

# EuroPHit

D3.9\_Overall Refurbishment Plan

CS13 Rehab Workshop in Næstved, Denmark

## Plan for trinvis, vidtgående energiforbedring af et værksted for arbejdsprøvning i Næstved

EU-projektet EuroPHit demonstrerer god praksis for trinvis energiforbedring af eksisterende bygninger. EuroPHit angriber den udfordring, at bygninger vedligeholdes løbende, og at dårligt gennemtænkte indgreb kan stå i vejen for senere trin.

Bygningen, der behandles i denne rapport, fungerer som pilotprojekt for energiforbedring af 35.000 m<sup>2</sup> bygninger.

### INTELLIGENT ENERGY – EUROPE II

Energy efficiency and renewable energy in buildings

IEE/12/070

### EuroPHit

[Improving the energy performance of step-by-step refurbishment and integration of renewable energies]

Contract N°: SI2.645928



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union

## Technical References

Project Acronym	EuroPHit
Project Title	Improving the energy performance of step-by-step refurbishment and integration of renewable energies
Project Coordinator	Jan Steiger Passive House Institute, Dr. Wolfgang Feist Rheinstrasse 44/46 D 64283 Darmstadt jan.steiger@passiv.de
Project Duration	1 April 2013 – 31 March 2016 (36 Months)

Deliverable No.	D3.9
Dissemination Level	PU
Work Package	WP3_Practical Implementation
Lead beneficiary	04_MosArt
Contributing beneficiary(ies)	13_PHDK
Author(s)	Søren Pedersen, Passivhus.dk
Co-author(s)	with contributions from Ole Kjærulff, Ole Kjærulffs Tegnestue as well as co-beneficiary Onyx (chapter on PV)
Date	01 10 2014
File Name	EuroPHit_D3.9_CS13_PHDK_RehabWorkshop_Naestved.doc

The sole responsibility for the content of this [webpage, publication etc.] lies with the authors. It does not necessarily reflect the opinion of the European Union. Neither the EACI nor the European Commission are responsible for any use that may be made of the information contained therein.

Forfatterne er eneansvarlige for indholdet [på denne webside, i denne publikation osv.] Indholdet afspejler ikke nødvendigvis EU's synspunkter. Hverken EASME eller Europa-Kommissionen er ansvarlig for, hvordan oplysningerne anvendes.

**Indholdsfortegnelse**

Sammenfatning	5
1.1.1 PHPP: Sammenlignelige beregninger	5
2 Generel projektbeskrivelse	6
2.1 Motivation	6
2.2 Eksisterende bygning	7
2.3 De enkelte energiforbedringer	7
2.3.1 Energiforbedringer, som foretages senest marts 2016	8
2.3.2 Energiforbedringer, som foretages efter marts 2016	8
2.4 EnerPHit standard	9
3 Den eksisterende bygning	10
3.1.1 Bygningsdata	11
3.1.2 Bygningsejer	11
3.2 Eksisterende bygningsdele	11
3.2.1 Terrændæk/kældergulv	11
3.2.2 Kælderydervægge	11
3.2.3 Ydervægge	11
3.2.4 Vinduer	12
3.2.5 Tag	12
3.2.6 Varmeanlæg	12
3.3 Energimæssig standard	13
3.4 Tegninger	15
4 Energiforbedringer	17
4.1 Plan for trinvis energiforbedringer	17
4.1.1 Trin	17
4.1.2 Effekten af energiforbedringerne	18
4.2 Energiforbedringer senest marts 2016	19
4.2.1 De første forbedringer	19
4.3 Energiforbedringer efter marts 2016	21
4.3.1 Energiforbedring trin 1	21
4.3.2 Energiforbedring trin 2	21
4.3.3 Energiforbedring trin 3	21
4.3.4 Energiforbedring trin 4	22
4.3.5 Energiforbedring trin 5	22
4.3.6 Energiforbedring trin 6	22
4.3.7 Energiforbedring trin 7	22
4.4 Illustrationer	24
5 Komplementering af energiforbedringerne med tilføjelse af vedvarende energi	25
5.1 Inhabitant's comfort and location concept	25



5.2	Evaluation of potential BIPV systems	26
5.2.1	PV Ventilated façade	26
5.2.2	PV Roof superposition	29
5.3	Production estimation	31
5.4	Multifunctional behaviour of the BIPV systems: passive properties	32
5.5	Financial evaluation & taxes and incentives assessment	32
5.6	Conclusion	32

### Liste over figurer

Figur 1:	Luftfoto af behandlingsanstalten på Svendborgvej [map.krak.dk, 2014]	6
Figur 2:	Luftfoto af behandlingsanstalten på Svendborgvej [map.krak.dk, 2014]	7
Figur 3:	Tommerupvej 8B set fra nordøst mod indgangene	10
Figur 4:	Oversigt over bygningens energimæssige karakteristika før renovering	14
Figur 5:	Plan af kælder og krybekælder [Ole Kjærulffs Tegnestue, 2013]	15
Figur 6:	Plan af stueetage [Ole Kjærulffs Tegnestue, 2013]	15
Figur 7:	Længdesnit [Ole Kjærulffs Tegnestue, 2013]	16
Figur 8:	Effekt af de enkelte energiforbedringer, når de gennemføres fuldstændigt	18
Figur 9:	Oversigt over bygningens energimæssige karakteristika efter renovering 2014	20
Figur 10:	Oversigt over bygningens energimæssige karakteristika efter renovering	23
Figur 11:	Nord- og østfacade	24
Figur 12:	Nord- og østfacade efter renovering	24
Figur 13:	South façade with amorphous photo voltaic panels	26
Figur 14:	North façade with amorphous photo voltaic panels	26
Figur 15:	PV opaque a-si glass. Dimensions and configuration	27
Figur 16:	Roof top with mono-crystalline photo voltaic panels	29
Figur 17:	PV m-c glass Dimensions and configuration	30

### Liste over tabeller

Tabel 1:	Energikrav og omtrentlige løsninger	9
Tabel 2:	Effekt af de enkelte energiforbedringer, når de gennemføres fuldstændigt	17
Tabel 3:	Effekt af de i 2014 gennemførte energiforbedringer sammenlignet med start og slut	17
Tabel 4:	Location parameters	25
Tabel 5:	Climatic conditions	25
Tabel 6:	PV opaque a-si glass. Technical data sheet	28
Tabel 7:	PV m-c glass Technical data sheet	31
Tabel 8:	Energy production summary	32

## Sammenfatning

EU-projektet EuroPHit demonstrerer god praksis for trinvis energiforbedring af eksisterende bygninger. EuroPHit angriber den udfordring, at bygninger løbende vedligeholdes, og at dårligt gennemtænkte indgreb kan stå i vejen for senere trin.

Det ligger uden for bygningsejerens mål med den aktuelle renovering, som beskrives i denne rapport, men det skal på dette sted påpeges, at der kan være store energi- og ressourcerebesparende muligheder i en proaktiv planlægning og drift for et samlet område, eksempelvis Birkebjergparken, som den her omtalte bygning på Tommerupvej 8B er del af. Man kunne forestille sig lokaleplanlægning med evt. tilbygning til den eksisterende bygningsmasse. Navnlig ligger tilføjelsen af en førstesal lige for, specielt i etplans betonbygninger, hvor taget skal efterisoleres.

Nærværende plan giver overblikket over de trinvis energiforbedringer, der er nødvendige, for at Tommerupvej 8B kan komme til at leve op til EnerPHit-kravene, suppleret med vedvarende energiproduktion på bygningen.

Først bliver bygningen kort beskrevet, inklusive bygningsdele og disses tilstand. Endvidere beskrives bygningens energimæssige ydeevne.

Dernæst beskrives de enkelte energiforbedringer indtil hele renoveringen er gennemført.

### 1.1.1 PHPP: Sammenlignelige beregninger

EuroPHit strækker sig over 14 partnere i 11 lande. Blandt andet for at kunne sammenligne de enkelte bygningers energimæssige ydeevne, beregnes denne med det regnearksbaserede værktøj PHPP, Passivhaus Projektierungspaket (eller Passive House Planning Package).

PHPP indeholder desuden et redskab til at håndtere og dokumentere en enkelt energiforbedring af gangen.

## 2 Generel projektbeskrivelse

Bygningen, der skal renoveres, ligger på Tommerupvej 8B i Næstved og er del af en større behandlingsanstalt opført omkring 1975. Luftfotoet neden for viser den omtrentlige udstrækning, og Tommerupvej 8B er placeret ved markøren med 1-tallet.

Arbejderne falder ind under en femårs rammeaftale mellem kommunen og et konsortium af håndværkere, og projektet har derfor ikke været i udbud.



Figur 1: Luftfoto af behandlingsanstalten på Svendborgvej [map.krak.dk, 2014]

### 2.1 Motivation

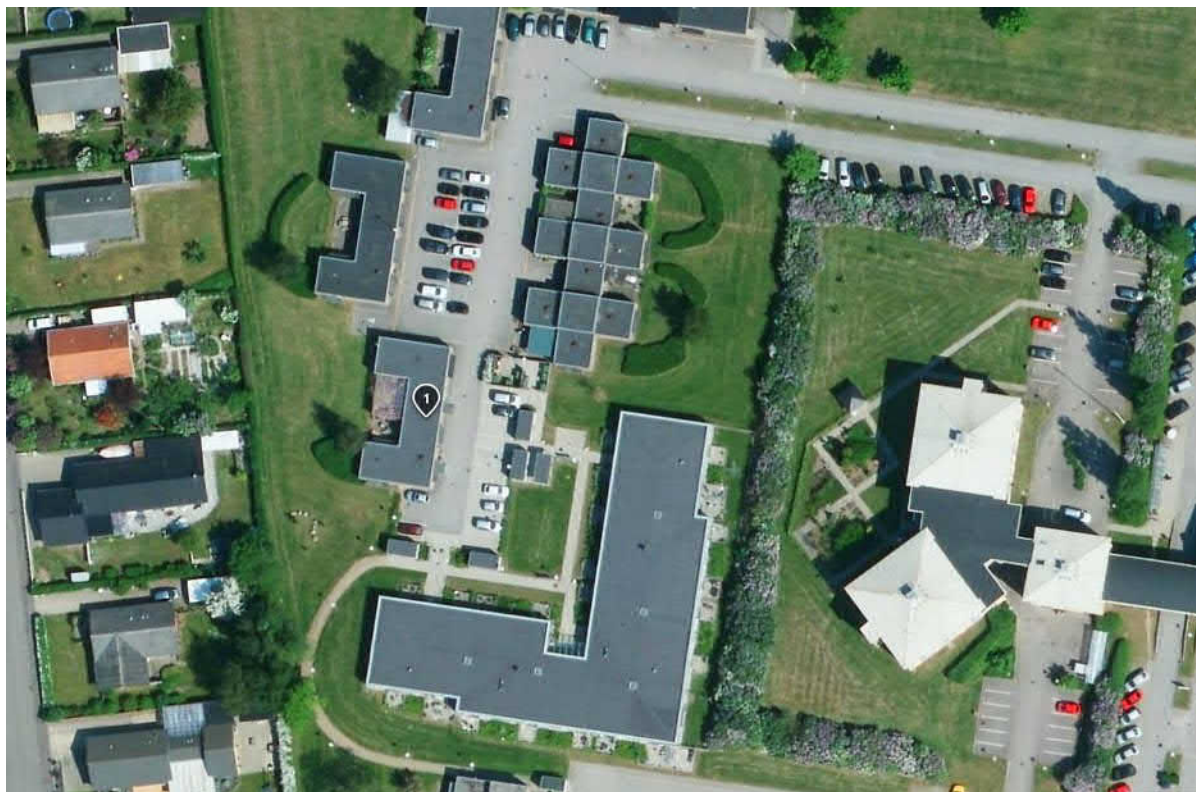
I den aktuelle bygning har brugerne oplevet betydelig træk fra vinduerne. I betragtning af, at bygningen ventileres alene med udsugning, og at de eneste utætheder stort set er netop vinduerne, er det nok, hvad man i dag ville forvente.

En nabobygning har det sågar været vanskeligt at opvarme til 20 oC, formentlig fordi fremløbstemperaturen på fjernvarmen omhyggeligt holdes så lav som muligt for at minimere varmetabet fra varmerør i jorden.

[Næstved Kommunes klimaplan for 2009-2030](#) sætter desuden som mål at reducere CO<sub>2</sub>-emissionerne med 50% inden 2030, blandt andet ved at opgradere bygningsmassen.

## 2.2 Eksisterende bygning

Bygningen indeholder forskellige værksteder for grovmotorisk og finmotorisk arbejdsprøvning, bl.a metalværksted, træværksted og værksted for syning eller computerarbejde.



Figur 2: Luftfoto af behandlingsanstalten på Svendborgvej [map.krak.dk, 2014]

## 2.3 De enkelte energiforbedringer

For at eliminere trækproblemerne og minimere varmetabet, foreslog vi følgende løsning:

1. Etablere balanceret ventilation (med effektiv varmegenvinding)
2. Udskifte de oprindelige, utætte vinduer med nye, energieffektive vinduer med lav U-værdi
3. Udbedre resterende, små lækager
4. Isolere kælderydervægge udvendigt (på det tidspunkt havde vi ikke opdaget, at der allerede var 50 mm mineraluld, som måske kunne rokke ved forslaget eller ændre løsningen)
5. Isolere facaderne udvendigt
6. Udlægge isolering på gulvet i krybekælderen
7. Isolere taget

Endelig præsenterede vi to muligheder for at producere energi med solceller.

Gennemførelse af trin 1-3 er nødvendigt for at tage hånd om trækproblemerne. Trin 4-6 sigter primært på at reducere varmemeforbruget, om end de også vil have indflydelse på komfort og fugtsikkerhed.

### **2.3.1 Energiforbedringer, som foretages senest marts 2016**

EuroPHit-projektet spænder af frem til 31. marts 2016, og derfor har rapporten indholdsmæssigt en opdeling før og efter denne dato.

Trin 1-3 er som nævnt nødvendige for at håndtere de aktuelle problemer med træk, men med tiden ønsker kommunen også at isolere facaderne. For nemmest muligt at integrere de nye vinduer i facadeisoleringen besluttede kommunen at gennemføre isoleringen af facaderne (trin 5) samtidig. Dette forudsætter isolering af kældervæggene (trin 4), som ellers næppe ville blive udført efterfølgende.

Kort efter at udførelsen var startet, reducerede kommunen imidlertid projektets budget, og kun dele af planen bliver gennemført i denne omgang:

- Isolering af alle kælderydervægge til omtrent undersiden af krybekælderen (det vil sige ca. 1,87 meter under terræn). Isolering dybere ned, til underkanten af den fulde kælder, er uproportionalt meget dyrere på grund af kravene til sikkerhed
- Isolering af halvdelen af facaden og samtidig udskiftning af vinduerne i denne del. Kommunen valgte at starte med den del, der var nemmest at gå til, og det var (uheldigvis) ikke den del, hvor der var problemer med træk

Om trin 1 udføres og trin 2-5 færdiggøres senest marts 2016 vides endnu ikke.

### **2.3.2 Energiforbedringer, som foretages efter marts 2016**

De energiforbedringer, som foretages efter marts 2016, er:

- Der udlægges isolering på gulvet i krybekælderen
- Kraftig isolering af taget, når tagpappen udskiftes. Den nuværende tagpap er fra 2006 og forventes at have en levetid på mindst 20 år
- Montering af solceller for energiproduktion



## 2.4 EnerPHit standard

EuroPHit er navnet på det aktuelle projekt, mens EnerPHit er navnet på kriterierne for renovering af bygninger som Passivhaus Institut har opstillet. De er lempeligere end for nybyggeri.

For at leve op til EnerPHit-kriterierne skal bygningen efter renovering opfylde ét af to sæt krav:

1. enten reducere varmebehovet til højst 25 kWh/m<sup>2</sup>/a (under bestemte forudsætninger)
2. eller opfylde bestemte komponentkrav

Komponentkravene er nedenfor sammenlignet med kravene i BR10:

**Tabel 1: Energikrav og omtrentlige løsninger**

	<b>EnerPHit</b>	<b>BR10</b>	<b>Svarer til</b>
Infiltration ( $n_{50}$ )	0,6/h dog højst 1,0/h	Intet krav	Det er rimeligt opnåeligt i en stor bygning, hvor der skiftes til nye vinduer.
Varmegenvinding	75% (under konservative forudsætninger)	Intet krav	Passivhuscertificeret ventilationsanlæg, fx Danfoss A3. Der er mange anlæg at vælge mellem.
Ydervægge	0,15 W/m <sup>2</sup> /K	0,20	250 mm mineraluld (højst 0,037) i træskelet (45/600 mm) eller 200 mm EPS (højst 0,031 W/m/K)
Kælderydervægge	0,15 W/m <sup>2</sup> /K	0,20	200 mm EPS (højst 0,031 W/m/K)
Kældergulv og krybekældergulv	0,35/f(t) W/m <sup>2</sup> /K	0,12	50-100 mm mineraluld (0,037) BR forudsætter ved kravet om 0,12 W/m <sup>2</sup> /K, at gulvet graves helt op.
Vinduer	0,85 W/m <sup>2</sup> /K inkl. kuldebro ved indbygning	E(ref) > -33 kWh/m <sup>2</sup> /a	Nogle af de bedste vinduer på markedet

Den helt store forskel er således ikke decimalerne i de enkelte krav. Det er derimod, at man med EnerPHit typisk også vælger en ekstern og uafhængig kvalitetssikring = certificering, og dermed både får større sikkerhed for kvaliteten og får et synligt "stempel" (en plakette) på det.

### 3 Den eksisterende bygning

Tommerupvej 8B er formet som et U rundt om en terrasse. Terrassen er delvist tilbygget med oplag for materialer til værkstederne med mere.

Bygningen er lige som de fleste andre i Birkebjergparken opført af sandwich-elementer i beton med fritlagte betonfacader. Der er 25 mm indstøbt polystyren i ydervæggene og typisk 100 mm isolering i taget indlagt i en lav opbygning af træ og krydsfiner.

De fleste bygninger har opvarmede kældre. I nærværende bygning er der en kombination af kældre og krybekældre. Kældre og krybekældre er støbt på stedet og isoleret på ydersiden med 50 mm hård mineraluld. Vinduerne er med trærammer og har to lags termoruder med luft.

Forud for projekteringen blev der lavet en tæthedsprøvning og lækagesøgning med termografi, som viste at klimaskærmens beton er meget tæt. De eneste utætheder blev fundet omkring vinduer og døre.

Bygningen ventileres med udsugning fra primært toiletter og baderum, og der er ingen deciderede åbninger for erstatningsluft, så den kommer ind gennem utæthederne omkring vinduerne.

Træ- og metalværkstederne har tre punktudsugninger, som hver suger omkring 700 m<sup>3</sup>/h, når de er i brug. Når de anvendes, åbner brugerne en yderdør, og derfor anvendes de meget begrænset, kun efter behov.

Udfordringerne i forhold til energiforbedring er

- Den store omkreds medfører, at det pr. nytteareal er forholdsvis dyrt at efterisolere facaderne og kælderydervæggene
- Oplag langs dele af ydervæggene står i vejen for efterisolering
- Punktudsugninger kan kun vanskeligt integreres med en ventilation med varmegenvinding



Figur 3: Tommerupvej 8B set fra nordøst mod indgangene

### 3.1.1 Bygningsdata

- Opført: 1975
- Seneste renovering: Tagbeklædningen blev udskiftet i 2006
- Anvendelse: Værksted/undervisning
- Generel tilstand: Slidt, men uden væsentlige byggetekniske mangler
- Antal brugere: Typisk 12, men varierer mellem otte og 22
- Nettoareal (PHPP): 244 m<sup>2</sup>
- Andet:

### 3.1.2 Bygningsejer

- Næstved Kommune v. Jan Grønkjær
- Rådmandshaven 20, 4700 Næstved
- [jangr@naestved.dk](mailto:jangr@naestved.dk)

## 3.2 Eksisterende bygningsdele

### 3.2.1 Terrændæk/kældergulv

- Beskrivelse 100-200 mm beton, formentlig på kapillarbrydende stenlag
- U-værdi 4 W/m<sup>2</sup>/K iht. PHPP/EN6946 (0,6 W/m<sup>2</sup>/K iht. DS 418)
- Indbygget: Ca. 1975
- Tilstand: Ingen problemer
- Næste renovering: Ikke planlagt
- Andet:

### 3.2.2 Kælderydervægge

- Beskrivelse Beton støbt på stedet med 50 mm hård mineraluld udvendigt
- U-værdi 0,8 W/m<sup>2</sup>/K
- Indbygget: Ca. 1975
- Tilstand: Enkelte steder er der spor af indtrængende vand
- Næste renovering: Ikke planlagt
- Andet:

### 3.2.3 Ydervægge

- Beskrivelse Sandwich-elementer i beton med fritlagte betonfacader
- U-værdi 1,1 W/m<sup>2</sup>/K
- Indbygget: Ca. 1975
- Tilstand: Der er enkelte afskalninger af beton pga. rusten armering
- Næste renovering: Ikke planlagt
- Andet:

### 3.2.4 Vinduer

- Beskrivelse Oprindelige trævinduer med tolags termoruder
- U-værdi 2,5-3 W/m<sup>2</sup>/K
- Indbygget: Ca. 1975
- Tilstand: Slidte
- Næste renovering: Påkrævet nu pga. træk
- Andet: Faste solafskærmninger (se Figur 3). Planlægges erstattet med nye, justerbare solafskærmninger

### 3.2.5 Tag

- Beskrivelse Betonkassetteloft med isoleret opbygning af træ, krydsfiner og tagpap
- U-værdi 0,35 W/m<sup>2</sup>/K
- Indbygget: Ca. 1975
- Tilstand: Tagpappen er 8 år gammel.
- Næste renovering: Mellem 2026 og 2036
- Andet:

### 3.2.6 Varmeanlæg

- Beskrivelse Fjernvarmeveksler
- Effektivitet: Ukendt, men veksleren er placeret i den opvarmede kælder
- Indbygget: Januar-februar 2013
- Tilstand: Ingen kendte fejl
- Næste udskiftning: Ikke planlagt
- Andet:

### 3.3 Energimæssig standard


Nettoarealet (til PHPP) er 244 m<sup>2</sup> og det målte varmeforbrug til rumvarme og varmt vand var i 2013 57974 kWh. Det samlede vandforbrug er kun 78 m<sup>3</sup>, hvorfor opvarmning af brugsvand må udføre en meget lille del af det samlede varmeforbrug.

- Beregnet, specifikt varmebehov: 276 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Beregnet varmebehov: 67288 kWh/a
- Beregnet overtemperaturhyppighed: 0 %
- Beregnet, specifikt primærenergibehov: 277 kWh/m<sup>2</sup>/a

Målt, årligt varmeforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand: 57974 kWh

Det samlede vandforbrug udgør kun 78 m<sup>3</sup> og gør altså kun lille forskel. Vinteren 2013/2014 var usædvanlig mild, og derfor er det ikke overraskende, at det beregnede varmebehov ligger højere end det målte.

## EnerPHit verification



Building: **Værksted**

Street: **Tommerupvej 8B**

Postcode/City: **4700**

Country: **Næstved**

Building type: **Workshop/office**

Climate: **[DK] - København**

Altitude of building site (in [m] above sea level): **-**

Home owner/client: **Næstved Kommune**

Street: **Rådmandshaven 20**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Mechanical System: **Passivhus.dk ApS**

Street: **Heksehøjen 5B**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Certification:

Street:

Postcode/City:

Architecture: **Ole Kjarulffs Tegnestue**

Street: **Fælledvej 21, Rønnebæk**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Energy consulting: **Passivhus.dk ApS**

Street: **Heksehøjen 5B**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Year of Construction: **2014**

Number of dwelling units: **1**

Number of Occupants: **12,0**

Exterior vol.  $V_e$ : **731,5** m<sup>3</sup>

Interior temperature winter [C°] **20,0**

Internal heat gains winter [W/m²] **3,5**

Interior temp. summer [C°] **25,0**

IHG summer [W/m²] **3,5**

Spec. capacity [Wh/K per m² TFA] **204**

Mechanical cooling:

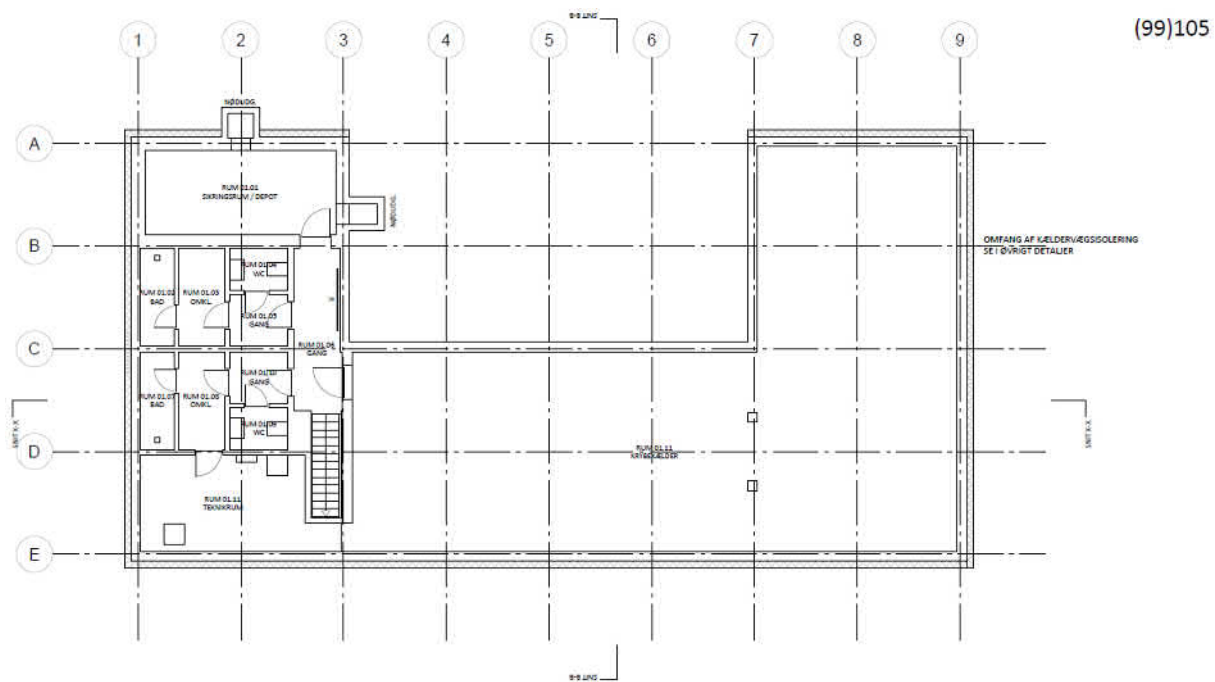
Specific building demands with reference to the treated floor area			
	Treated floor area	<b>243,8</b> m <sup>2</sup>	
<b>Space heating</b>	Annual heating demand	<b>276 kWh/(m²a)</b>	-
	Heating load	<b>76 W/m²</b>	-
<b>Space cooling</b>	Overall specific space cooling demand	<b>kWh/(m²a)</b>	-
	Cooling load	<b>W/m²</b>	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)	<b>0,0 %</b>	-
<b>Primary Energy</b>	heating, cooling, ventilation, DHW, auxiliary electricity lighting, elevators	<b>277 kWh/(m²a)</b>	433 kWh/(m²a)
	DHW, space heating and auxiliary electricity	<b>249 kWh/(m²a)</b>	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	<b>kWh/(m²a)</b>	-
<b>Airtightness</b>	Pressurization test result n <sub>50</sub>	<b>1,3</b> 1/h	1 1/h

EnerPHit (Modernisierung): Bauteilkennwerte			
<b>Gebäudehülle</b>	Außendämmung zu Außenluft	<b>0,72 W/(m²K)</b>	0,15 W/(m²K)
	<b>mittlere U-Werte</b>	<b>3,09 W/(m²K)</b>	1,15 W/(m²K)
	Innendämmung zu Außenluft	<b>W/(m²K)</b>	-
	Innendämmung zu Erdreich	<b>W/(m²K)</b>	-
	Wärmebrücken ΔU	<b>0,00 W/(m²K)</b>	-
	Fenster	<b>2,62 W/(m²K)</b>	0,85 W/(m²K)
	Außentüren	<b>W/(m²K)</b>	-
<b>Lüftungsanlage</b>	eff. Wärmebereitstellungsgrad	<b>0 %</b>	75 %

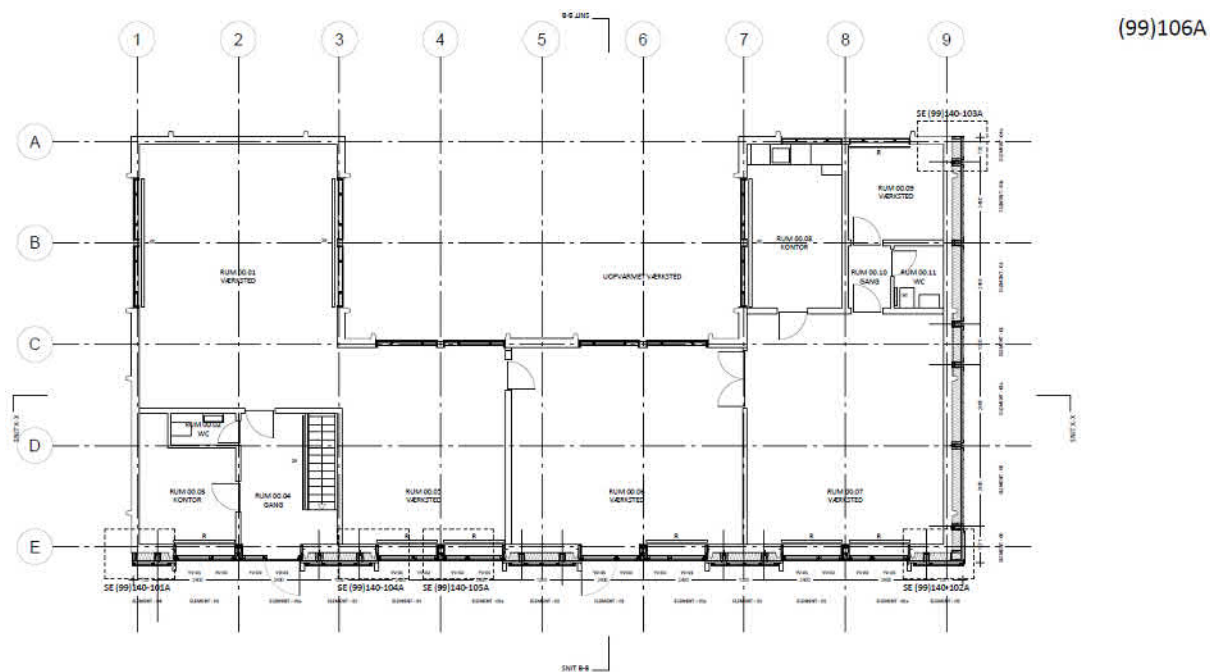
\* empty field: data missing; -: no requirement

Figur 4: Oversigt over bygningens energimæssige karakteristika før renovering

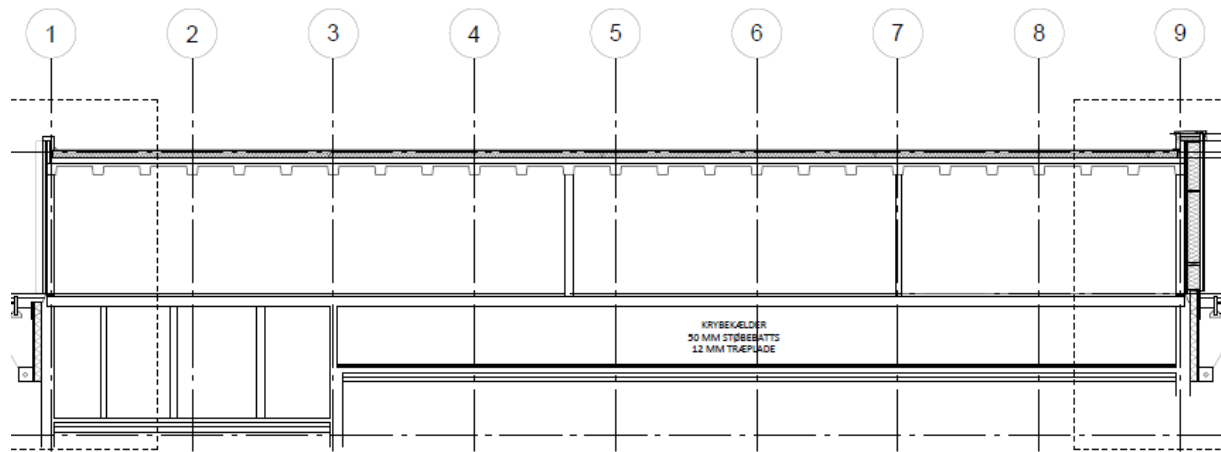
### 3.4 Tegninger



Figur 5: Plan af kælder og krybekælder [Ole Kjærulffs Tegnestue, 2013]



Figur 6: Plan af stueetage [Ole Kjærulffs Tegnestue, 2013]



Figur 7: Længdesnit [Ole Kjærulffs Tegnestue, 2013]



## 4 Energiforbedringer

### 4.1 Plan for trinvisse energiforbedringer

#### 4.1.1 Trin

Efter reduktionen i projektet, er der ikke sat datoer på, hvornår de næste trin udføres. Nedenstående er derfor en principiel oversigt over de trinvisse energiforbedringer, der gennemføres.

**Tabel 2: Effekt af de enkelte energiforbedringer, når de gennemføres fuldstændigt**

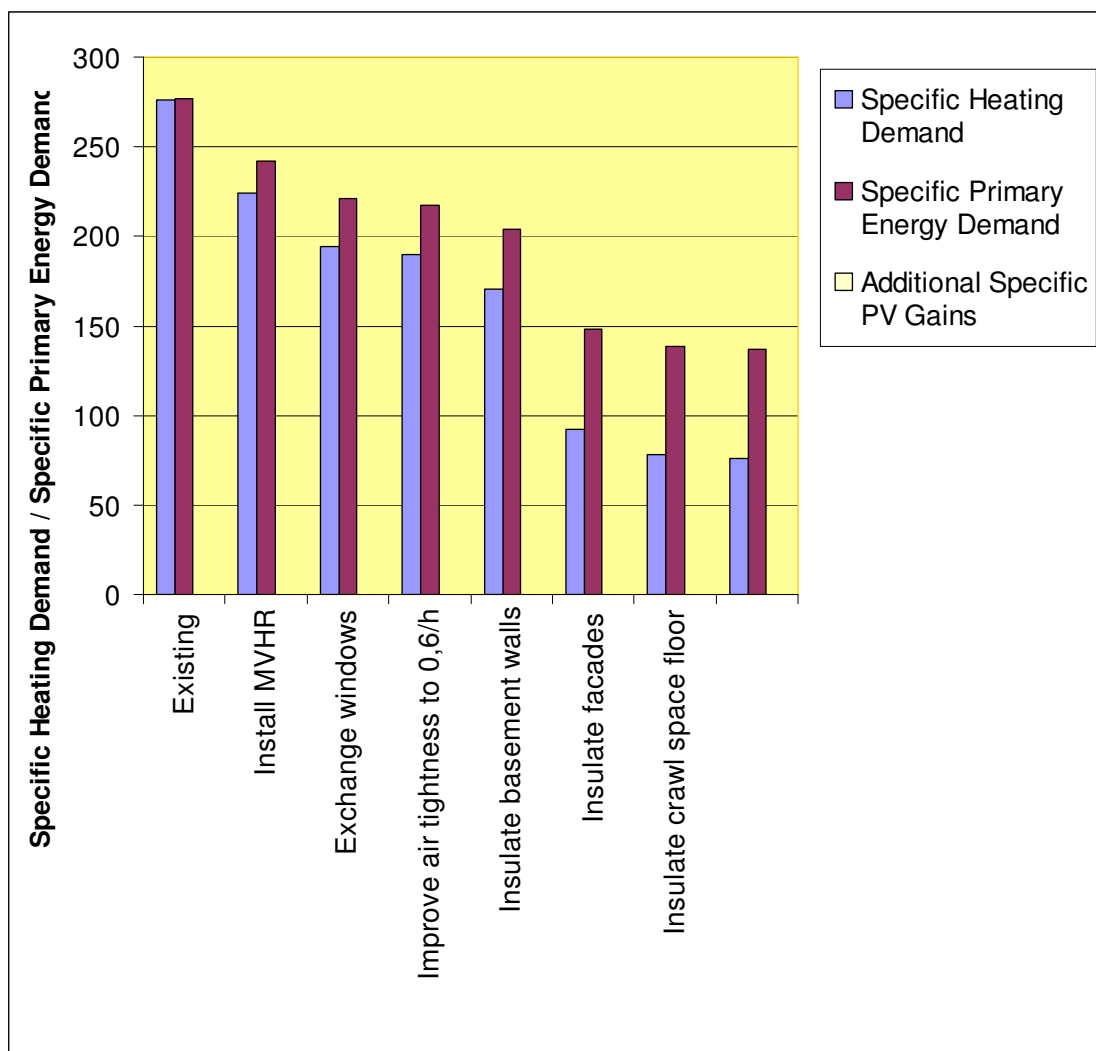
Step No.	Year	Measures	Specific Heating Demand	Specific Primary Energy Demand	Additional Specific PV Gains
	1975		276	277	
1	>2014	Install MVHR	224	242	
2		Exchange windows	194	221	
3		Improve air tightness to 0,6/h	190	218	
4		Insulate basement walls	170	204	
5		Insulate facades	92	148	
6		Insulate crawl space floor	78	139	
7	2026	Insulate roof	76	137	

Hvis man i stedet sammenligner de (halve) trin, der blev gennemført i 2014 med udgangspunktet og det endelige resultat, ser oversigten således ud:

**Tabel 3: Effekt af de i 2014 gennemførte energiforbedringer sammenlignet med start og slut**

Step No.	Year	Measures	Specific Heating Demand	Specific Primary Energy Demand	Additional Specific PV Gains
	1975		276	277	
	2014	Actually implemented steps 2014	218	236	
7	2026	Insulate roof	76	137	

### 4.1.2 Effekten af energiforbedringerne



Figur 8: Effekt af de enkelte energiforbedringer, når de gennemføres fuldstændigt

## 4.2 Energiforbedringer senest marts 2016

### 4.2.1 De første forbedringer

- Opstart: Oktober 2013
- Færdiggørelse: August 2014
- Samlet håndværkerudgift: 943977,49 kr
- Beregnet, specifikt varmebehov efter forbedringer: 218 kWh/m<sup>2</sup>/a
- Beregnet overtemperaturhyppighed: 0,0 %
- Beregnet, specifikt primærenergi behov: 236 kWh/m<sup>2</sup>/a

#### 4.2.1.1 Energiforbedret bygningsdel: Kælderydervægge

- Beskrivelse: 70% af kælderydervæggene asfalteres som fugtbeskyttelse og efterisoleres ned til ca. 1,87 meter under terræn
- Ny U-værdi: 0,124 W/m<sup>2</sup>/K
- Udført: Oktober-november 2013

#### 4.2.1.2 Energiforbedret bygningsdel: Ydervægge


- Beskrivelse 40% af bygningens ydervægge efterisoleres ved montering af en isoleret trækonstruktion. Kommunen, som er bygherre, ønsker at lade det udføre som elementer, så en del af arbejdet i princippet kan laves i vinterperioden, hvor det tjener til sæsonudjævning, og monteres om foråret.
- Ny U-værdi: 0,15 W/m<sup>2</sup>/K
- Udført: Juni-juli 2014

#### 4.2.1.3 Udskiftet bygningsdel: Vinduer

- Beskrivelse Der monteres nye vinduer i de ydervægge, der efterisoleres (i alt ca. 40% af vinduesarealet). Der vælges et produkt, som har smalle karme, og samtidig forenkles inddelingen, og et udhæng over vinduerne fjernes. Det resulterer i lidt mere dagslys, selv om en god trelagsrude transmitterer lidt mindre dagslys end de gamle termoruder. Solafskærmning kan indbygges.
- Ny U-værdi: 0,95 W/m<sup>2</sup>/K inkl. kuldebroer ved indbygningen ( $\psi_{sa}$ ). I standardmål 1,23 m x 1,48 m er U-værdien inkl. kuldebroer netop 0,85 W/m<sup>2</sup>/K.
- Udført: August 2014



## EnerPHit verification



Building: **Værksted**

Street: **Tommerupvej 8B**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Country: **Næstved**

Building type: **Workshop/office**

Climate: **[DK] - København**

Altitude of building site (in [m] above sea level): **-**

Home owner/client: **Næstved Kommune**

Street: **Rådmandshaven 20**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Mechanical System: **Passivhus.dk ApS**

Street: **Heksehøjen 5B**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Certification:

Street:

Postcode/City:

Architecture: <b>Ole Kjarulffs Tegnestue</b>	Mechanical System: <b>Passivhus.dk ApS</b>	
Street: <b>Fælledvej 21, Rønnebæk</b>	Street: <b>Heksehøjen 5B</b>	
Postcode/City: <b>4700 Næstved</b>	Postcode/City: <b>4700 Næstved</b>	
Energy consulting: <b>Passivhus.dk ApS</b>	Certification: <b></b>	
Street: <b>Heksehøjen 5B</b>	Street: <b></b>	
Postcode/City: <b>4700 Næstved</b>	Postcode/City: <b></b>	
Year of Construction: <b>2014</b>	Interior temperature winter [C°] <b>20,0</b>	Interior temp. summer [C°] <b>25,0</b>
Number of dwelling units: <b>1</b>	Internal heat gains winter [W/m²] <b>3,5</b>	IHG summer [W/m²] <b>3,5</b>
Number of Occupants: <b>12,0</b>		Spec. capacity [Wh/K per m² TFA] <b>204</b>
Exterior vol. V <sub>e</sub> : <b>731,5</b> m³		Mechanical cooling: <b></b>

### Specific building demands with reference to the treated floor area

		Treated floor area	Requirements	Fulfilled?*
<b>Space heating</b>	Annual heating demand	<b>218 kWh/(m²a)</b>	-	-
	Heating load	<b>62 W/m²</b>	-	-
	Overall specific space cooling demand	<b>kWh/(m²a)</b>	-	-
<b>Space cooling</b>	Cooling load	<b>W/m²</b>	-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)	<b>0,0 %</b>	-	-
<b>Primary Energy</b>	heating, cooling, ventilation, DHW, auxiliary electricity, lighting, etc.	<b>236 kWh/(m²a)</b>	364 kWh/(m²a)	<b>yes</b>
	DHW, space heating and auxiliary electricity	<b>208 kWh/(m²a)</b>	-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	<b>kWh/(m²a)</b>	-	-
<b>Airtightness</b>	Pressurization test result n <sub>50</sub>	<b>1,3 1/h</b>	1 1/h	<b>no</b>

### EnerPHit (Modernisierung): Bauteilkennwerte

<b>Gebäudehülle</b>	Außendämmung zu Außenluft	<b>0,51 W/(m²K)</b>	0,15 W/(m²K)	<b>nein</b>	
	mittlere U-Werte	Außendämmung zu Erdreich	<b>2,97 W/(m²K)</b>	1,26 W/(m²K)	<b>nein</b>
		Innendämmung zu Außenluft	<b>W/(m²K)</b>	-	-
	Innendämmung zu Erdreich	<b>W/(m²K)</b>	-	-	
	Wärmebrücken ΔU	<b>0,00 W/(m²K)</b>	-	-	
	Fenster	<b>1,92 W/(m²K)</b>	0,85 W/(m²K)	<b>nein</b>	
	Außentüren	<b>W/(m²K)</b>	-	-	
<b>Lüftungsanlage</b>	eff. Wärmebereitstellungsgrad	<b>0 %</b>	75 %	<b>nein</b>	

\* empty field: data missing; -: no requirement

Figur 9: Oversigt over bygningens energimæssige karakteristika efter renovering 2014

## 4.3 Energiforbedringer efter marts 2016

Vi forventer, at de øvrige energiforbedringer foretages efter 2016.

I dette afsnit betragter vi de enkelte trin, som om de gennemføres fuldt, og i den rigtige rækkefølge, specielt at der installeres balanceret ventilation, før der skiftes til nye, tætte vinduer.

### 4.3.1 Energiforbedring trin 1

#### 4.3.1.1 Ny installation: Balanceret ventilation med varmegenvinding

- **Beskrivelse** Der etableres balanceret ventilation med indblæsning i opholdsrummene og udsugning i bad/toiletrum. Ventilationsanlægget skal leve op til bygningsreglementets og passivhuscertificeringens krav til bl.a. energieffektivitet. Som eksempel er nævnt et Danfoss A3 ventilationsanlæg. Der foreslås en elektrisk forvarmning som frostsikring, mens der ikke kræves nogen varmeplade efter den forholdsvist effektive varmegenvinding. Kanalerne kan fordeles vandret i krybekælderen, som vil have omtrent samme temperatur som opholdsrummene, når den er blevet isoleret.
- **Udføres:** Ikke planlagt

### 4.3.2 Energiforbedring trin 2

#### 4.3.2.1 Udskiftet bygningsdel: Vinduer

- **Beskrivelse** Der monteres nye vinduer i de ydervægge, der efterisoleres. Der vælges et produkt, som har smalle karme, og samtidig forenkles inddelingen, og et udhæng over vinduerne fjernes. Det resulterer i lidt mere dagslys, selv om en god trelagsrude transmitterer lidt mindre dagslys end de gamle termoruder. Solafskærmning kan indbygges.
- **Ny U-værdi:** 0,95 W/m<sup>2</sup>/K inkl. kuldebroer ved indbygningen ( $\psi_{sa}$ ). I standardmål 1,23 m x 1,48 m er U-værdien inkl. kuldebroer netop 0,85 W/m<sup>2</sup>/K.
- **Udføres:** Ikke planlagt

### 4.3.3 Energiforbedring trin 3

#### 4.3.3.1 Energiforbedring: Lufttæthed

- **Beskrivelse:** Ved ordentlig indbygning af de nye vinduer reduceres utæthederne. For overskueligheden er dette placeret som et selvstændigt punkt.
- **Ny  $n_{50}$ :** Luftskiftet ved prøvning med 50 Pa kan formentlig sænkes længere end til 0,6/h
- **Udføres:** Ikke planlagt

#### 4.3.4 Energiforbedring trin 4

##### 4.3.4.1 Energiforbedret bygningsdel: Kælderydervægge

- Beskrivelse: Kælderydervæggene asfalteres som fugtbeskyttelse og efterisoleres ned til ca. 1,87 meter under terræn
- Ny U-værdi: 0,124 W/m<sup>2</sup>/K
- Udføres: Ikke planlagt

#### 4.3.5 Energiforbedring trin 5

##### 4.3.5.1 Energiforbedret bygningsdel: Ydervægge

- Beskrivelse Halvdelen af bygningens ydervægge efterisoleres ved montering af en isoleret trækonstruktion. Kommunen, som er bygherre, ønsker at lade det udføre som elementer, så en del af arbejdet i princippet kan laves i vinterperioden, hvor det tjener til sæsonudjævning, og monteres om foråret.
- Ny U-værdi: 0,149 W/m<sup>2</sup>/K
- Udføres: Ikke planlagt

#### 4.3.6 Energiforbedring trin 6

##### 4.3.6.1 Energiforbedret bygningsdel: Gulv i krybekælder


- Beskrivelse Der udlægges 50 mm stive mineraluldsbatts direkte på gulvet. Når kælderydervæggene allerede er isoleret, er temperaturen under bygningen steget, og en denne beskedne isolering kan derfor udføres uden risiko for, at der bliver for fugtigt på overfladen af betonen. Ydermere foreslås en indblæsningskanal "punkteret" på vejen gennem krybekælderen, så der kommer en ganske lille strøm af tilluft, så krybekælderen ventileres.
- Ny U-værdi: 0,63 W/m<sup>2</sup>/K iht. PHPP/EN6946 (0,32 W/m<sup>2</sup>/K iht. DS 418)
- Udføres: Ikke planlagt

#### 4.3.7 Energiforbedring trin 7

##### 4.3.7.1 Energiforbedret bygningsdel: Taget

- Beskrivelse Eksisterende trækonstruktion fjernes, og fald opbygges med kileskåret isolering. Lige under tagappen afsluttes der med stenuld af hensyn til brandsikring.
- Ny U-værdi: 0,15 W/m<sup>2</sup>/K
- Udføres: Ikke planlagt

### EnerPHit verification



Building: **Værksted**

Street: **Tommerupvej 8B**

Postcode/City: **4700**

Country: **Næstved**

Building type: **Workshop/office**

Climate: **[DK] - København**

Altitude of building site (in [m] above sea level): **-**

Home owner/client: **Næstved Kommune**

Street: **Rådmandshaven 20**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Mechanical System: **Passivhus.dk ApS**

Street: **Heksehøjen 5B**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Certification:

Street:

Postcode/City:

Architecture: **Ole Kjarulffs Tegnestue**

Street: **Fælledvej 21, Rønnebæk**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Energy consulting: **Passivhus.dk ApS**

Street: **Heksehøjen 5B**

Postcode/City: **4700 Næstved**

Year of Construction: **2014**

Number of dwelling units: **1**

Number of Occupants: **12,0**

Exterior vol.  $V_e$ : **731,5** m<sup>3</sup>

Interior temperature winter [C°]: **20,0**

Internal heat gains winter [W/m²]: **3,5**

Interior temp. summer [C°]: **25,0**

IHG summer [W/m²]: **3,5**

Spec. capacity [Wh/K per m² TFA]: **204**

Mechanical cooling:

---

Specific building demands with reference to the treated floor area

		Treated floor area	Requirements	Fulfilled?*
<b>Space heating</b>	Annual heating demand	<b>243,8</b> m <sup>2</sup>	-	-
	Heating load	<b>76 kWh/(m²a)</b>	-	-
		<b>25 W/m²</b>	-	-
<b>Space cooling</b>	Overall specific space cooling demand	<b>kWh/(m²a)</b>	-	-
	Cooling load	<b>W/m²</b>	-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)	<b>0,0</b> %	-	-
<b>Primary Energy</b>	heating, cooling, ventilation, DHW, auxiliary electricity lighting, elevators	<b>137 kWh/(m²a)</b>	193 kWh/(m²a)	<b>yes</b>
	DHW, space heating and auxiliary electricity	<b>110 kWh/(m²a)</b>	-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	<b>kWh/(m²a)</b>	-	-
<b>Airtightness</b>	Pressurization test result n <sub>50</sub>	<b>0,6</b> 1/h	1 1/h	<b>yes</b>

---

EnerPHit (Modernisierung): Bauteilkennwerte

<b>Gebäudehülle</b>	Außendämmung zu Außenluft	<b>0,15 W/(m²K)</b>	0,15 W/(m²K)	<b>ja</b>	
	<b>mittlere U-Werte</b>	Außendämmung zu Erdreich	<b>2,87 W/(m²K)</b>	1,41 W/(m²K)	<b>nein</b>
		Innendämmung zu Außenluft	<b>W/(m²K)</b>	-	-
	Innendämmung zu Erdreich	<b>W/(m²K)</b>	-	-	
	Wärmebrücken ΔU	<b>0,00 W/(m²K)</b>	-	-	
	Fenster	<b>0,95 W/(m²K)</b>	0,85 W/(m²K)	<b>nein</b>	
<b>Lüftungsanlage</b>	Außentüren	<b>W/(m²K)</b>	-	-	
	eff. Wärmebereitstellungsgrad	<b>83</b> %	75 %	<b>ja</b>	

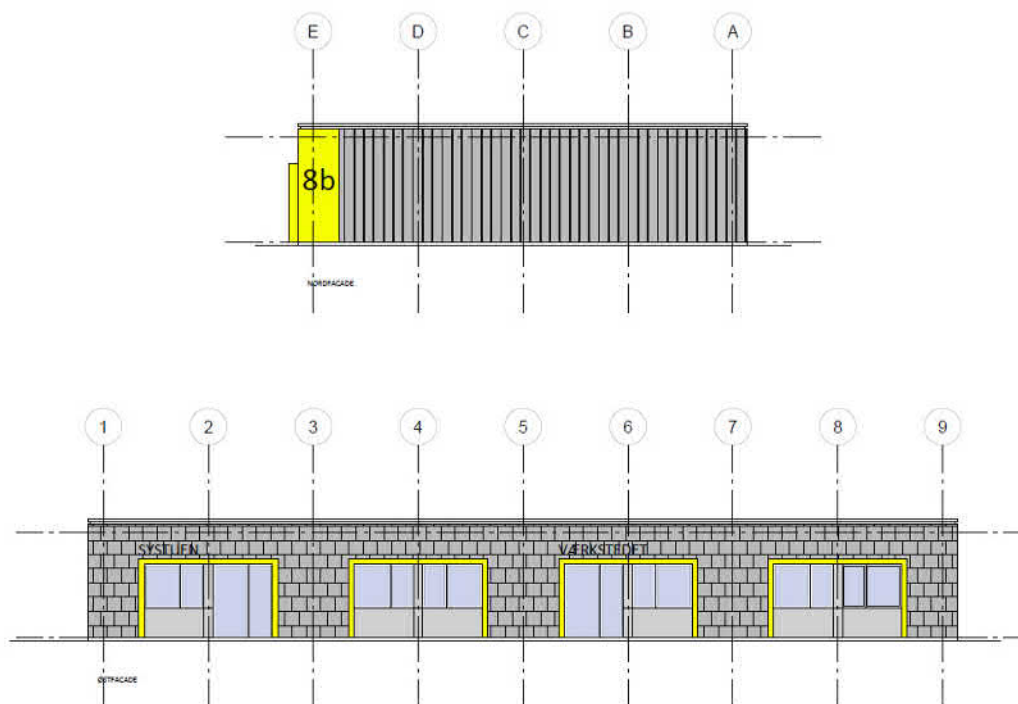
\* empty field: data missing; -: no requirement

Figur 10: Oversigt over bygningens energimæssige karakteristika efter renovering

## 4.4 Illustrationer

Nedenstående tegninger og fotos viser bygningen efter renovering.

(99)120



Figur 11: Nord- og østfacade



Figur 12: Nord- og østfacade efter renovering



## 5 Komplementering af energiforbedringerne med tilføjelse af vedvarende energi


### 5.1 Inhabitant's comfort and location concept

Onyx Solar will study in the following pages, the integration of photovoltaic technology on the Rehab Workshop project located in Naestved (Denmark).

BIPV integration will be analyzed as a multifunctional added value where, in addition to the electrical generation, the system could provide passive bioclimatic properties as thermal inner comfort -since most of the UV and infrared radiation from the sun will be harvested by the silicon-based material (solar filter effect)-, natural sunscreen and the highly modern appearance.

The location is a key issue in order to consider the best solutions for this intervention. Into these parameters, there are critical factors that must be taken into account to move ahead. These critical factors include climate and microclimate features, geographical conditions (latitude, longitude, altitude above sea level, orientation) and building orientation.

**Tabel 4: Location parameters**

<b>Location</b>	<b>Naestved</b>	
<b>Country</b>	<b>Denmark</b>	
<b>Region</b>	<b>Europe</b>	
<b>Latitude</b>	<b>55°14'N</b>	
<b>Longitude</b>	<b>11°46'E</b>	
<b>Altitude</b>	<b>16 m</b>	
<b>Time Zone</b>	<b>CET</b>	

**Tabel 5: Climatic conditions**

	<b>Global Irradiation</b>	<b>Diffuse Irradiation</b>	<b>Average temperature</b>
	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>°C</b>
<b>January</b>	16.1	11.5	0.4
<b>February</b>	30.8	20.6	0.9
<b>March</b>	87.4	43.7	3.0
<b>April</b>	140.4	53.4	7.1
<b>May</b>	177.0	67.3	12.0
<b>June</b>	186.0	72.6	15.3
<b>July</b>	185.4	74.4	17.9
<b>August</b>	143.8	62.0	18.1
<b>September</b>	97.2	46.5	14.1
<b>October</b>	54.3	29.8	9.7
<b>November</b>	19.5	12.6	4.4
<b>December</b>	11.9	8.7	1.5
<b>Year</b>	<b>1149.9</b>	<b>503.0</b>	<b>8.7</b>

Naestved shows annual irradiation of 1149.9 kWh/m<sup>2</sup>. The average annual temperature is 8.7 °C. The elevation above sea level is 16 m. These climatic and geographic parameters, and the specific location of the building –latitude, longitude, altitude above sea level, orientation- were critical facts when selecting the technology to be implemented.

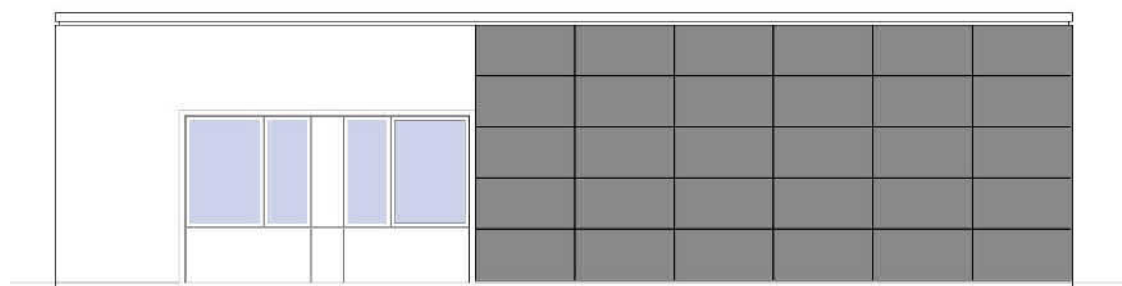
It is mandatory to point out that it has not been considered the effects of shadows or components of diffuse radiation and albedo in this approach. Therefore, a detailed analysis of production taking into account these critical factors should be done in subsequent stages of the analysis.

## 5.2 Evaluation of potential BIPV systems

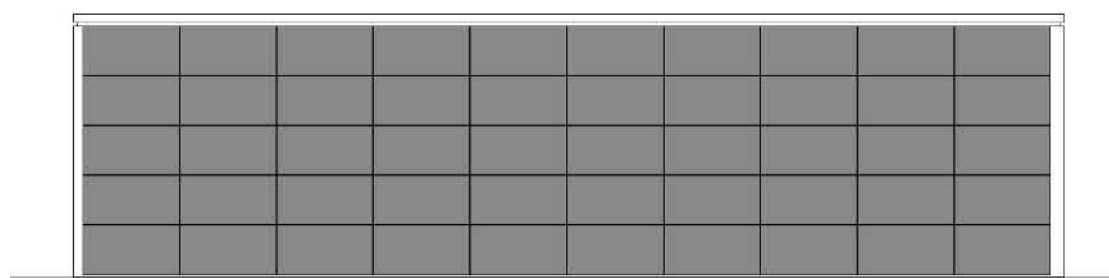
### 5.2.1 PV Ventilated façade

This is an alternative solution for external walls that is composed by an insulation material in the inner part, an air gap and PV modules in the outer layer. This system could be implemented to reduce thermal exchanges and to avoid thermal bridges, producing at the same time clean electricity. Thanks to the ventilated air chamber and to the application of insulating material, this system increases the acoustic absorption and reduces the amount of heat that buildings absorb in hot weather conditions. In the air gap, the density difference between a hot and cold air creates a natural flow removing the air through a chimney effect that helps to eliminate heat and moisture increasing inner comfort.

The ventilated façade would be located in the south and north oriented elevation, covering the opaque walls. The scheme of the PV integration is shown below:



**Figur 13: South façade with amorphous photo voltaic panels**



**Figur 14: North façade with amorphous photo voltaic panels**

The description of the components composing the PV ventilated system is included below.

### 5.2.1.1 PV glass with amorphous silicon technology

The technology selected for this proposal will be amorphous silicon technology (a-si) due to the following reasons:

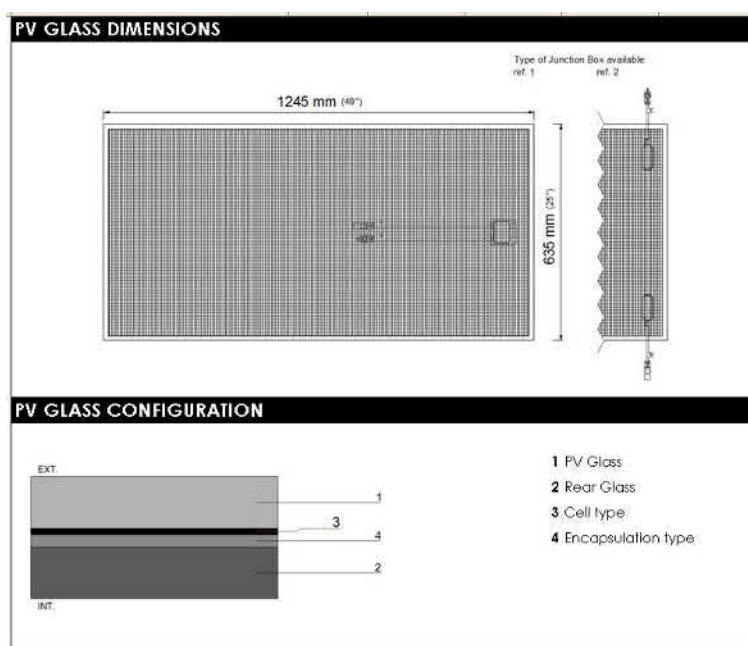
- Due to the location, orientation and surroundings, direct exposure of glass to solar radiation rarely would be achieved in an optimal way, being mandatory the harvesting of diffuse radiation. Then, amorphous silicon technology is the one that offers the best result in terms of kWh/kWp installed under these irradiation conditions.
- Furthermore, this technology offers the best aesthetic solutions when combining with other claddings/construction materials due to its plain characteristics and opaque color.

### 5.2.1.2 Glass dimensions and configuration

The glass selected for the integration is an opaque glass with a nominal power of 49 Wp/unit. The initial dimensions proposed for the PV glass are 1245x635 mm.

South facade: The installation consists of 30 glasses, with an active surface of 23,71sqm and a total power installed of 1,47kWp.

North facade: The installation consists of 50 glasses, with an active surface of 39,52 sqm and a total power installed of 2,45kWp.



Figur 15: PV opaque a-si glass. Dimensions and configuration

Tabel 6: PV opaque a-si glass. Technical data sheet

<b>A-SI OPAQUE</b>		
<b>Electrical data test conditions (STC)</b>		
Nominal peak power	49,00	$P_{mpc}$ (Wp)
Open-circuit voltage	64,50	$V_{oc}$ (V)
Short-circuit current	1,05	$I_{sc}$ (A)
Voltage at nominal power	51,70	$V_{mpc}$ (V)
Current at nominal power	0,95	$I_{mpc}$ (A)
Power tolerance not to exceed	$\pm 5$	%
STC: 1000 w/m <sup>2</sup> , AM1.5 and a cell temperature of 25°C, stabilized module state.		
<b>Mechanical description</b>		
Length	1245	mm
Width	635	mm
Thickness	6,85	mm
Surface area	0,79	m <sup>2</sup>
Weight	12,65	Kg
Cell type	$\alpha$ -Si Thin Film Solar Cells	
Transparency degree	Dark	
First layer	3,2 mm Float Glass	
Second layer	3,2 mm Float Glass	
Thickness encapsulation	0,45 mm EVA	
Color code / thickness	--	
<b>Junction Box</b>		
Protection	IP65	
Conectors	MC4 or compatible	
Wiring Section	2,5 mm <sup>2</sup>	
<b>Limits</b>		
Maximum system voltage	1000	$V_{sys}$ (V)
Operating module temperature	-40...+65	°C
<b>Temperature Coefficients</b>		
Temperature Coefficient of $P_{mpp}$	-0,19	%/°C
Temperature Coefficient of $V_{oc}$	-0,28	%/°C
Temperature Coefficient of $I_{sc}$	+0,09	%/°C

### 5.2.1.3 Insulation

pending

### 5.2.1.4 Fixing system

BiPV photovoltaic glazing structurally does not defer from other type of glazing, and therefore, it is integrated in a ventilated façade system as any other cladding material.

The structure system is responsible for ensuring proper anchorage of the photovoltaic glass, facilitating the installation and maintenance of the modules and providing the orientation and inclination of the area integrated with the PV glasses. In the present case, as the PV system will be located on the building's facade, a secure anchorage to the original facade must be ensured, allowing at the same time, proper ventilation so the building can take advantage of the thermal benefits of ventilated facades.

For the projected solution, the use of aluminum angles attached to the building façade is proposed, achieving a ventilated chamber of about 100 mm. At the opposite end of the angles, a vertical aluminum upright is placed, to which the staples are bolted. The PV glasses are fastened with these staples, allowing placing the glasses without metallic frame and achieving a separation between the

glasses and the original façade of 100 mm. The contact between the staples and the photovoltaic glass will be fixed with an EPDM joints.

Adding the significant stability of the system, thanks to EPDM joints between glass and structure, we assure that the façade is correctly sealed. This fixing system is an easy way of installation and, at the same time, will allow carrying out the maintenance work, in case it would be necessary to remove some of the units.

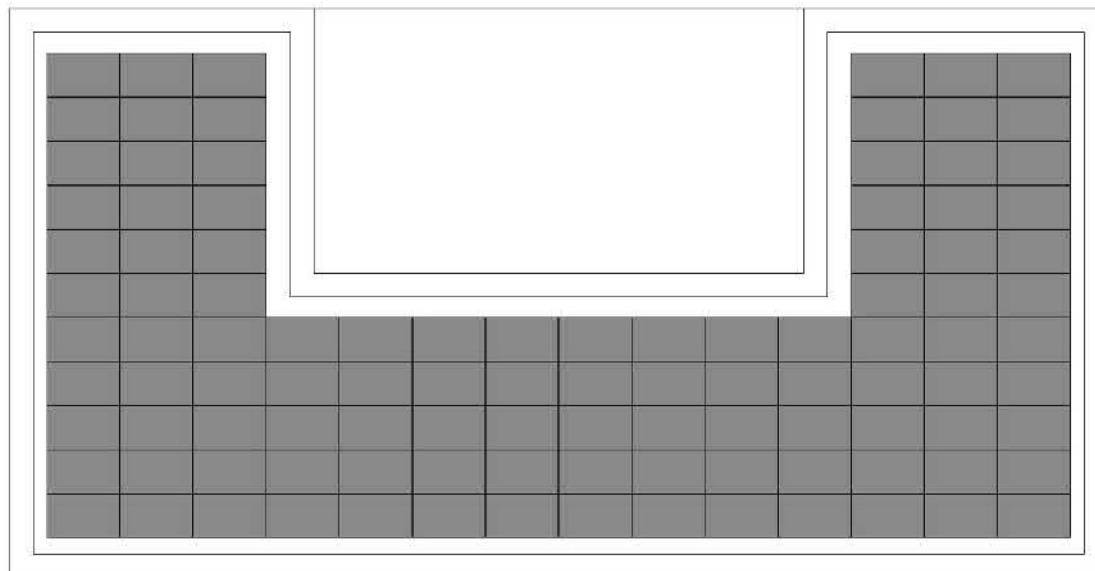
This solution provide an important aesthetical value to the structure, from inside and outside view, combining with a significant resistant to wind action.

## 5.2.2 PV Roof superposition

Another option is the integration on the roof, taking advantage of this area directly exposed to the sun. PV tilted traditional panels could be a good intervention, but due to aesthetic criteria, the proposal is based on the superposition of the panels with a black back sheet parallel to the existing roof. Thus, the visual impact from the street remains unchanged.

Furthermore, the application of insulating material between the PV glass and the existing roof, can help to avoid thermal losses and to increase the inner comfort.

The roof superposition would be located on all the available area. The scheme of the PV integration is shown below:



**Figur 16: Roof top with mono-crystalline photo voltaic panels**

The description of the components composing the PV ventilated system is included below:

### 5.2.2.1 PV glass with mono-crystalline technology

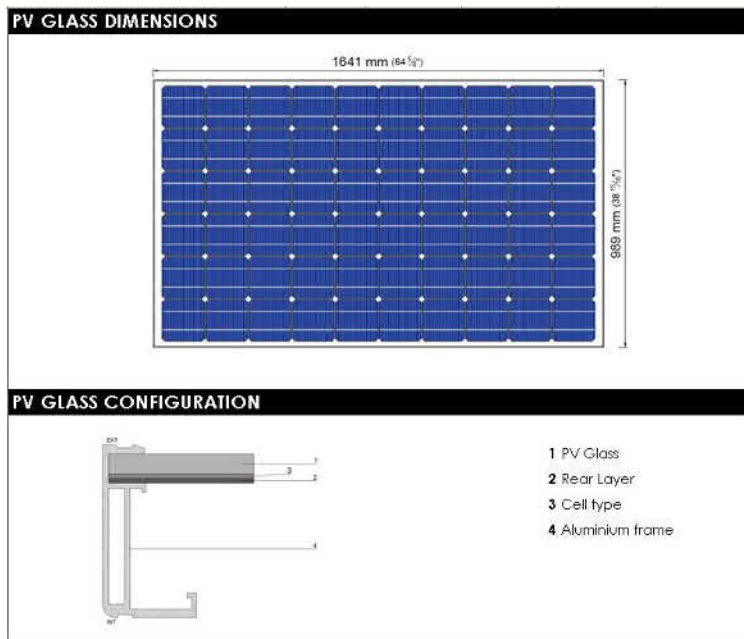
The technology selected is the mono-crystalline (m-c) with a black back sheet silicon for the following reason:

Due to the location, orientation and planned placement, photovoltaic glass not provide the best exposure to solar radiation (understood as such direct solar radiation in optimum angle) so it becomes critical exploit the available area to install most power as possible. Technology of mono-crystalline silicon is, in this context, which provides the best results in terms of kWp/m<sup>2</sup> radiation for these conditions.

### 5.2.2.2 Glass dimensions and configuration

The glass selected for the integration is an opaque glass with a nominal power of 240 Wp/unit. The initial dimensions proposed for the PV glass are 1641x989 mm.

The installation consists of 106 glasses, with an active surface of 172,03 sqm and a total power installed of 25,44 kWp.



Figur 17: PV m-c glass Dimensions and configuration

Tabel 7: PV m-c glass Technical data sheet

<b>M-C</b>		
<b>Electrical data test conditions (STC)</b>		
Nominal peak power	240	$P_{mpp}$ (Wp)
Open-circuit voltage	37,1	$V_{oc}$ (V)
Short-circuit current	8,5	$I_{sc}$ (A)
Voltage at nominal power	30,3	$V_{mpp}$ (V)
Current at nominal power	7,94	$I_{mpp}$ (A)
Power tolerance not to exceed	±3	%
<small>STC: 1000 w/m<sup>2</sup>, AM 1.5 and a cell temperature of 25°C, stabilized module state.</small>		
<b>Mechanical description</b>		
Length	1641	mm
Width	989	mm
Thickness	46	mm
Surface area	1,62	m <sup>2</sup>
Weight density	23,50	Kg
Cell type	6" Mono - Crystalline	
Transparency degree	60	cells
First layer	4 mm	Float glass
Second layer	1 mm	TEDLAR / PYE
Thickness encapsulation	0,90 mm	EVA Foil
<b>Junction Box</b>		
Protection	IP65	
Connectors	MC4 or compatible	
Wiring Section	2,5	mm <sup>2</sup>
<b>Limits</b>		
Maximum system voltage	1000	$V_{sys}$ (V)
Operating module temperature	-40...+85	°C

### 5.2.2.3 Insulation

Søren: What does this mean?

### 5.2.2.4 Fixing system

The structure system is responsible for ensuring proper anchorage of the photovoltaic glass, facilitating the installation and maintenance of the modules. In the present case, as the PV system will be located on the building's roof, a secure anchorage to the original facade must be ensured, allowing at the same time, proper ventilation so the building can take advantage of the thermal benefits. For the projected solution, the use of aluminum angles attached to the building roof façade is proposed.

## 5.3 Production estimation

A preliminary estimation of PV energy generation can be determined for the proposed solutions by means of implementing simulation tools, where key site location factors as climatic parameters (latitude, longitude, altitude above sea level, orientation) and BIPV system characteristics (tilted angle, azimuth etc.) are considered to establish the final solution energy performance.

The graphic draws a comparison between Peak Power and Energy yield for the different options of PV integration.

Considering the electricity mix in Denmark (2013) with an average of 0,377 kg CO<sub>2</sub>/kWh is found, it can be extracted the following emissions of CO<sub>2</sub> per year that would be prevented for each option proposed:<sup>1</sup>

**Table 8: Energy production summary**

PV type	opaque a-si	opaque a-si	Opaque m-c
Location	South facade	North facade	Roof
Installed PV area [m <sup>2</sup> ]	23,71	39,52	172,03
Installed peak power [kWp]	1,47	2,45	25,44
Annual RES gains [kWh]	1276	711	22768
Annual RES gains [kWh/m <sup>2</sup> ]	54	18	132
CO <sub>2</sub> emissions prevented	481	268	8580

## 5.4 Multifunctional behaviour of the BIPV systems: passive properties

pending

## 5.5 Financial evaluation & taxes and incentives assessment

pending

## 5.6 Conclusion

pending

---

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuels consumed for electricity generation, in both electricity-only and combined heat and power plants, divided by output of electricity generated from all fossil and non-fossil sources. Both main activity producers and auto producers have been included in the calculation.