

3900

3900

3900

# LCA

Klimamæssig bæredygtighed i almene boligorganisationers renoveringsprojekter

BIPVT som tagbelægning i KAB Taastrupgård

8. juli 2021

**KAB**

Vandkunsten

Realdania

WISSENBERG

## Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse .....	<b>2</b>
<b>1. Resume .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Formål og afgrænsning .....</b>	<b>4</b>
2.1 Den funktionelle enhed .....	4
2.2 Produktsystemer .....	5
2.3 Bygningernes energiforbrug .....	6
2.4 Karakterisering .....	7
2.5 Datakrav .....	7
<b>3. Kortlægning .....</b>	<b>9</b>
<b>4. Vurdering af miljøpåvirkninger .....</b>	<b>10</b>
<b>5. Fortolkning og diskussion .....</b>	<b>12</b>
5.1 Materialers betydning for de samlede udledninger .....	12
5.2 Betydningen af beboerens adfærd for de samlede udledninger .....	12

### Bilag

"Analysenotat.pdf"

"Notat\_Energiforbrug og rentabilitet med BIPVT i KAB Taastrupgaard.pdf"

## 1. Resume

Der er foretaget en livscyklusvurdering (LCA), hvor miljøpåvirkninger, forbundet med to typer af tagbelægning, sammenlignes. LCA'en følger så vidt muligt anvisninger i henhold til de internationale standarder ISO 14040 og 14044.

Vurderingen tager udgangspunkt i en omfattende renovering af KAB Taastrupgaard og er foretaget med henblik på at vurdere, om og i hvor høj grad implementering af *Building Integrated Photo Voltaic Thermal* (BIPVT), der producerer både elektricitet og termisk energi via en varmepumpe, fører til en reduktion i udledning af drivhusgasser. I vurderingen betragtes både den samlede bebyggelse i Taastrupgaard og en prøveblok, der som den første af i alt 28 boligblokke skal gennemgå omtalte renovering i løbet af det kommende år.

Eftersom BIPVT påvirker en bygnings behov for tilført energi, medregnes energiforbruget i den samlede miljøvurdering. Foruden energiforbruget medregnes udledning af drivhusgasser, forbundet med fremstilling af materialer samt bortskaffelse og genanvendelse ved udskiftning. Beregningerne baseres på miljødata, der enten stammer fra miljødeklarationer eller fra generiske data.

Vurderingen viser, at BIPVT fører til en betragtelig reduktion i drivhusgasudledning. Det anslås, at den samlede reduktion i drivhusgasudledning i en periode på 50 år vil udgøre 376 ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, hvad angår prøveblokken, og knap 30.000 ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter for den samlede bebyggelse i Taastrupgaard.

Det vurderes, at de anvendte data sandsynligvis repræsenterer processer med en dårligere miljømæssig performance, end hvad der faktisk vil være tilfældet, hvorfor ovennævnte besparelse kan vise sig at være endnu større.

Det er slutteligt forsøgt estimeret, i hvor høj grad beboerens adfærd påvirker bygningens energiforbrug og hermed indirekte det samlede besparelspotentiale. Beregningen viser, at beboerens betydning kan vise sig ganske afgørende, og at der er en proportionalitet mellem et forøget energiforbrug og den dertil hørende reduktion i drivhusgasudledning. Det betyder, at såfremt bebyggelsens energiforbrug viser sig at være eksempelvis 20 % højere, end hvad der teoretisk set forventes, forøges den samlede besparelse i drivhusgasudledninger med omtrent 29 %.

## 2. Formål og afgrænsning

I indeværende LCA sammenlignes miljøpåvirkning for to forskellige typer tagbelægning i forbindelse med en forestående, omfattende renovering af KAB boligafdeling Taastrupgaard i Høje Taastrup, hvor i alt 28 boligblokke totalrenoveres. Sammenligningen tager udgangspunkt i den samlede helhedsplan, men også i den første del af udførelsen, hvor kun en enkelt boligblok renoveres – en såkaldt prøveblok – og foretages mellem en konventionel, farvet ståltagplade og BIPVT.

Undersøgelsen er foranlediget af Realdania, der i første halvdel af 2021 støtter 13 forskellige undersøgelser under overskriften ”Pulje til klimamæssig bæredygtighed i almene boligorganisationers renoveringsprojekter”. Undersøgelserne har det fælles formål at afsøge potentialer for reduktion af drivhusgasudledninger inden for det område, de undersøger.

Indeværende LCA omhandler derfor udelukkende miljøpåvirkninger i form af emissioner til luft, der har drivhuseffekt. Af samme årsag kan LCA'en ikke benyttes til at udlede nogen generel miljømæssig karakteristik eller til at udpege den samlet set mest miljøvenlige form for tagbelægning.

Undersøgelsen er et led i regeringens målsætning for Danmark om at reducere de samlede drivhusgasudledninger og har til formål at føre til reelle besparelser for renoveringen i Taastrupgaard såvel som at finde generelle metoder for udnyttelse af solenergi, der kan inspirere lignende renoveringsprojekter i almene boligorganisationer.

Indeværende rapport henvender sig først og fremmest til almene boligorganisationer, der har lignende muligheder for bygningsintegreret energiproduktion. Det forventes, at også andre interessenter og politiske beslutningstagere vil finde rapporten relevant, da der i stigende grad er fokus på solenergi i alle dele af byggebranchen.

Eftersom LCA'en sammenligner forskellige typer af tagbelægning, skal det understreges, at ingen af de i rapporten beskrevne processer og produktsystemer offentliggøres, medmindre det er relevant, og informationerne i forvejen er offentligt tilgængelige. Undersøgelsen har i sin natur til hensigt at tage fat om generelle problemstillinger, forbundet med bygningsintegreret energiproduktion og har intet ønske om hverken at fremme eller spænde ben for specifikke producenter i branchen.

Undersøgelsen er udført på initiativ fra KAB i et tæt samarbejde mellem projektledelsen af helhedsplanen i Taastrupgaard, totalrådgiverteamet fra Wissenberg A/S og underrådgiver Tegnestuen Vandkunsten A/S. Indeværende rapport er en del af en todelt leverance, der også omfatter et notat, der beskriver effekten og rentabiliteten af at introducere BIPVT-E i den fremtidige bebyggelse.

### 2.1 Den funktionelle enhed

For at kunne sammenligne to forskellige typer af tagbelægning er det nødvendigt at definere den ydelse, de to tagbelægnings skal levere. Sammenligningsgrundlaget defineres ud

fra en funktionel enhed, der beskriver tagbelægningens funktion både kvantitativt og kvalitativt i en skalérbar størrelse. Den funktionelle enhed defineres som:

- *Tagdækning af 1 m<sup>2</sup> i 50 år i Høje Taastrup, Danmark, med den nødvendige modstanddygtighed over for relevante danske klimapåvirkninger såsom regn og vind og integreret byggeteknisk forsvarligt i den resterende bygningskonstruktion.*

I dette tilfælde vurderes de ud fra deres funktion som tagbelægning og ikke ud fra evnen til at producere elektricitet og varme, der må betragtes som tillægsfunktioner for et BIPVT-E-system.

## 2.2 Produktsystemer

Ud over selve tagbelægningen kræver BIPVT-systemet en række tekniske komponenter for at kunne levere elektricitet og varme til brug i bygningen. Disse må nødvendigvis medregnes i det samlede produktsystem for tagbelægningen. I nærværende undersøgelse omfattes:

- Ledninger og rør
- Invertere
- Væskebaseret batteri (elektrolyse)
- Varmepumpe
- Cirkulationspumper
- Ekspansionsbeholder og akkumuleringstank

### 2.2.1 Materiale-flow

I tabel 1 angives de flow af materialer, der er nødvendige for at opfylde den funktionelle enhed (reference-flow) og det samlede tagsystem for prøveblokken. Desuden angives levetiderne for de enkelte materialer, som der regnes med.

Tabel 1: Materiale-flow og levetider for det samlede produktsystem. Den samlede transportafstand er angivet for hver produktgruppe (ståltagplade, BIPVT-panel, el- og varmekomponenter og batteri). Materialer i *kursiv* er ikke medregnet, enten grundet utilgængelige data eller lav datakvalitet (se 2.4: Datakrav).

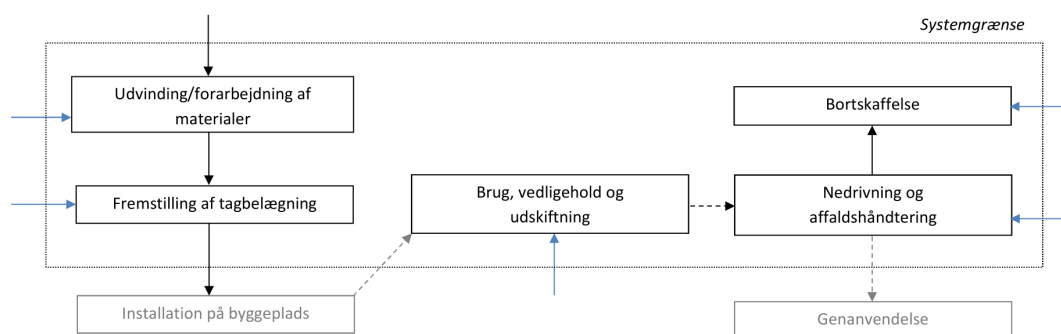
Materiale	Reference flow	Samlet for prøveblok	Levetider
Ståltagplade	0,38 km	300 km	
Farvebelagt stål	5,9 kg	4602 kg	50 år
BIPVT	0,25 km	200 km	
Monokrystallinsk solcelle	1,0 kg	625 kg	25 år
Hærdet glas	5,0 kg	3900 kg	25 år
Aluminium	11,0 kg	2079 kg	50 år
<i>Glykol</i>	<i>2,0 kg</i>	<i>378 kg</i>	
El-komponenter	0,13 km	100 km	
Kabler	1,72 lbm	1340 lbm	50 år
Inverter 10 kW	1,67E-2 stk.	13 stk.	10 år
Batteri	0,38 km	300 km	
Plastiktank	5,13E-3 stk.	4 stk.	25 år
Stålkabinet	0,13E-3 stk.	1 stk.	50 år

Vanadium opløsning	2,56 liter	2000 liter	-
Grafit	51,3 g	40 kg	-
Cirkulationspumpe	0,13E-3 stk.	1 stk.	10 år
Varme-komponenter	0,19 km	150 km	
Varmepumpe 10 kW	0,13E-3 stk.	1 stk.	20 år
Ståltanke	0,13E-3 stk.	240 kg	50 år
Cirkulationspumpe	0,38E-3 stk.	3 stk.	10 år
Rustfrit stålør Ø22	6,41E-2 lbm	50 lbm	25 år

### 2.2.2

#### Systemgrænser

Grænsen for, hvilke processer der indgår i de to produktsystemer, er angivet i figur 1. For begge systemer gælder, at der medregnes udvinding og forarbejdning af materialer, fremstilling af tagbelægning, brug, vedligehold og udskiftning og *end-of-life* (EoL) processer. Forskelle i måden, de to typer af tagbelægning installeres på byggepladsen, vurderes fra begyndelsen at have en minimal effekt på de samlede drivhusgasudledninger. Denne fase medtages derfor ikke. Ligeledes gælder der for begge produktsystemer, at genanvendelse, når dette er muligt, kun medregnes som en del af materialeforarbejdningen og ikke i EoL processen, hvor materialet vil indgå i et nyt produktsystem, der ikke har noget med tagbelægningen i Taastrupgaard at gøre.



Figur 1: Angivelse af systemgrænse for de to produktsystemer. Sorte fuldt optrukne pile angiver materiale-flow, og blå pile angiver energi input. Stiplede pile angiver flow, hvori der ikke medregnes transport.

## 2.3

### Bygningernes energiforbrug

Som en konsekvens af, at BIPVT-paneler påvirker bygningens behov for tilført energi, vil denne type tagbelægning indirekte påvirke den samlede miljøbelastning fra den daglige brug af bygningen. Det er denne pointe, der danner grundlag for sammenligningen af de to typer af tagbelægning, hvis produktsystemer derfor udvides til at medregne bygningens energiforbrug i den samlede optegnelse over enhedsprocesser.

Et notat om energiforbrug og rentabilitet er vedlagt som bilag. Her beskrives det, i hvor høj grad det forventes, at et BIPVT-panel reducerer bebyggelsens behov for tilført elektricitet og fjernvarme. I tabel 2 angives det teoretisk udledte årlige energiforbrug, omregnet i henhold til den funktionelle enhed pr. m<sup>2</sup> tagbelægning.

Tabel 2: Bebyggelsens årlige behov for tilført energi pr. m<sup>2</sup> tag for hver af de to typer tagbelægning.

Energiform	Ståltagplade [kWh/m <sup>2</sup> tag/år]	BIPVT-E [kWh/m <sup>2</sup> tag/år]
Varme	18,9	18,9
Varmt brugsvand	66,3	0
Elektricitet	133,3	59,6
Samlet	218,5	78,5

## 2.4 Karakterisering

De følgende beregninger omfatter udelukkende miljøpåvirkninger, der bidrager til global opvarmning. Det betyder, at der for enhver proces kun betragtes emissioner til luft i form af drivhusgasser såsom kuldioxid, metan, flourgasser etc.

Eftersom drivhusgasser påvirker den globale opvarmning forskelligt, vil det være nødvendigt at omregne mængden af de i produktsystemerne relevante drivhusgasser, så disse kan udtrykkes i den samme enhed. En sådan proces betegnes karakterisering.

I indeværende LCA karakteriseres drivhusgasserne i forhold til kuldioxid, hvorfor enheden "kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter" benyttes i den videre beregning. I tabel 3 angives de mest kendte drivhusgassers bidrag til global opvarmning i forhold til bidraget fra kuldioxid (*Global Warming Potential*).

Tabel 3: Drivhusgassers relative bidrag til global opvarmning i forhold til kuldioxid.<sup>1</sup>

Drivhusgas	Kemisk formel	GWP
Kuldioxid	CO <sub>2</sub>	1
Metan	CH <sub>4</sub>	21
Lattergas	N <sub>2</sub> O	310
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	11.700
Perflourmetan	CF <sub>4</sub>	6.500
Svovlhexaflourid	SF <sub>6</sub>	23.900

## 2.5 Datakrav

De processer, der udgør de to tagbelægnings produktsystemer, er i udregningen af de samlede emissioner af drivhusgasser repræsenteret af datasæt. Det er målet, at disse datasæt så vidt muligt repræsenterer den faktiske data fra processerne, som de foregår i praksis.

For efterhånden mange produkter er den type data registreret og anført i en miljødeklaration (EPD) for produktet. Direkte data er dog ikke altid tilgængelig, og for langt de fleste produkter findes der ingen EPD. Her vil der i givet fald benyttes generisk data fra den tyske database Ökobau, der i de fleste tilfælde beskriver en gennemsnitlig proces i Tyskland. Der

<sup>1</sup> Reference: "Drivhusgasser" – Danmarks Miljøundersøgelser – Aarhus Universitet – 2009.

kan derfor være betydelige forskelle mellem den proces, der foregår i praksis, og den proces, hvis data benyttes i beregningen.

I tilfældet med ståltagpladen baseres de følgende beregninger på faktiske data fra et specifikt produkt, der fuldstændig afspejler den type tagbelægning, som benyttes i den oprindelige projektering. I tilfældet med BIPVT kendes processerne ikke, hvorfor der næsten udelukkende benyttes generiske data.

For komparative livscyklusvurderinger foreskriver de internationale standarder (ISO 14040 og 14044), at der benyttes marginale processer for energiproduktion, når to produktsystemer sammenlignes. Dette er hverken muligt med data fra EPD'er eller fra Ökobau, og det har ikke vist sig muligt at indhente oplysninger om nogen processer, der ikke beskriver en gennemsnitlig proces. Der afviges derfor fra internationale standarder på dette punkt.

I kvalitetssikringen af den anvendte data bruges en metode, hvor kvaliteten af data er vurderet på en skala fra 1-5. Her svarer 1 til den bedst tænkelige repræsentation. Udvælgelseskriterierne er: Om produktet svarer til det samme produkt, om den bagvedliggende energiproduktion svarer til den, der gør sig gældende for det faktiske produkt, og om de anvendte data er tidssvarende. Data skal som minimum have karakteren 3 for at kunne indgå i undersøgelsen. I tabel 4 angives kvaliteten af den data, der benyttes i de følgende beregninger.

Tabel 4: Dataoptegnelse med angivelse af datakvalitet.

Materiale		År	Kvalitet
<b>Ståltagplade</b>			
Farvebelagt stål	EPD - <i>Color-coated steel roofing sheet</i>	2020	1
<b>BIPVT</b>			
Solcelle	Ökobau - <i>Solar system flat collector</i>	2018	3
Aluminium	Ökobau - <i>Aluminum profile mill finish</i>	2019	3
Hærdet glas	Ökobau - <i>Toughened safety glass</i>	2018	3
<b>El-komponenter</b>			
Kabler	Ökobau - <i>Cable 3-wire; 1 piece</i>	2018	3
Invertere 10 kW	EPD - <i>Low voltage freq. converter 18.5 kW</i>	2002	3
<b>Batteri</b>			
Plastiktank	Ökobau - <i>Transparent board; 1220 kg/m<sup>3</sup></i>	2018	3
Stålkabinet	Ökobau - <i>Buffer storage (steel) 300L</i>	2018	3
Cirkulationspumpe	Ökobau - <i>Circ. pump for 20 kW heating</i>	2018	3
<b>Varmekomponenter</b>			
Varmepumpe 10 kW	Ökobau - <i>Electric heat pump air-water 10 kW</i>	2018	2
Ståltanke	Ökobau - <i>Buffer storage (steel) 300L</i>	2018	2
Cirkulationspumpe	Ökobau - <i>Circ pump for 20 kW heating</i>	2018	3
Rustfrit stålrør	Ökobau - <i>Stainless steel drinking water pipe</i>	2018	3
<b>Øvrige</b>			
Transport	Ökobau - <i>Truck</i>	2018	2
El-produktion	Energistyrelsen - CO <sub>2</sub> -emission, faktisk 2019	2019	1
Fjernvarmeproduktion	EPD - Høje-Taastrup fjernvarmedata	2020	1



### 3. Kortlægning

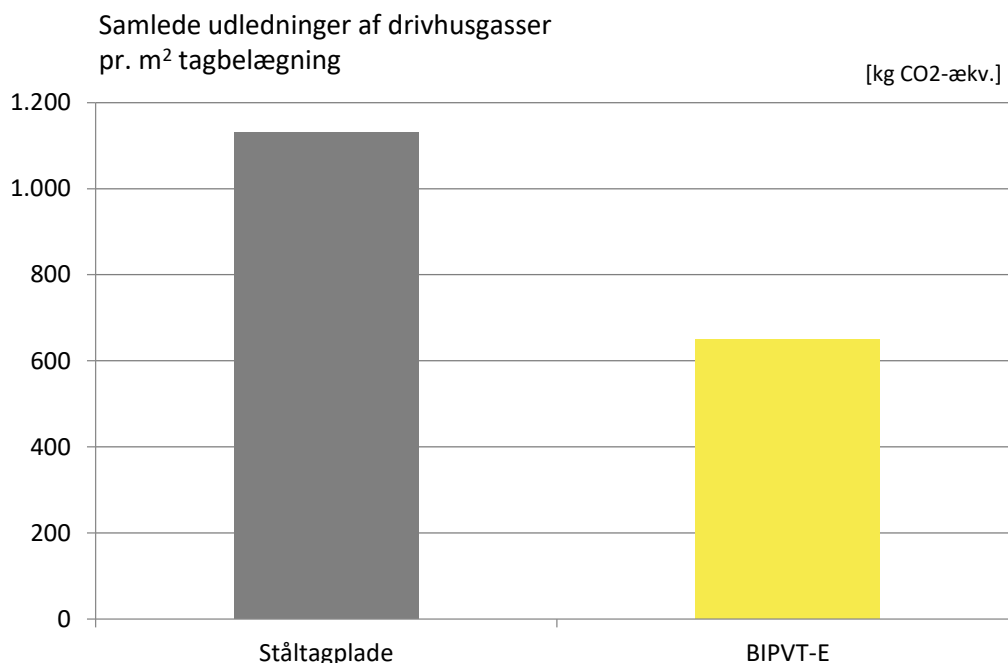
De to produktsystemers miljødata er kortlagt og fremgår af tabel 5.

Tabel 5: Kortlægning af data.

Materiale	Enhed	Fremstilling	Bortskaffelse	Genanvendelse
<b>Ståltagplade</b>				
Farvebelagt stål	m <sup>2</sup>	2,74E+0	2,43E-3	-1,41E+0
<b>BIPVT</b>				
Solcelle	m <sup>2</sup>	1,04E+2	1,18E+0	-5,72E+1
Aluminium	m <sup>2</sup>	8,46E+0	2,32E-3	-5,51E+0
Hærdet glas	m <sup>2</sup>	2,08E+1	2,59E-1	-2,34E+0
<b>El-komponenter</b>				
Kabler	lbm	4,18E-1	2,25E-1	-1,94E-1
Invertere 10 kW	stk.	6,13E+0	i.a.	i.a.
<b>Batteri</b>				
Plastiktank	stk.	9,83E+1	9,86E+1	-2,00E+1
Stålkabinet	stk.	2,44E+2	6,63E-1	-1,20E+0
Cirkulationspumpe	stk.	8,75E+1	i.a.	i.a.
<b>Varmekomponenter</b>				
Varmepumpe 10 kW	stk.	4,59E+2	3,01E+1	-2,42E+2
Ståltanke	stk.	2,44E+2	6,63E-1	-1,20E+0
Cirkulationspumpe	stk.	8,75E+1	i.a.	i.a.
Rustfrit stålør	lbm	3,56E+0	i.a.	-1,27E+0
<b>Øvrige (fælles)</b>				
Transport	tkm	8,97E-2	-	-
El-produktion	kWh	1,28E-1	-	-
Fjernvarmeproduktion	kWh	6,50E-2	-	-

## 4. Vurdering af miljøpåvirkninger

På baggrund af de kortlagte miljødata for de to typer tagbelægning er de samlede udledninger af drivhusgasser udregnet. På figur 2 ses et søjlediagram, der viser de samlede udledninger af drivhusgasser, forbundet med de to tagbelægnings produktsystem i henhold til den funktionelle enhed. Udledningen svarer for ståltagpladen til 1.130 kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter og for BIPVT-systemet til 650 kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter.



Figur 2: De samlede udledninger af drivhusgasser i 50 år pr. m<sup>2</sup> tagbelægning for de to typer produktsystemer.

Som følge af ovenstående resultat er det samlede besparelspotentiale ved brug af BIPVT-systemet udregnet. Besparelsen er estimeret i henhold til den funktionelle enhed samt for prøveblokken og for hele Taastrupgaard, hvilket fremgår af tabel 6.

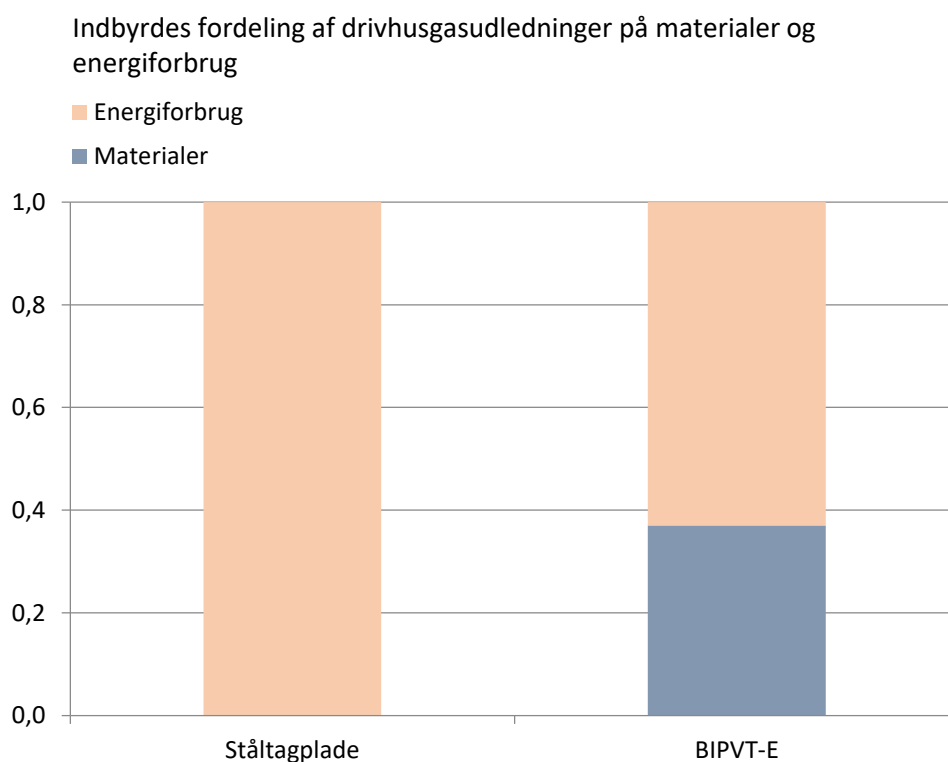
Tabel 6: Besparelspotentialet ved brug af BIPVT, opgjort pr. år (gennemsnit) og samlet i løbet af 50 år for 1 m<sup>2</sup> tagbelægning, for prøveblokken og for hele Taastrupgaard.

	Enhed	Årligt gennemsnit	Samlet for 50 år
1 m <sup>2</sup> tagbelægning	kg CO <sub>2</sub> -ækv.	10	482
Prøveblokken	ton CO <sub>2</sub> -ækv.	8	376
Hele Taastrupgaard	ton CO <sub>2</sub> -ækv.	598	29.896

Beregningsen viser, at der ved brug af BIPVT-systemet kan opnås en besparelse på 346 ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter for en 50-årig periode. Skaleres dette op til det samlede areal af tagflader i det fremtidige Taastrupgård, svarer dette til 27.550 ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter i den samme periode.

På figur 3 ses den indbyrdes relation mellem, hvor stor en andel af de samlede drivhusgasudledninger, der kan tilskrives henholdsvis materialer og bebyggelsens energiforbrug i driftsperioden. Med materialer menes der udledninger af drivhusgasser, forbundet med fremstilling, udskiftning og bortskaffelse og modregnet potentielle gevinster ved genanvendelse, når der udskiftes.

Som figuren viser, spiller materialernes indlejrede CO<sub>2</sub> ingen rolle, hvad angår ståltagpladen, hvis produktsystem domineres udelukkende af energiforbruget i driftsperioden. For BIPVT-E-systemet anslås omtrent en tredjedel at stamme fra de materialer, som indgår.



Figur 3: Det indbyrdes forhold mellem andelen af drivhusgasudledninger, der stammer fra materialer og energiforbrug.

---

## 5. Fortolkning og diskussion

### 5.1 Materialers betydning for de samlede udledninger

Det er vigtigt at understrege, at undersøgelsen baseres på data, der i vid udstrækning ikke fuldstændig afspejler de bagvedliggende processer, som vil foregå i Taastrupgaard. Resultatet rummer en usikkerhed, der især kan betyde, at den indlejrede CO<sub>2</sub>, der tilskrives materialerne i BIPVT-systemet, fejl vurderes.

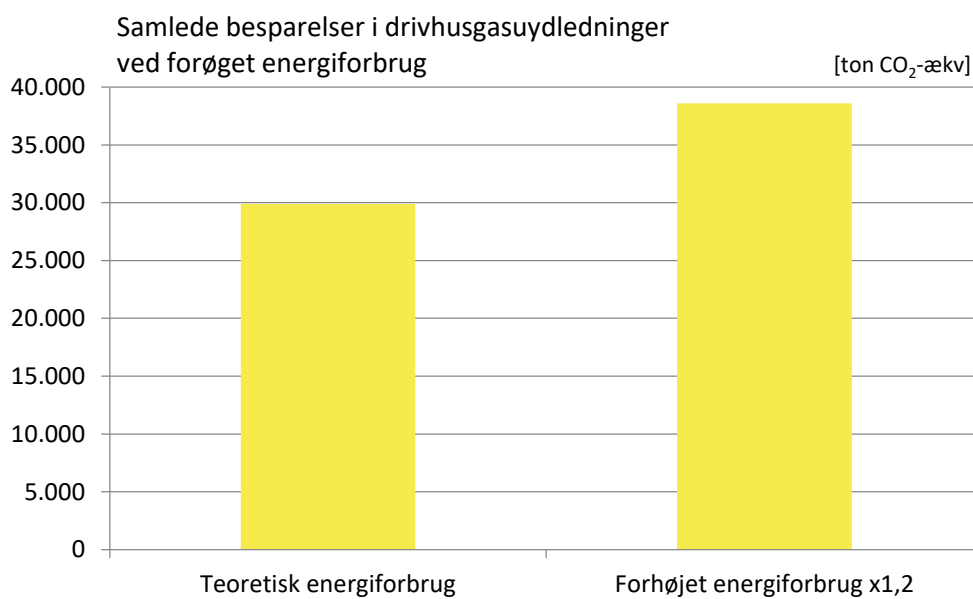
Det er tænkeligt, at de data, som beregningen bygger på, baseres på produktionsformer, der udleder mere CO<sub>2</sub>, end hvad der typisk vil være tilfældet for danskproducerede materialer, og det synes realistisk at opnå en faktisk miljøprofil for BIPVT-systemet, der vil føre til færre emissioner med større besparelser til følge.

Eftersom undersøgelsen inddrager energiforbruget i bygningens driftsperiode, vil det have stor betydning, hvor stor en miljøpåvirkning der kan tilskrives den bagvedliggende energiproduktion. Det bør understreges, at indeværende undersøgelse bygger på en statisk betragtning, hvor både el- og fjernvarmeproduktionen forløber uændret de næste 50 år. Selv om den numeriske fordeling af drivhusgasudledninger selvsagt afhænger meget af bygningens behov for tilført energi, må det forventes, at andelen af drivhusgasudledninger, der skyldes materialer, vil få stadig stigende betydning i fremtiden, fordi den bagvedliggende energiproduktion på den lange bane vil blive grønnere. Det synes derfor vigtigt at understrege, at man bør fremme en mindre miljøbelastende produktion af materialer i takt med, at man nedbringer energibehov på tværs af bygningsmassen.

### 5.2 Betydningen af beboerens adfærd for de samlede udledninger

Energiforbruget, der ligger til grund for ovenstående beregninger, er udledt teoretisk under en række forudsætninger. Eksempelvis antages et varmtvandsforbrug på 250 liter pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal og en temperatur indenfor på 20 °C.

På figur 5 ses konsekvenserne af et øget energiforbrug for det samlede besparelspotentiale, hvis energiforbruget, der udledes teoretisk, faktisk viser sig at være 20 % større (både el og varme). Figuren viser, at besparelspotentialet øges fra 29.896 til 38.582 ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter i de følgende 50 år. Som resultatet indikerer, kan beboerens adfærd komme til at spille en central rolle, såfremt man beslutter at søge at indfri det samlede besparelspotentiale i Taastrupgaard. Her er det vigtigt, at BIPVT-systemet er gearret til dette højere forbrug, hvorfor det er afgørende at lave en så præcis forudsigelse som muligt af det forventede fremtidige energiforbrug.



Figur 4: De samlede besparelser af drivhusgasudledninger for hele Taastrupgaard ved øget energiforbrug på 20 %.