerne kontinuerlig feedback, håber og tror vi, at de vil blive motiveret til at handle ud fra det og aktivt tilpasse deres forbrugsmønster, så de kan holde sig inden for den energiproduktion, som så at sige følger med huset."

- Jørgen Søndermark, projektleder, arkitekt
Realdania Byg

En leg at spare på strømmen

BOLIG+ skal være **attraktivt** at bo i, ikke bare på grund af arkitekturen, indeklimaet og elregningen, men også på grund af husets komfort. For at øge komforten og samtidig anspore beboerne til at spare på strømmen er der installeret et intelligent anlæg til styring og overvågning af hver enkel lejligheds strømforbrug.

Med **Zensehome-anlægget** kan beboerne selv designe og styre deres belysning, så de eksempelvis med et enkelt tryk på stikkontakten kan tænde lys i gangen og køkkenet, når de kommer hjem. Eller med **ét tryk** kan slukke for alle relevante kontakter, når de forlader lejligheden. Tager man på ferie, kan man lade systemet genspille det seneste døgn's aktivitet, så lejligheden ser beboet ud, og kommer man i tanke om, at man har glemt at slukke strygejernet, efter at være taget på arbejde, kan man bare åbne en **app** på sin **smartphone** og slukke kontakten.

Systemet giver **frie hænder** i forhold til at tilpasse styringen af lys og elapparater til eget behov, og samtidig giver systemet indsigt i strømforbruget helt ned på stikkontakt-niveau.

Tankegangen bag er enkel: Jo mere man ved, desto bedre er man i stand til at handle. Ved at give beboerne viden om, hvad de bruger strøm på, og hvor meget de bruger, vil BOLIG+ anspore beboerne til at forsøge at **spare** på strømmen, så de kan holde sig under de 1.712 kWh, som så at sige følger med huset, fordi solcelleanlægget producerer dem.

Samtidig bidrager Zensehome med et element af **"gamification"**, fordi det bliver muligt for beboerne at sammenligne deres strømforbrug med egne historiske tal eller andres forbrug og dermed **dyste** om at blive endnu mere **strømsparende**.

Beboerne får også mulighed for at følge med i, hvor meget strøm bygningens solceller producerer. Med **app'en Solar Edge** kan beboerne se, hvor meget anlægget producerer som helhed, og hvor meget hvert enkelt modul bidrager med. Det bliver både muligt at følge niveauet i "real time" og se statistik over dage, måneder og år.

Et solcelleanlæg ud over det sædvanlige

Ydelse og æstetik skal forenes

Usynlige solceller

Innovativ teknologi

Små solcelletage på taget

Bypass dioder indkapslet i panelet

Optimizere afhjælper skyggeproblemer

Missionen lykkedes



Første fase af arbejdet med at skabe et energineutralt hus bestod i at trække i alle tænkelige håndtag for at sænke husets energiforbrug. Men energi skal der trods alt bruges til at drive husets elektriske installationer og til at udbalancere den energi, der bruges fra fjernvarmen.

Det årlige forbrug i BOLIG+ til varme, opvarmning af vand og drift af ventilationsanlægget svarer til 28,5 (p) kWh/m² årligt. Hertil skal så lægges 10 gange 1.712 kWh for lejlighedernes årlige strømforbrug og 7,1 (p) kWh/m² årligt til fællesarealerne.

Husets samlede forbrug bliver 65 (p) kWh/m², og det er det tal, som solcelleanlægget skal producere for, at BOLIG+ bliver reelt energineutral. I alt skal solcelleanlægget producere 40.000 kWh el om året.

Det er et højt produktionskrav. Og det er da også så højt, at det er uden for rækkevidde for et standard solcelleanlæg.

Ydelse og æstetik skal forenes

Derfor er solcelleanlægget på BOLIG+ facaderne blevet alt andet end standard. Ud over at skulle honorere de høje produktionskrav har anlægget nemlig også skullet leve op til arkitektens krav til æstetikken.

- Det skulle være store paneler – op til 2 gange 3 m pr. stk.
- Panelerne måtte ikke stikke markant ud fra bygningen.
- De måtte ikke monteres i en synlig alu-ramme.
- Panelerne måtte ikke give genskin, og selve cellerne skulle være usynlige. Set fra vejen skulle panelerne fremstå som en integreret del af bygningens arkitektur

Normalt består et solcellepanel af en glasplade, en kraftig alu-ramme omkring glasset og en bagsideboks med store bypassdioder for at hindre hotspots.

I BOLIG+ solcellepanelerne er det lykkedes at støbe monteringsbeslag ind i selve panelet, så både alu-rammen og bagsideboksen helt kan undværes. Fraværet af bagsideboksen betyder samtidig, at man frit kan vælge, hvor kablerne

skal komme ud. På den måde kan store moduler tilpasses arkitekturen og ikke omvendt.

Produktionsmetoden betyder desuden, at panelet bliver markant tyndere og nemmere at montere. Det skal blot hægtes på en skinne på facaden. Denne teknik har været afgørende for, at det kunne lade sig gøre at producere solpaneler, som passer til BOLIG+ projektets krav.

Usynlige solceller

Panelerne skulle være matte, sorte og uden det karakteristiske blåviolette skær fra solcellerne. Groft sagt skulle cellerne være usynlige.

Af den grund er der udviklet nogle særligt sorte siliciumceller inde i modulet bag en sort baggrundsfolie. Samtidig er der blevet specialudviklet tynde sorte bånd, som er lagt oven på de ellers synlige tre metalstriber i hver celle. Begge dele er kompromisser i æstetikens navn, som er med til at trække virkningsgraden en lille smule ned.

Innovativ teknologi

For at trække i den anden retning og optimere virkningsgraden benyttes PERC (Passivated Emitter Rear Cell) teknologi, som går ud på, at man lægger et ekstra lag aluminium på solcellens bagside. Det er med til at pacificere de elektroner, som forstyrrer den elektriske strøm, og det reflekterer desuden lyset, så man ikke ”mister” så meget lys til cellens bagside. Normalt er det 18 pct. af lyset, som kan udnyttes af en solcelle, men i BOLIG+ panelerne er tallet oppe på 21 pct.

Det gælder dog kun panelerne på taget, som er dem, der kan optimeres mest. Facadepanelerne holder trods de æstetiske kompromisser en udnyttelsesprocent på 19.

Små solcelletage på taget

Fra starten af BOLIG+ projektet har det stået klart, at tagfladen skulle forsynes med solceller. I den forbindelse er der fra arkitekten og ingeniørens side arbejdet meget med, hvordan panelerne skulle placeres for at udnytte sollyset bedst muligt.

Normalt stiller man panelerne i rækker vendt mod sydvest og med en vinkel på cirka 40 grader. Det er den mest effektive vinkel og retning, men problemet er, at den første række vil kaste skygge på den anden, som skygger for den tredje og så videre. Det kan kun løses ved at flytte panelerne længere fra hinanden, men så bliver der ikke plads til paneler nok. I begge tilfælde falder udnyttelsen af tagfladen markant, og derfor blev der tidligt i processen – allerede til Aalborgprojektet – foreslået en hel anden løsning, nemlig at bygge solcellepanelerne op som små tage. I alt er der monteret 182 m² solpaneler på taget.

Egentlig regnede man sig frem til, at det mest effektive ville være at lægge panelerne fladt på taget, hvis udnyttelsesgraden var det eneste parameter. Det er det imidlertid ikke, for hvis panelerne ikke står lidt på skrå, bliver vand, snavs, fugleklatter og lignende ikke skyllet af, og så opstår der problematiske skygger.

Derfor nåede man frem til, at panelerne skulle stilles op som små tage med en hældning på 12,5 pct., hvor den ene flade vender mod sydøst og den anden mod nordvest. Normalt ville man ikke anse en nordvest-vendt flade for særlig effektiv, men BOLIG+ projektet beviser noget andet.

Forklaringen skal findes i det danske vejr. De skyfri dage med høj sol er sjældne, og skyerne betyder, at cirka halvdelen af det sollys, der rammer bygningerne, er diffust lys – altså lys, som kommer fra forskellige retninger. Og disse stråler fanges lige så godt med en nordvest-vendt flade som en sydøst-vendt.

Bypass dioder indkapslet i panelet

En typisk udfordring med solceller er, at en celle – hvis den blokeres af et blad eller en fugleklat – går fra at være en aktivt ydende enhed til at suges strøm. Så meget, at der kan opstå ”hotspots” i cellerne, så glasset kan overophedes og sprænges. For at undgå det placerer man i en bagsideboks store, beskyttende bypass dioder, som kan lede strømmen uden om den blokerede celle. Problemet er bare, at cellerne er inddelt i grupper, så man er nødt til at tage mindst 20 celler ud af produktion, hver gang én celle bliver blokeret. Det koster på produktiviteten, og derfor er der i

stedet indkapslet mange små dioder, så det kun er nødvendigt at tage tre-fire celler ud af produktion, hvis der falder skygge på én celle.

Optimizere afhjælper

Som et ekstra optimeringsgreb er panelerne blevet forsynet med en såkaldt optimizer. Når man sender strøm fra en serie solcellemoduler til den fælles inverter, der laver strømmen om fra jævnstrøm til vekselstrøm, kan der opstå et problem, hvis et af modulerne er i skygge – så trækker det nemlig de andre moduler i serien ned.

Den problematik er sandsynlig for et hus som BOLIG+, hvor man for eksempel kan forestille sig, at en beboer hænger et håndklæde til tørre ud af altanvinduet. Det vil kunne trække en hel serie af solcellemoduler ned, men hvis man sætter en optimizer på hvert modul, sørger den for at tilpasse strømmen til det næste modul i rækken. Man mister altså stadig effekt på det modul, der er dækket af håndklædet, men det trækker ikke de andre moduler i serien ned. Det samme gælder, når der kommer delsskygger fra bygningerne på den anden side af vejen.

Ifølge beregningerne er investeringen i optimeret tjent hjem på to-tre år på grund af den øgede produktion af solcellerne.

Missionen lykkedes

Solcelleanlægget, der beklæder BOLIG+, er altså optimeret på alle ledder og kanter, og resultatet er også derefter. Anlægget er dimensioneret til at yde omkring 40 MW om året, hvilket er cirka en tredjedel mere end et standardanlæg ville kunne producere. Dermed er det lykkedes at etablere en energiproduktion af en størrelse, der betyder, at det samlede energiregnskab går i nul.

”BOLIG+ har været et specielt projekt, fordi vi har skullet bringe en del krævende ting i spil samtidig, og oveni det introducere nogle helt nye løsninger – blandt andet for at sikre, at selve solcellerne ikke skulle kunne ses i panelerne på facaden. De skulle helst være usynlige.”

Solcelleleverandør, Yakov Safir,
direktør, Racell Saphire



Stor styrke i specialudviklede beslag

For at opnå stabil og sikker montage af de store paneler uden skæmmende alu-rammer, har arkitekt og solcellefirmaet udviklet en **ny type** monteringsbeslag. Det nemmeste havde været at finde en eksisterende alu-profil, som ville egne sig, men aluminium kunne ikke leve op til bygningsmyndighedernes krav til brandsikkerhed.

Derfor har solcellefirmaet været nødt til selv at få **designet** nye **monteringsbeslag**, som sammen med resten af panelet har været igennem grundige tests på **DTU**. Ved første test fandt man en svaghed i ophænget i forbindelse med krydstræk, så siden er beslagene blevet **forstærket** og indkapslet mere i selve solcellepanelet.

Panelerne skal kunne klare et træk på 200 kg/m², og det opfyldes så rigeligt nu. Faktisk har tests vist, at tallet nærmere er 1.000 kg/m². I tilgift har man nu en montage metode, der – når først montageskinnerne er monteret præcist på facaden – gør det let og hurtigt at montere og afmontere de store moduler.



Batterierne i BOLIG+

Solcelle-teknologien er ved at modnes, og over hele Europa er de statslige støtteordninger under udfasning. Det betyder, at de økonomiske betingelser for solcelle-installationer ændrer sig.

For ca. fem år siden blev der i Danmark indført en ordning, Nettomålerordningen, der betød, at elnettet fungerede som gratis lager for ikke brugt solcelle-strøm. Ordningen blev markedsført med budskabet om, at 'måleren kunne løbe baglæns', og at prisen var den samme for købt og solgt strøm.

Siden er ordningen ændret til en 'time-til-time' ordning. Solcelle-strømmen skal bruges inden for en given time, og det, der ikke kan bruges med det samme, skal sælges til elnettet til en reduceret pris, p.t. omkring 60 øre. Når solen er gået ned, og der er behov for strøm, købes det tilbage fra nettet, denne gang til normal pris, p.t. omkring 2,20 kr. Økonomien i solcelle-

anlæg er altså ikke længere nær så attraktiv som tidligere, men det kunne den måske blive, hvis det var muligt at gemme lidt strøm til de mørke timer og således slippe for først at sælge og efterfølgende købe.

Et batteri kan gemme strømmen

Svaret er batterier. Et batteri kan lokalt gemme solcelle-strømmen fra de gode solskinstimer, så strømmen er klar, når det store strømbehov melder sig omkring spisetid. Strømmen skal altså ikke først en tur ud omkring elnettet, og man slipper for først at sælge billigt og derefter købe dyrt.

BOLIG+ bygningen er fra begyndelsen indrettet med henblik på en batteriløsning, og der er i bygningens tekniketage indrettet et disponibelt rum, som kan rumme et eller flere batterier.

Batterier har imidlertid længe været alt for dyre i forhold til den besparelse, de kunne give, og projektgruppen bag BOLIG+ har

derfor undervejs blot fulgt og afventet markedets udvikling.

Men lige op til færdiggørelsen af BOLIG+ dukkede en ny type batteri op; flowbatteriet, som forudses at blive afløseren for lithium-ion batterier, kendt fra f.eks. Teslas elbiler. I flowbatteriet gemmes strømmen i en tank med væske i stedet for at gemme strømmen i selve den strømgivende del i batteriet

Batterier i 'garderobeskabe'

I batteriet i BOLIG+ er væsken baseret på metallet vanadium, som er opløst i en syre. Princippet er billigere end de traditionelle løsninger og har tilmed et stort udviklingspotentialer, som på sigt vil give endnu bedre økonomi i batteriinstallationer.

Det væskebaserede batteri har tillige en meget lang levetid, fordi batteriet kan tåle at blive ladet og afladet op mod 10.000 gange, hvorimod et li-ion batteri til private solcelleanlæg typisk kan klare 3-4.000 'cykler'.

Dermed matcher væskebatteriet levetiden på solcelleanlægget og skal ikke skiftes flere gange undervejs. Samtidig har flowbatteriet den fordel, at der ikke er nogen brandfare. Hvis batteriet kortsluttes, sker der ikke noget, hvorimod der i et li-ion batteri vil ske en væsentlig større energjudladning, som kan forårsage brand. Derudover kan man i flowbatteriet skalere og skræddersy størrelsen på effekt og kapacitet uafhængigt af hinanden, hvorimod et li-ion batteri købes som en samlet 'pakke'. Skal man bruge

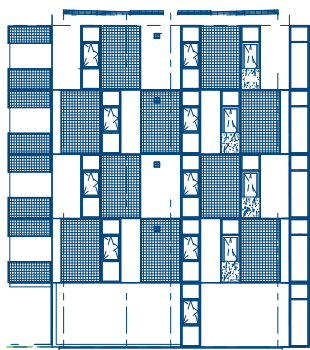
mere effekt, må man således også tage mere kapacitet – og dermed et større og dyrere batteri – med i handlen.

Effekt og kapacitet

Batterier defineres ud fra deres effekt og kapacitet. Effekten er den mængde strøm, der på et givent tidspunkt kan trækkes ud af batteriet, mens kapaciteten er den mængde strøm, der totalt kan gemmes i batteriet.

Det ideelle ville være et batteri, som kunne gemme al den strøm, der overhovedet kan produceres, og som til enhver tid ville kunne levere al den strøm, der er brug for. Men i virkeligheden skal der naturligvis regnes på økonomien. Et meget stort batteri er tilsvarende dyrt – så i BOLIG+ processen har det været afgørende at finde frem til en balance, hvor batteriet på den ene side ikke bliver for kostbart, og på den anden side giver en besparelse, der er stor nok til at modsvare investeringen – set i forhold til levetiden.

Batteriet i BOLIG+ har en effekt på 1kW og en kapacitet på 40kWh. Med denne størrelse kan andelen af den strøm, som husets beboere kan bruge direkte fra solcelleanlægget, fordobles fra ca. 25 pct. til knap 50 pct. I tørre tal betyder det, at beregnet ca. 7.200 kWh årligt ikke længere sælges og købes til elnettet, og for hver kWh spares forskellen på købs- og salgsprisen, i øjeblikket omkring 1,50 kr. På sigt ser det endda ud til, at myndighederne vil indføre endnu større forskel på købs- og salgspris, og i så fald vil økonomien blive endnu bedre i batteriløsningen.



"Mit arbejde er ikke anderledes, end det plejer at være. Det kan godt være, at isoleringstykkelserne er nogle andre, end vi plejer at bruge, men byggeprocesserne er jo de samme, og det har været lige så hurtigt og let at bygge et BOLIG+ hus som et almindeligt etagebyggeri."

- Jakob Ploug, projektleder, Dansk Boligbyg

Et anderledes hus med en almindelig byggeproces

BOLIG+ er et unikt byggeri, men det betyder ikke, at det har været en unik opgave at bygge det. Faktisk har processen ifølge entreprenøren ikke adskilt sig synderligt fra et almindeligt byggeri. Tiden har arbejdet for mange af løsningerne i BOLIG+. I 2009 var mange af de elementer, der skulle bruges til at bygge et lavenergihus, ikke indarbejdet så godt i branchens værktøjskasse, som tilfældet er i dag.

De tekniske løsninger er integreret mere i selve byggeriet, end man ofte ser, men det påvirker ikke selve byggeprocessen.

Det, der har fået BOLIG+ til at skille sig ud, set fra et entreprenørsynspunkt, har været den tætte dialog med arkitekt, ingeniør og bygherre. Fordi økonomien har været en definerende faktor, er huset blevet planlagt og bygget med et øje på et regneark, og derfor har der løbende været dialog om, hvilke løsninger der ville kunne rummes inden for budgettet.

BOLIG+ blev et argument for fremrykning af BR2020

Allerede længe inden første spadestik på BOLIG+ blev taget, var projektet med til at påvirke den politiske dagsorden. Det vindende konkurrenceforslag fra 2009 beviste nemlig, at det var muligt at opføre et byggeri inden for en almindelig byggeøkonomi, som så rigeligt overholdt de **energikrav**, der lå i BR2020.

Derfor brugte SFs Anne Grete Holmsgaard BOLIG+ som argument, da hun under et samråd med økonomiminister Brian Mikkelsen i 2011 talte for at fremrykke vedtagelsen af den **lavenergiklasse 2020**, som skulle **sænke energiforbruget** med yderligere 25 pct. i forhold til BR2015.

Argumentationen **lykkedes**, og BR2020-retningslinjerne blev fastlagt **fire år tidligere** end først planlagt.

Energineutralitet behøver ikke koste ekstra



Økonomien har været BOLIG+ projektets sjette dogme. Opfyldelsen af de fem grundlæggende dogmer bliver nemlig først rigtig interessant, når det sker inden for en almindelig byggeøkonomi.

Og det er lykkedes at opføre et byggeri, som kan bygges inden for en almindelig kvadratmeterpris for et lavenergi-byggeri, hvis en bygherre skulle have interesse i at replicere huset.

At det er lykkedes, skyldes en lang række valg undervejs, hvoraf et af de vigtigste har været beslutningen om ikke at etablere en kælder. Det er dyrt at gå i jorden, og derfor har man i BOLIG+ valgt at placere de faciliteter, som ellers typisk ville høre en kælder til, i stueplan. Det gælder teknikrum, tørrerum, pulterrum osv.

Strømmen af strøm

Det er lykkedes for BOLIG+ at ramme "det reelle nul" i energimæssig forstand. Det vil sige, at værdien af den energi, som huset og dets beboere forbruger, balancerer med værdien af den energi, som husets solcelleanlæg samlet set producerer.

Forbrug og produktion afregnes time for time, og på illustrationen ved siden af ses tre forskellige scenarier, som viser hvordan forbrug og produktion vil svinge i løbet af en almindelig dag.

Om morgenen, når der tages brusebad og både brødristeren og elkedlen er tændt, er forbruget højt, og produktionen fra solcellerne lav.

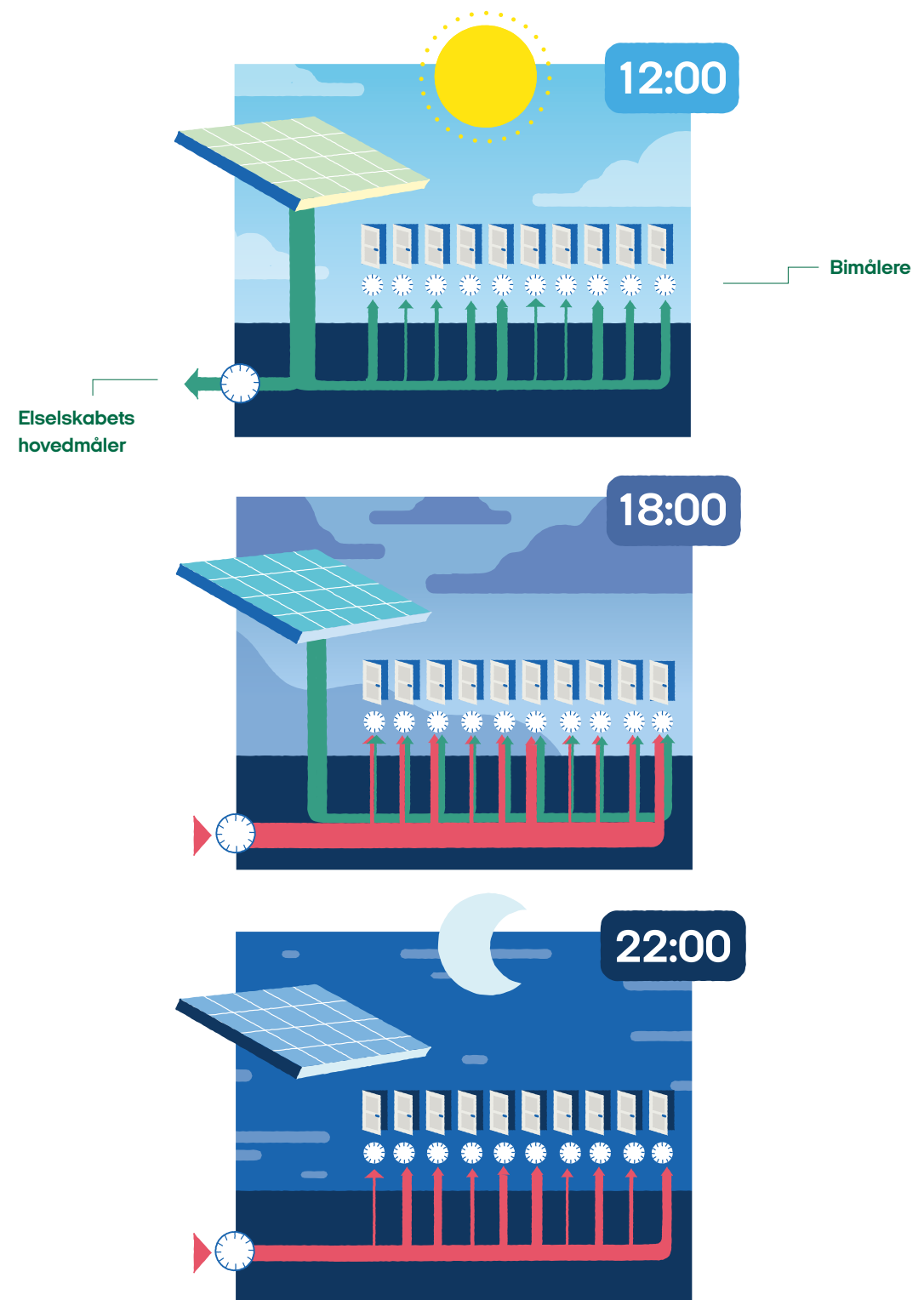
Omkring middag, hvor de fleste beboere er på arbejde, forbruger huset næsten ingen strøm, men til gengæld producerer solcelleanlægget for fuld kraft, og langt størstedelen sælges til elnettet.

Omkring klokken 18 er forbruget også højt, fordi de fleste beboere er hjemme og mange er i gang med at lave mad. Til gengæld står solen lavt undtagen midt på sommeren, så her må der som oftest igen importeres energi.

At energiregnskabet kommer til at balancere, skyldes den energifaktor, som man bruger til at omregne forskellige former for energi for at nå frem til størrelser, som er sammenlignelige i forhold til det energimæssige fodaftryk, de sætter. Al energi er nemlig ikke lige. Der bruges mindre energiråstof til at producere 1 kWh varme end 1 kWh el, og derfor omregnes fjernvarmen med en energifaktor på 0,6, mens el omregnes med en energifaktor på 1,8.

Med andre ord: Når BOLIG+ kan sælge 1.000 kWh el fra solcelleanlæggets overskydende produktion, tæller det som 1.800 kWh på plussiden i energiregnskabet.

Omvendt tæller de 1.000 kWh fjernvarme, som BOLIG+ køber, kun som 600 kWh på minussiden.



Strømmen af strøm

Produktionen af strøm afhænger af tidspunktet på dagen. Midt på dagen, når der er mest lys, producerer solcellerne mest strøm. Noget af strømmen bruges til huset og lejlighederne; resten sælges til elskabet. Om aftenen og natten producerer solcellerne lidt eller ingen strøm, og der må købes ekstra strøm fra elskabet. Også forbruget af strøm varierer hen over dagen, ligesom forbruget afhænger af, hvilke beboere der bor i de enkelte lejligheder.

Energineutral betyder ikke gratis

Selvom BOLIG+ rammer det reelle nul, betyder det ikke, at nullet bliver overført til beboernes energiregning. Hvis man flytter ind i BOLIG+, får man ganske vist lave driftsudgifter, men gratis bliver det ikke.

BOLIG+ er ikke en ø med sit eget lukkede energikredsløb, men tværtimod et hus, som interagerer fuldt ud med det omkringliggende samfund på alle former for infrastruktur. Det betyder, at der blandt andet vil være faste abonnementsudgifter til fjernvarmen og energiselskabet.

BOLIG+ er tilsluttet fjernvarmenettet, fordi det ud fra en overordnet CO₂-mæssig og samfundsmæssig betragtning er det logiske valg. Der er tale om en eksisterende og velfungerende infrastruktur, som er i gang med en politisk besluttet grøn omstilling.

El afregnes time for time

Afregningen af el i BOLIG+ sker efter en "time for time" model. Det betyder i praksis, at man laver en opgørelse på timebasis af, hvor meget strøm BOLIG+ huset på den ene side har aftaget fra sit eget solcelleanlæg og på den anden side har købt fra elnettet.

Hvis BOLIG+ huset eksempelvis inden for en given time har aftaget 30 pct. af den totale anvendte strøm fra sit eget anlæg og 70 pct. fra elnettet, bliver den enkelte lejlighed opkrævet for sit totale forbrug i denne time efter samme fordelingsnøgle.

Det betyder, at de 30 pct. kun koster den lave pris, som BOLIG+ ville få ved salg af strømmen til elnettet. De 70 pct. koster til gengæld den fulde og næsten fire gange dyrere pris, som BOLIG+ skal betale for at købe strøm på nettet.

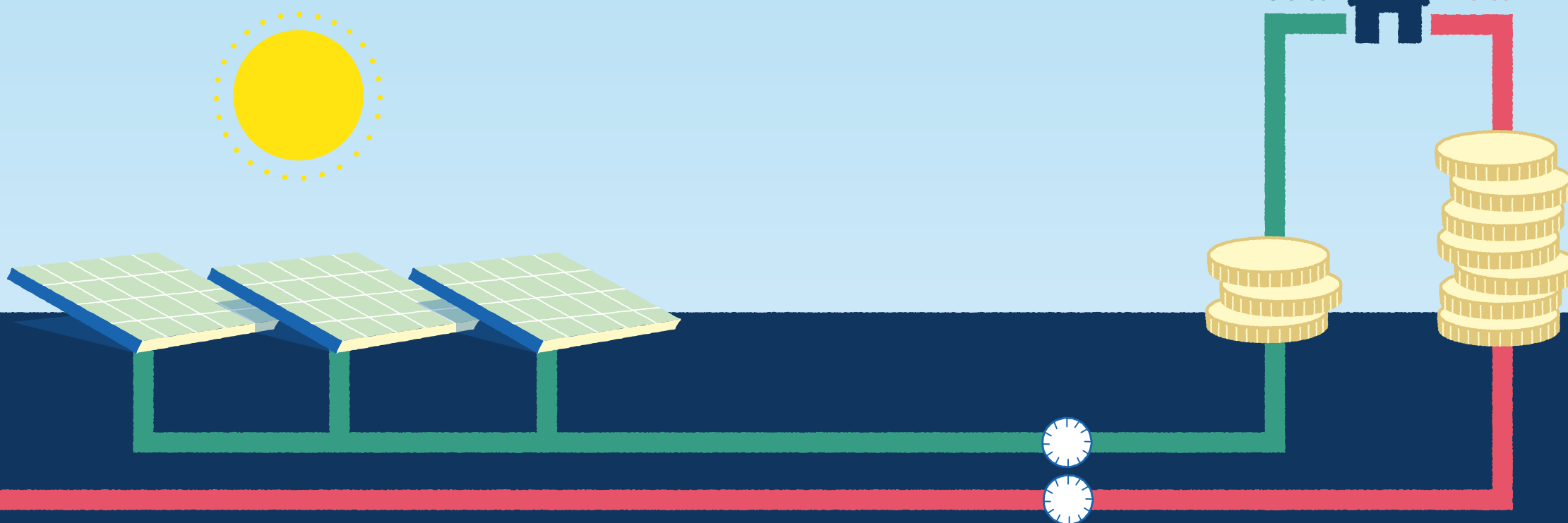
BOLIG+ bliver målt og vejret

Beregningerne på BOLIG+ viser, at bygningen er reel energineutral – i hvert fald på papiret. Men når beboerne er flyttet ind, skal huset stå sin prøve i den forstand, at det bliver muligt at konkludere, om beregningerne også holder i den virkelige verden.

Derfor gennemfører BOLIG+ projektets styregruppe – konkret i form af medlemmerne Teknologisk Institut og Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) – målinger og evalueringer på alle lejlighederne. Måleprojektet har til formål at dokumentere og evaluere på BOLIG+ dogmerne med specifikt fokus på energineutralitet, indeklimakvalitet og brugervenlighed.

For det første bliver de forskellige energistrømme – husets og beboernes forbrug på den ene side og solcellernes produktion på den anden – monitoreret for at konstatere, om huset lever op til dogmet om energineutralitet.

For det andet bliver der målt dagslys, temperatur, luftfugtighed og CO₂-indhold for at vurdere, om huset lever op til dogmet om godt indeklima. Indeklimaet vil blive målt og sammenlignet med det indeklima, man normalt finder i sammenlignelige huse, for at konstatere om det som forventet er bedre.



BOLIG+

- en utopi der blev virkelighed

10 år tog det, fra idéen om et energineutralt etageboligbyggeri for første gang tog form, til formen blev så konkret som et fem etagers hus på Søborg Hovedgade. Selv om det for 10 år siden virkede som en umulig idé at opføre et energineutralt hus inden for en almindelig byggeøkonomi, har BOLIG+ bevist, at det kan lade sig gøre.

Formålet med BOLIG+ har været at bringe et boligkoncept til verden, som kunne sænke CO₂-udledningen fra nybyggeri. Projektets fokus blev særligt rettet mod elforbruget, fordi dette udgør en stor del af samfundets samlede energiforbrug, og fordi det endnu ikke er lykkedes at knække forbrugskurven for el.

Det nye i BOLIG+ er et ændret perspektiv på beboernes daglige elforbrug. Her er det ikke længere en privatsag, men derimod noget som byggeriet skal forholde sig til. Både ved at skabe rammerne for, at det kan minimeres, og ved at kompensere for det med egen energiproduktion.

Huset på Søborg Hovedgade er et bevis på, at begge dele er muligt, og at det tilmed kan lade sig gøre uden at gå på kompromis med husets boligmæssige og arkitektoniske kvalitet. Energinutralitet er blevet en reel og konkurrencedygtig valgmulighed.



Fra den første løse skitse til Danmarks første reelt energineutrale etageboligbyggeri.

"Det er lidt som med Jules Verne og hans historie om at sejle verden rundt under havet. Det virker utopisk i første omgang, men når først idéen er tænkt og sagt højt, skal der nok være nogen, som forfølger den, indtil den bliver virkelighed.

Der skal bringes noget nyt ind i verden, før der sker noget. Nogle skal turde drømme og sætte nye, vilde mål. Så skal vi nok nå dem på et tidspunkt. Der er en innovationskraft i dansk byggeri, som kan honorere selv de vildeste målsætninger."

- Jørgen Søndermark, projektleder, arkitekt
Realdania Byg

BOLIG+ er Danmarks første reelt energi-neutrale etageboligbyggeri og viser nye veje for lavere energiforbrug, bedre indeklima og øget brugervenlighed.

Realdania Byg udvikler eksperimenterende nybyggeri - konkrete eksempler, der kan inspirere til udvikling af moderne byggerier. Og selskabet køber og restaurerer bygningsværker, der repræsenterer væsentlige eksempler på byggestil og arkitektur fra forskellige tidsperioder og egne i Danmark.

Læs mere på www.realdaniabyg.dk

Udgivet af



Realdania
Byg