

Erasmus+ prosjekt-ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Dette Erasmus+-prosjektet er finansiert med støtte fra Europakommisjonen. Denne publikasjonen gjenspeiler kun forfatternes synspunkter, og Europakommisjonen og Erasmus+-nasjonale byråer kan ikke holdes ansvarlig for bruk av informasjonen i publikasjonen.

Rumensk casestudie

Del I: Tilnærming til den rumenske casestudien og analyse av den opprinnelige situasjonen

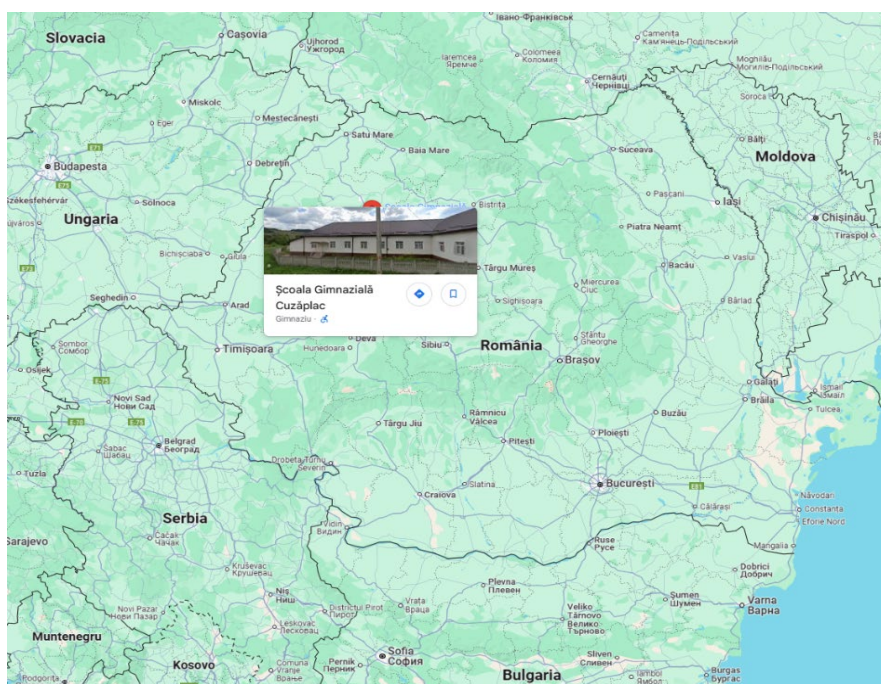
1. Tilnærming til casestudie

Den rumenske casestudien fokuserer på en utdanningsbygning. Den omfatter analyse av energibehov og -forbruk, samt forslag til alternativer for å forbedre bygningens energieffektivitet.

2. Beskrivelse av utdanningsbygget

2.1. Innledning

Den rumenske casestudien omhandler en barneskole og ungdomsskole bygget i 1962 i landsbyen Petrindu/Cuzăplac i Sălaj fylke i Romania (se fig. 1 og 2).



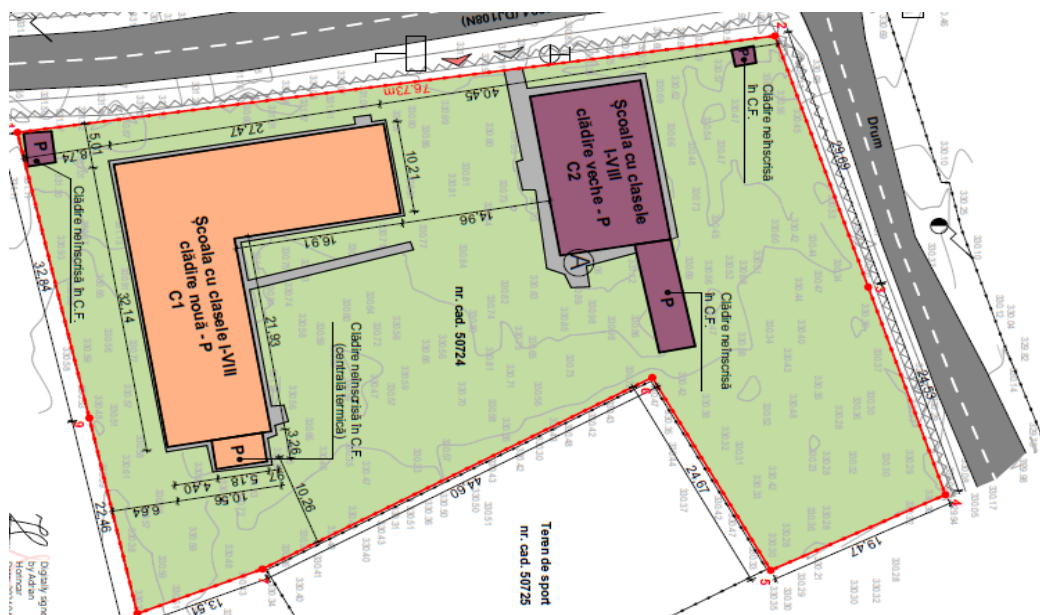
Figur 1. Skole i Romania – kartplassering



Figur 2. Skole fra Romania – bilder

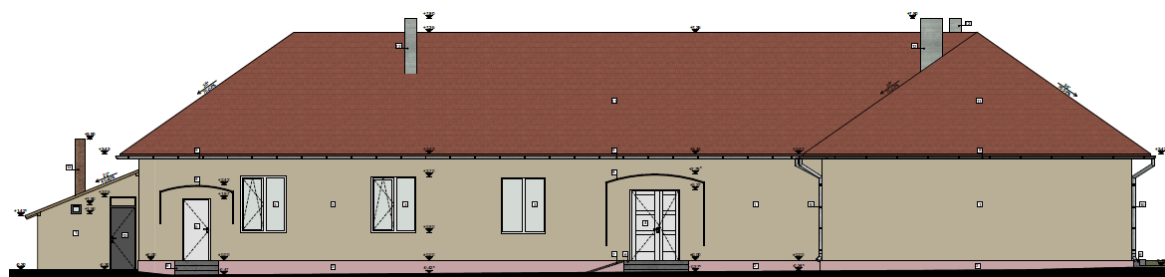
2.2. Byggplaner

Tomtens totale areal er 3861 kvadratkilometer (se fig. 3).



3. Figur 3. Skole fra Romania – situasjonsplan

Bygningen (C1) har én etasje og et samlet bebygget areal på 512 kvadratkilometer, med et samlet bruksareal på 413,8 kvadratkilometer (se fig. 4).



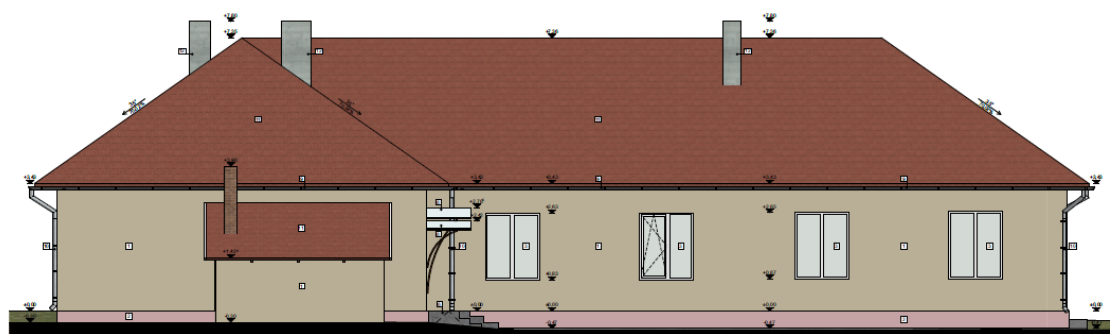
Nord



Vest



S

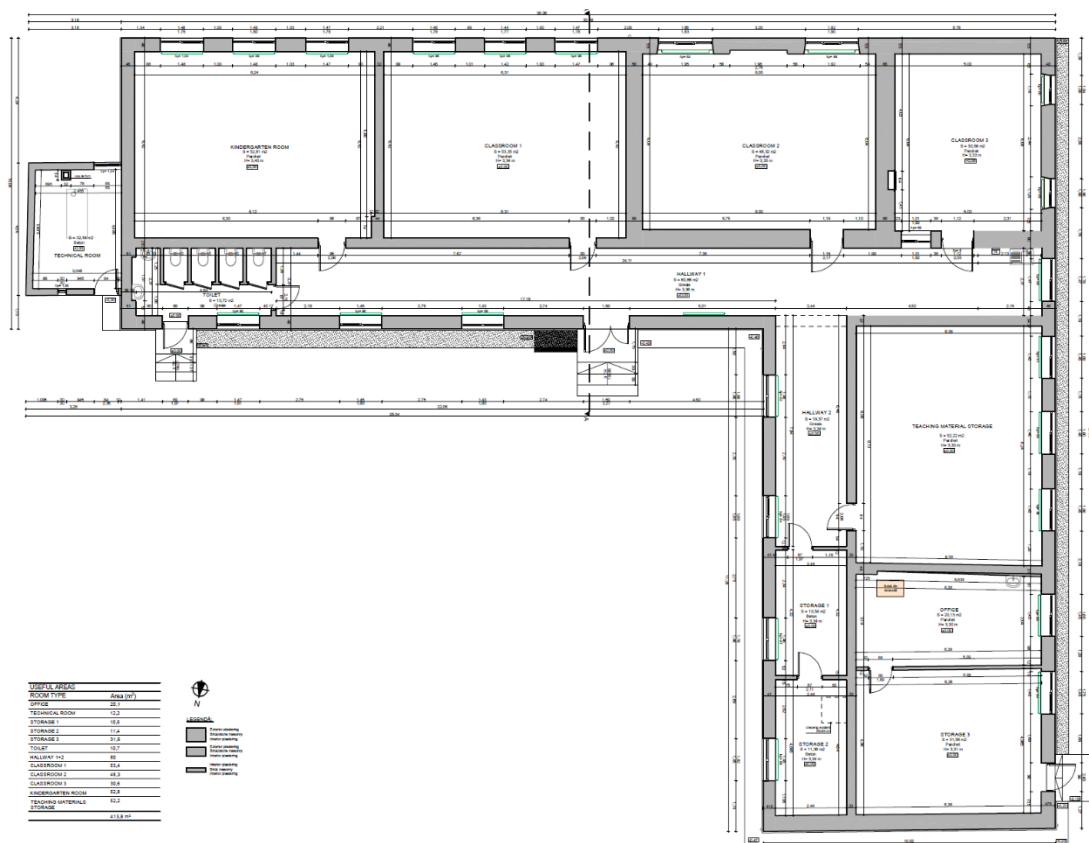


Øst

Figur 4. Skole fra Romania – fasader

Bygningen består av 3 klasserom, 1 barnehagerom, to ganger, et lager for undervisningsmateriell, et kontor, tre lagerrom, et toalett og et teknisk rom (se fig. 5).

Kaldtvann tilføres fra det lokale nettverket. Bygningen varmes opp av et fastbrenselanlegg og en kjele, som er koblet til stålradiatorer. Belysningsystemet består hovedsakelig av neonlysrør. Bygningen har ikke ventilasjons- eller klimaanlegg.



Figur 5. Skole i Romania – planløsning av første etasje

2.3. Beliggenhet

De geografiske koordinatene for denne bygningen er:

- Breddegrad: 46°57'56"N
- Lengdegrad: 23°11'24"Ø
- Høyde: 293,2 m

Location data	
City	Cuzapla
Altitude	293.200 m
Latitude	46.0 degrees
Longitude	23.0 degrees
Time zone	2.0
SCOP climatic conditions	Cold climate

2.4. Klimason

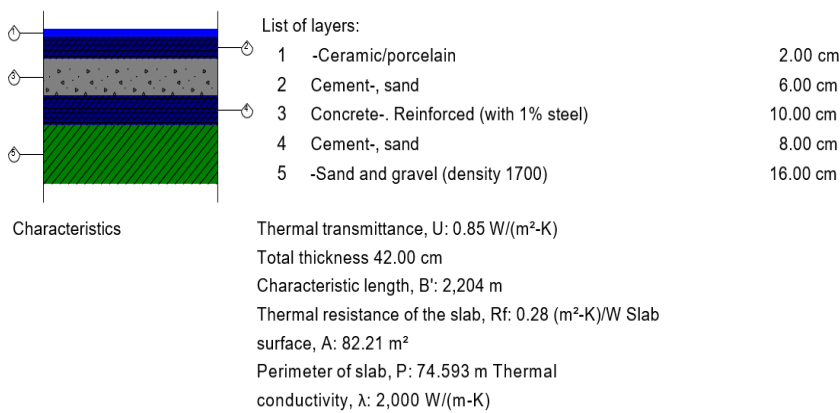
I henhold til Koeppen-Geiger-klassifiseringssystemet er Romania preget av seks forskjellige klimatyper. Den dominerende klimasonen er et fuktig kontinentalt klima med varme somre (Dfb), som omfatter det største området av landet (inkludert byggeområdet for vår casestudie). I løpet av den varmeste måneden i året overstiger gjennomsnittstemperaturen ikke 22 °C. I kontrast til dette er gjennomsnittstemperaturen i den kaldeste måneden vanligvis mye lavere, ofte betydelig under -3 °C.

2.5. Termiske klimamaterialer

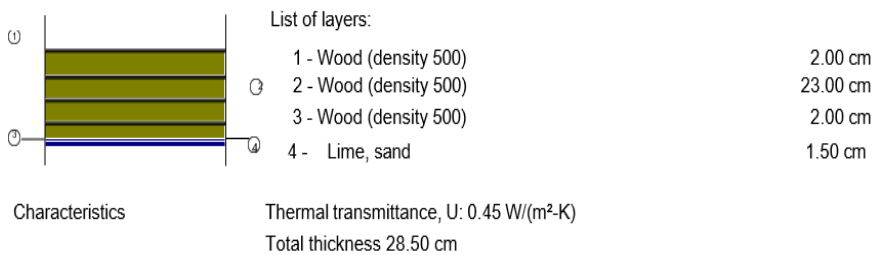
Bygningen har en struktur av stein og betong, murvegger, loftsgulv av tre og et tretak med bitumenbelagte bølgeplater. Innvendige vegger er behandlet med vaskbar maling eller fliser, mens utsiden er pyntet med dekorativt puss. Betonggulvene er dekket med parkett eller fliser. Bygningen er ikke isolert. Vinduene har PVC-rammer og doble vinduer.

Følgende data ble brukt i denne casestudien:

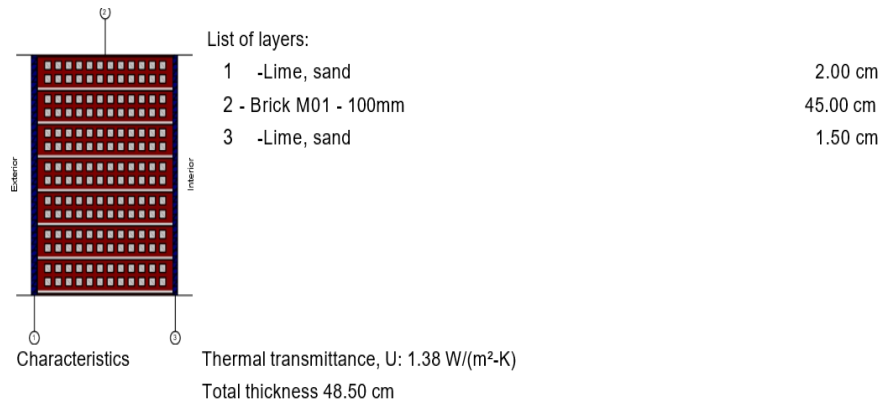
Gulvplate



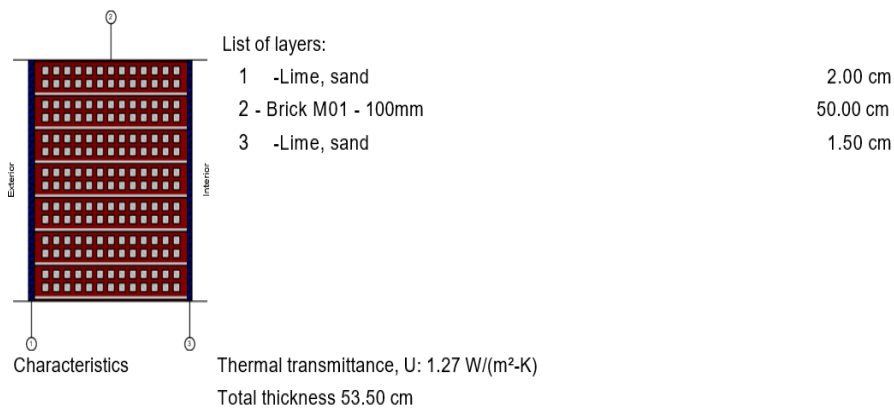
Tak



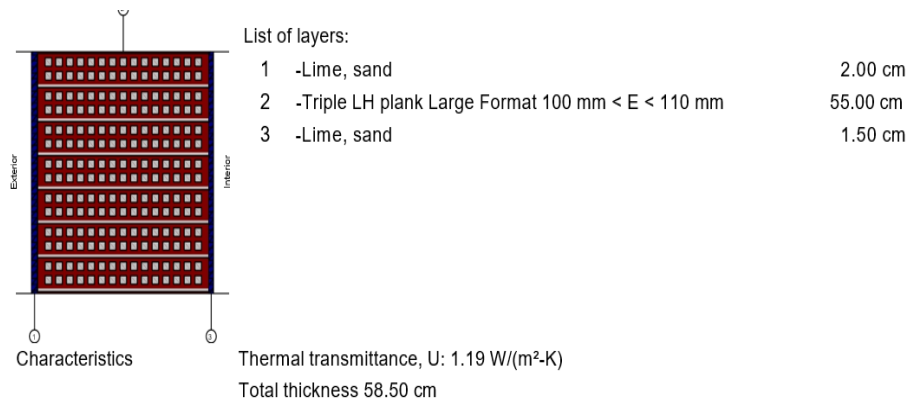
Ytre vegg 45

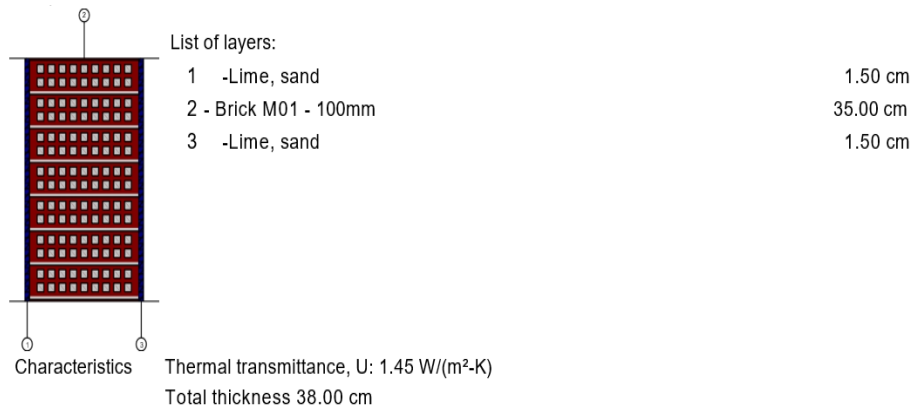
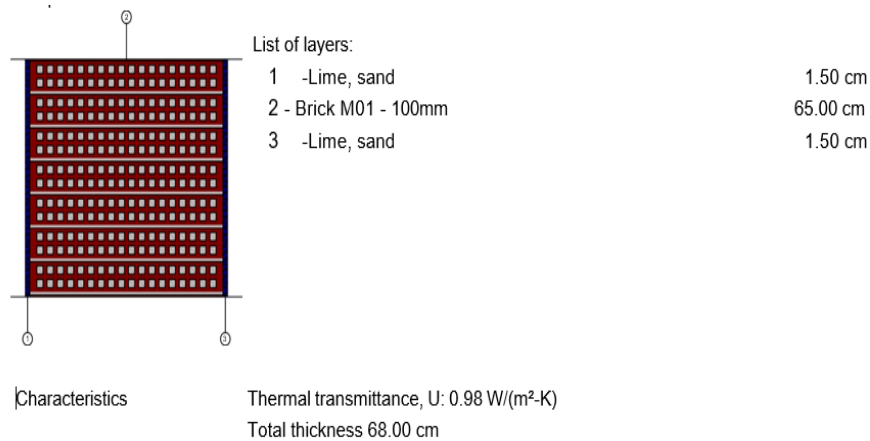


Yttervegg 50



Yttervegg 55



Skillevegg 35

Skillevegg 65

Dører

Heat transfer coefficient (U)	2.10	W/(m²·K)
Absorptance	0.60	

Vinduer

Heat transfer coefficient (U)	2.10	W/(m²·K)
Solar heat gain coefficient	0.70	

2.6. Varmtvann, oppvarming og klimaanlegg

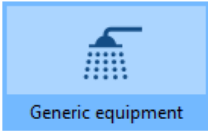
Vannet varmes opp av et varmekraftverk som bruker biomasse som brensel. Vedfyrte anlegg er ikke særlig effektivt.

Bygningen varmes opp av stålradiatorer ved hjelp av et fastbrenselsanlegg (ved) og en kjele.

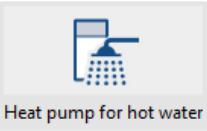
Det er heller ikke ventilasjon eller klimaanlegg i bygningen.

Reference

Covered DHW demand percentage %


Generic equipment


Air-source heat pump


Heat pump for hot water


Geothermal

Production set

Overview

Type of energy vector

Rated capacity W

Average seasonal efficiency

Storage tank

Global loss coefficient, UA W/K

Average storage temperature °C

Ambient temperature °C

Global loss coefficient (UA)

Capacity l

Outside diameter m

Insulation thickness m

Thermal conductivity of the insulation W/(m·K)

Global loss coefficient, UA: 1.20 W/K

Figur 6. Varmtvannssystem

Reference Heating











Hot-water system

Hot water production equipment

+     

Name

1 Thermal plant

Hot water distribution

Design parameters

Design setpoint temperature 82.0 °C

Design delta temperature 10.0 °C

Fluid type Water

Circulating pump

Operating parameters

Piping system configuration

Production set

Reference Thermal plant




Boiler

Heating

☐ Rated capacity Sizing factor 1.00

Rated efficiency 0.55

Fuel type Biomass

Operating parameters

Performance curves

Performance curves By default

Boiler type Hot water boiler

Figur 7. Oppvarmingssystem

3. Utvikling av den rumenske utdanningsbygningen Case Study

3.1. BIM-modell av bygningen

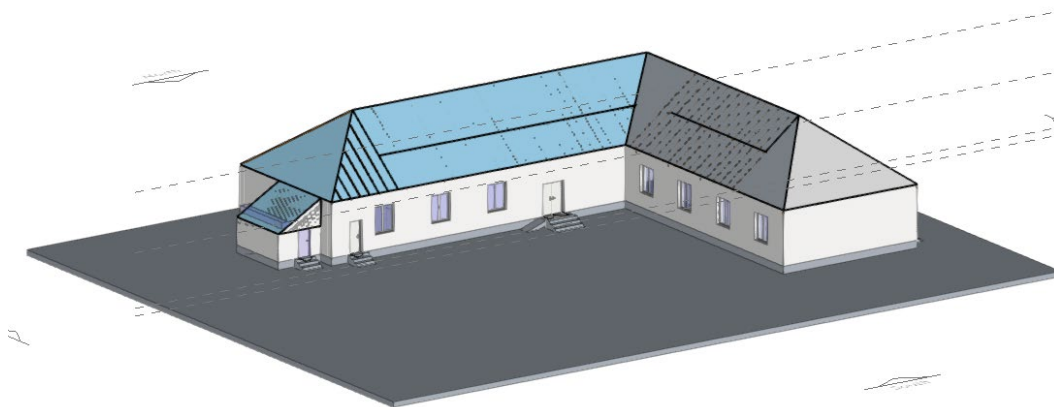
En bygningsinformasjonsmodell (BIM) for energianalyse er en digital representasjon av en bygning som integrerer både geometriske og semantiske data, noe som muliggjør detaljerte simuleringer av bygningens energiprestasjoner. I motsetning til en standard 3D-modell inneholder en BIM informasjon om materialer, termiske egenskaper, bruksplaner, belysningssystemer, VVS-utstyr og mer.

Når BIM brukes til energianalyse, fungerer den som et datarikt grunnlag som kan eksporteres til energisimuleringsprogramvare (EnergyPlus i denne casestudien). Dette gjør det mulig for energikonsulenter å evaluere varme- og kjølebehov, dagslys, termisk komfort og samlet energiforbruk.

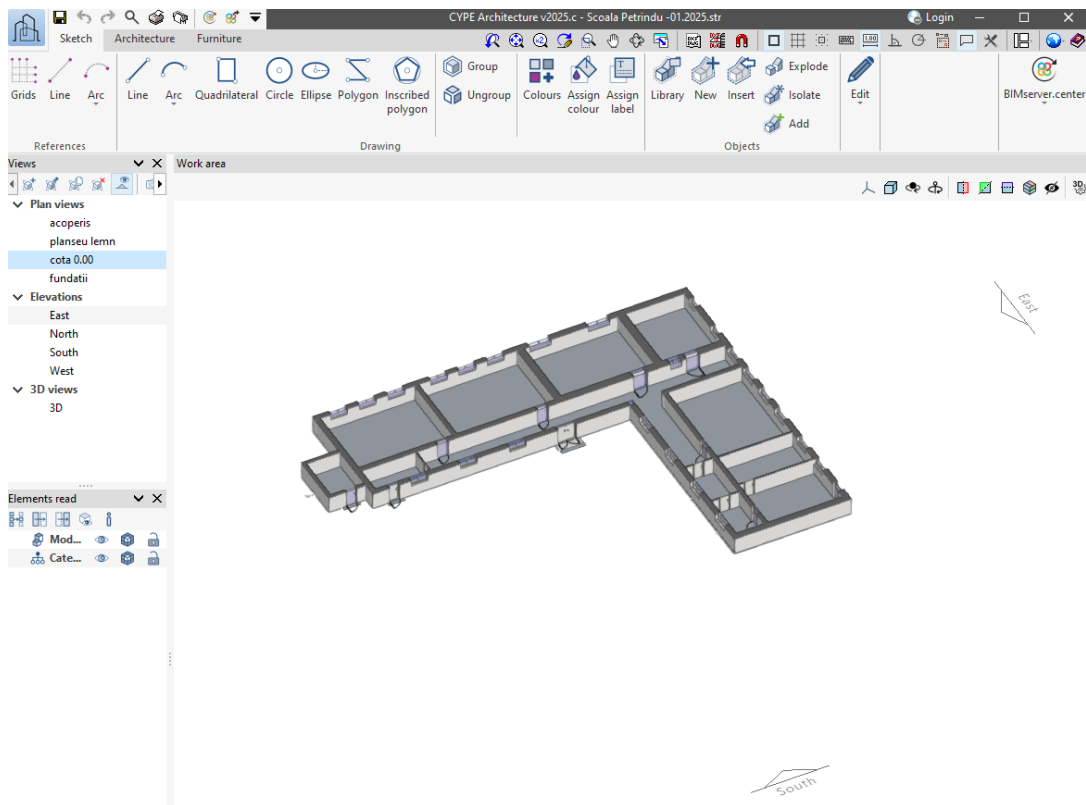
De viktigste fordelene er:

- Automatisert dataoverføring fra design til simulering
- Forbedret nøyaktighet takket være konsistente og detaljerte innspill
- Integrerte designarbeidsflyter mellom arkitekter, ingeniører og energianalytikere

Figurene nedenfor viser flere visninger av bygningens geometriske BIM-modell.



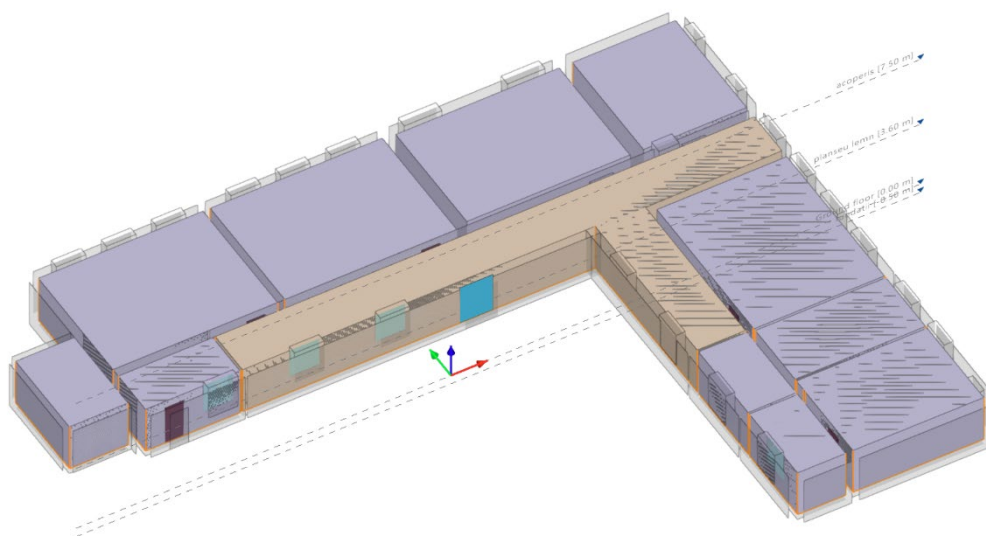
Figur 8. BIM-modell



Figur 9. Skoleplan i BIM-modell

3.2. Bygnings-BIM-modell

Den analytiske modellen av bygningen består av bygningens innvendige rom, som bygningens innvendige volum er delt inn i med sine egenskaper (romvolum, flater som eliminerer rommet ...).



Figur 10. Analytisk modell av bygningen

I dette arbeidet er bygningens innvendige rom gruppert i to forskjellige soner.

Disse sonene er:

Første etasje er det klimatiserte området av bygningen.

Felles sone er ikke beboelig område.

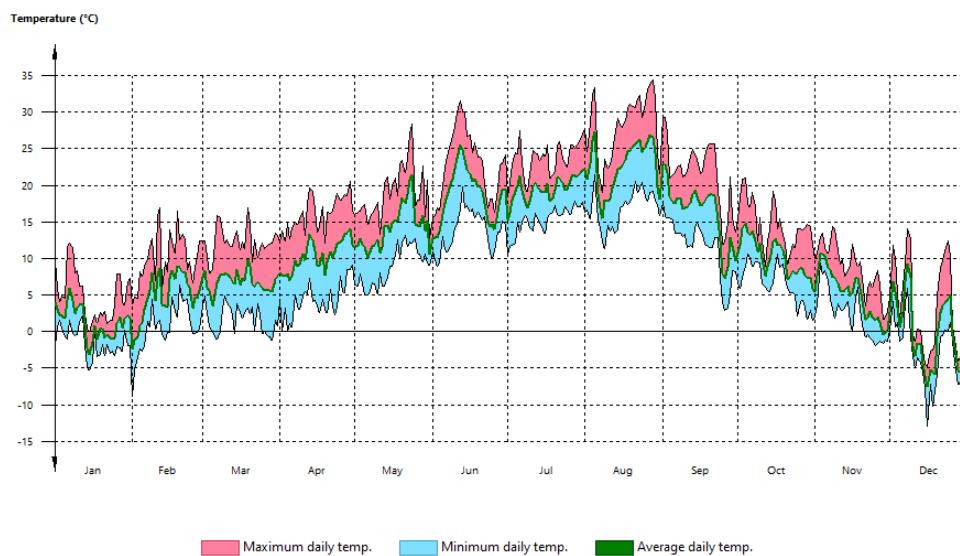
Ventilasjonen i den eksisterende bygningen består av naturlig ventilasjon.

Ventilasjonsbehovet som er lagt inn i modellen er **0,63 luftskift per time** for boliger, fellesarealer, kjøkken og bad.

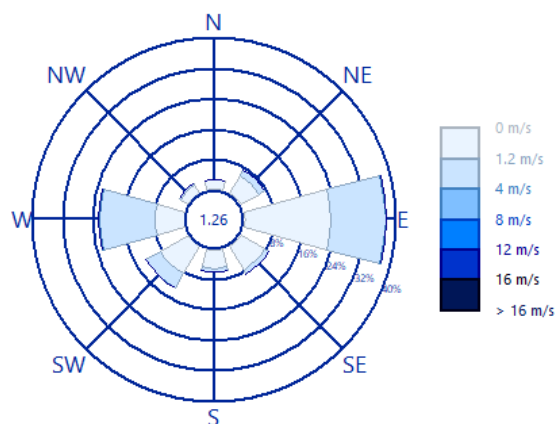
3.3. Klimason

Følgende data ble brukt i denne casestudien:

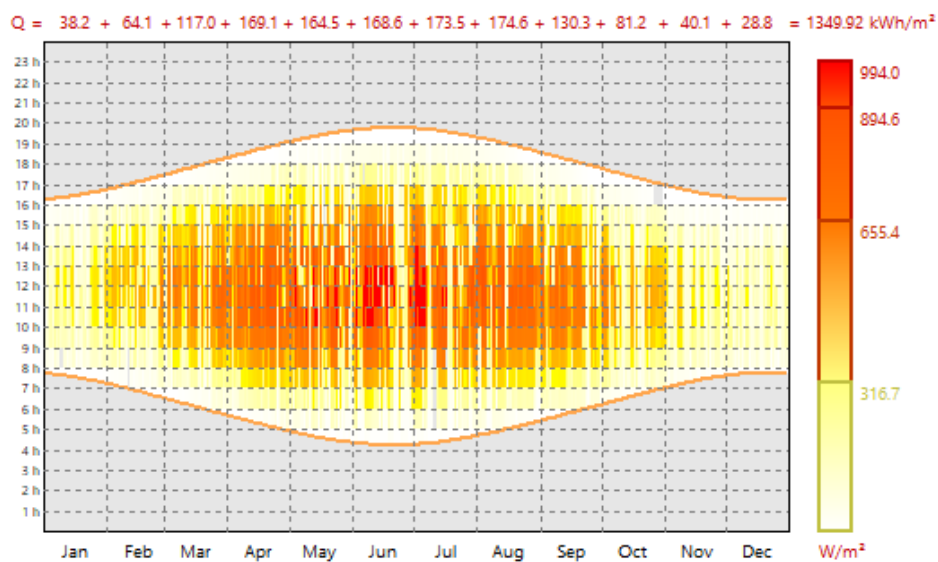
Utetemperatur



Vindfordeling



Global solinnstråling på en horisontal overflate



3.4. Driftsforhold for klimatiserte rom i bygningen

For energianalysen av bygningen er driftsforholdene for de klimatiserte rommene i bygningen brukt, med utgangspunkt i en typisk skoletid fra kl. 8 til 16, mandag til fredag.

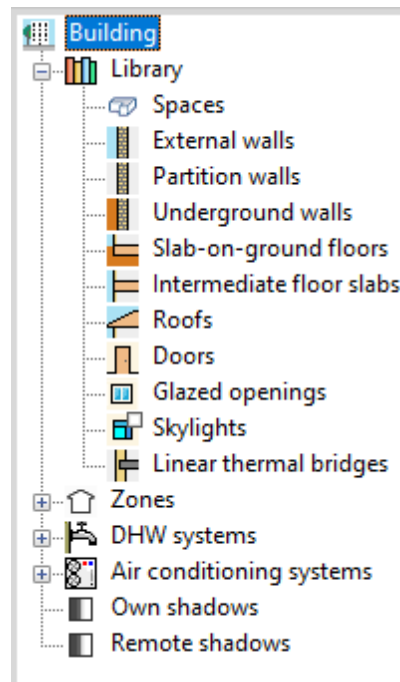
3.5. Bygningsenergimodell

En bygningsenergimodell er en detaljert digital simulering av en bygnings energibruk, laget for å analysere og forutsi energiprestasjonen. Den inkluderer innspill som bygningens geometri, orientering, byggematerialer, isolasjonsnivåer, VVS-systemer, belysning, bruksmønstre og lokale klimadata. Modellen bruker denne informasjonen til å beregne energiforbruket til oppvarming, kjøling, belysning, ventilasjon og stikkontaktbelastning over tid.

Denne modellen er viktig for:

- Evaluere designalternativer

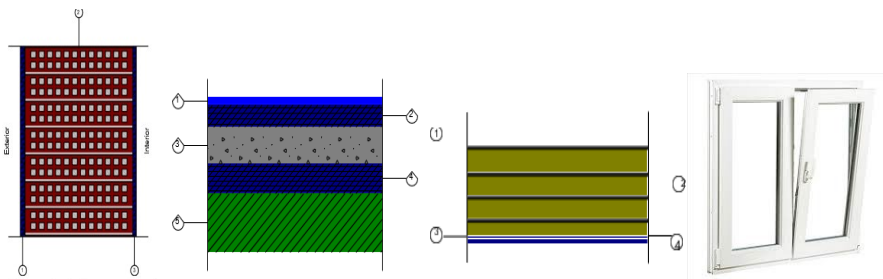
- Estimere energibesparelser
- Overholdelse av byggeforskrifter
- Støtte for sertifisering av miljøvennlige bygninger (f.eks. LEED, BREEAM)
- Utføre kostnads-nytte-analyse av energieffektiviseringstiltak



Figur 11. Noen komponenter i bygningsenergimodellen

3.6. Analyserte tilfeller. Beskrivelse

- **Tilfelle 0: Eksisterende/utgangssituasjon:** bygningskropp uten isolasjon, doble vinduer ($U=2,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), fyringsanlegg med fast brensel (ved) med lav virkningsgrad, radiatorer



Reference Heating











Hot-water system

Hot water production equipment

+     

Name
1 Thermal plant

Hot water distribution

Design parameters

Design setpoint temperature 82.0 °C

Design delta temperature 10.0 °C

Fluid type Water

Circulating pump

Operating parameters

Piping system configuration

Production set

Reference Thermal plant




Boiler

Heating

☐ Rated capacity Sizing factor 1.00

Rated efficiency 0.55

Fuel type Biomass

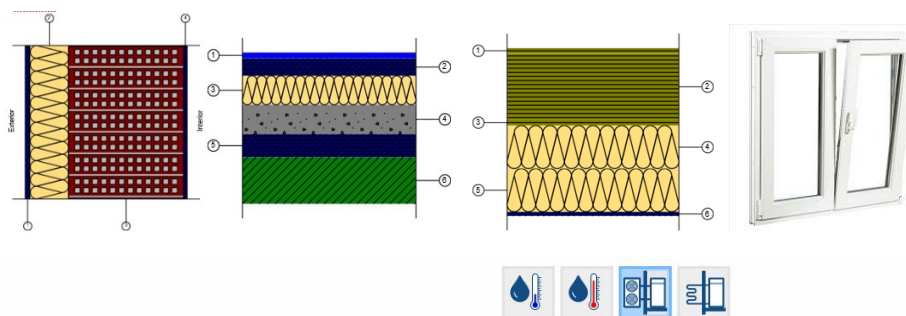
Operating parameters

Performance curves

Performance curves By default

Boiler type Hot water boiler

- Tilfelle 1: Forbedret** bygningskropp (isolasjon av yttervegger med 15 cm mineralull, øverste etasje med 30 cm mineralull og isolering av gulv med 10 cm ekstrudert polystyren, vinduer med trippelglass ($U=0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), luft-vann-varmepumpe, mekanisk ventilasjon, gulvvarme



Air-source heat pump



Login







Outdoor unit

Compact: 12 kW 400V (VWL 125/6 AS3)

Gross rated heating capacity: 11600 W
Gross rated heating COP: 4.71
Gross rated total cooling capacity: 7900 W
Gross rated cooling COP: 3.5

Hydraulic module

Equipment: MEH97/6

Heating

Design setpoint temperature 45.0 °C Design delta temperature 5.0 °C

☐ Cooling





Central ventilation system



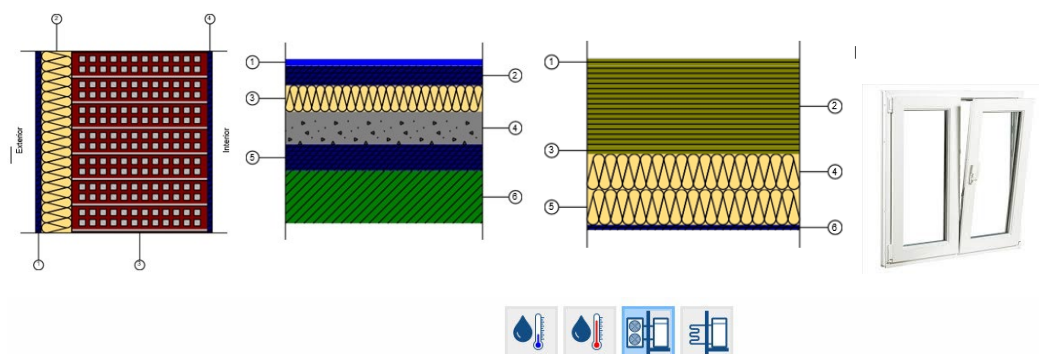
Heat recovery unit

Heat exchanger

Sensible effectiveness %

☐ Latent effectiveness

- Tilfelle 2: Forbedret klimaskjerm** (isolasjon av yttervegger med 10 cm mineralull, øverste etasje med 20 cm mineralull og isolering av gulv med 8 cm ekstrudert polystyren, vinduer med trippelglass), luftvann-varmepumpe, mekanisk ventilasjon, gulvvarme





Air-source heat pump



Outdoor unit

Hydraulic module

Compact: 12 kW 400V (VWL 125/6 AS3)

Equipment: MEH97/6

Gross rated heating capacity: 11600 W
Gross rated heating COP: 4.71
Gross rated total cooling capacity: 7900 W
Gross rated cooling COP: 3.5

Heating ☐ Cooling

Design setpoint temperature °C Design delta temperature °C



Central ventilation system



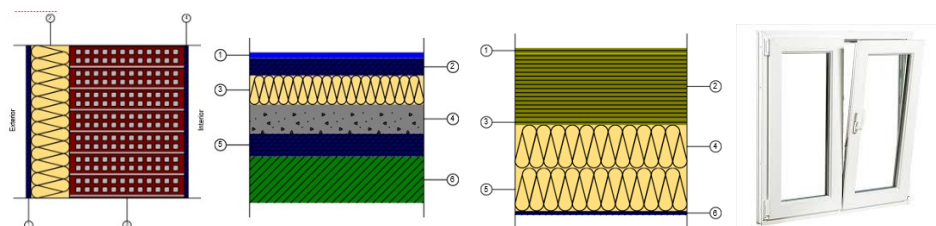
Heat recovery unit

Heat exchanger

Sensible effectiveness %

☐ Latent effectiveness

- Tilfelle 3: Forbedret klimaskjerm** (isolasjon av yttervegger med 15 cm mineralull, øverste etasje med 30 cm mineralull og isolering av gulv med 10 cm ekstrudert polystyren, vinduer med trippelglass, vann/grunnvannsvarmepumpe, mekanisk ventilasjon, gulvvarme)



Geothermal

Water to water heat pump

Heat pump: VWS 260/3 S1

Gross rated heating capacity: 24500 W
Gross rated heating COP: 4.4

Heating

Design setpoint temperature °C Design delta temperature °C

Central ventilation system

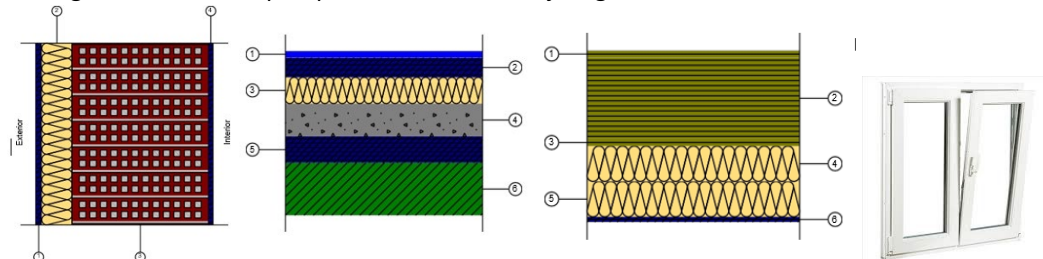
Heat recovery unit

Heat exchanger

Sensible effectiveness %

☐ Latent effectiveness

- Tilfelle 4: Forbedret klimaskjerm** (isolasjon av yttervegger med 10 cm mineralull, øverste etasje med 20 cm mineralull og isolering av gulv med 8 cm ekstrudert polystyren, vinduer med trippelglass, vann/grunnvannsvarmepumpe, mekanisk ventilasjon, gulvvarme)








Geothermal

Login



Water to water heat pump

Heat pump: VWS 260/3 S1

Gross rated heating capacity: 24500 W
 Gross rated heating COP: 4.4

Heating

Design setpoint temperature °C
 Design delta temperature °C







Central ventilation system




Heat recovery unit

Heat exchanger

Sensible effectiveness %
☐ Latent effectiveness

3.7. Resultater. Energiforbruk og energiklassifisering av eksisterende bygninger

I dette avsnittet og i det neste vises det årlige forbruket av sluttbruk, primærenergi og ikke-fornybar primærenergi tilsvarende de ulike tekniske tjenestene i bygningen for bygningens utgangssituasjon og for de fire alternativene for å forbedre energiprestasjonen. Forbruket til oppvarming og kjøling inkluderer strømforbruket til tilleggsutstyret til klimaanleggene.

I tillegg vises energiklassifiseringen for de studerte tilfellene (utgangssituasjon og de fire forbedringsalternativene). Denne klassifiseringen er beregnet i henhold til spanske standarder med hensyn til tilsvarende klimason: E1

For å klargjøre begreper, innføres noen definisjoner her:

Totalt primærenergiforbruk.

Totalt primærenergiforbruk i sammenheng med en energieffektivitetsanalyse av bygninger refererer til den totale mengden energi fra alle kilder (som elektrisitet, gass, olje eller fornybare energikilder) som er nødvendig for å drive bygningen, inkludert energien som brukes til å produsere og levere denne energien.

Mer spesifikt:

- «Primærenergi» betyr energi i sin opprinnelige, rå form – før den omdannes til elektrisitet eller varme. For eksempel kull, naturgass, råolje eller sollys.
- Dette inkluderer **energi som brukes på stedet** (som gass til oppvarming) og **omdannet energi** (som elektrisitet), men det tar også hensyn til **tap som oppstår under produksjon, overføring og distribusjon**.

Totalt primærenergiforbruk forteller deg altså hvor mye rå energi som til slutt er nødvendig for å drive bygningen, og gir et fullstendig bilde av dens miljøpåvirkning.

Primærenergiforbruk av ikke-fornybar opprinnelse.

Primærenergiforbruk av ikke-fornybar opprinnelse refererer til den **totale mengden ikke-fornybar primærenergi** som brukes til å drive en bygning, inkludert:

- **Fossile brensler:** kull, naturgass og olje
- **Kjerneenergi**
- **Alle andre ikke-fornybare energikilder**

Denne målingen inkluderer:

- Energi **som brukes direkte på stedet**, for eksempel naturgass til oppvarming
- Energi **som brukes indirekte**, for eksempel elektrisitet produsert fra kull eller gass (inkludert tap fra produksjon og overføring)

Energiforbruk på forbruksstedet (sluttforbruk).

Energiforbruk på forbruksstedet, også kjent som **sluttforbruk**, refererer til **mengden energi som faktisk brukes av bygningen** til ulike funksjoner, for eksempel:

- **Oppvarming**
- **Kjøling**
- **Belysning**
- **Varmt vann**
- **Hvitevarer og utstyr**

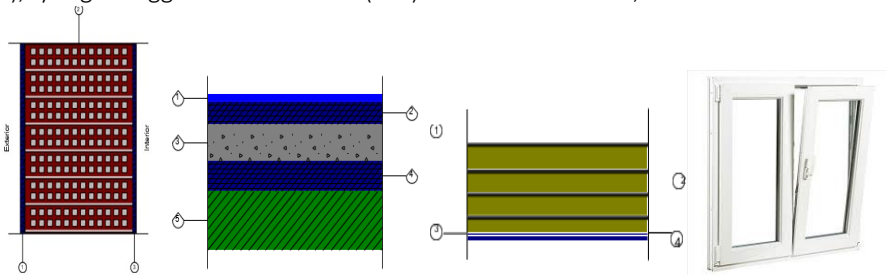
Dette er **energien som leveres til bygningen** og **måles på måleren**, for eksempel strømmregninger eller gassforbruk. Det **inkluderer ikke energitap** som oppstår under produksjon, konvertering eller overføring (som er inkludert i primærenergi).

Oppsummert:

- **Sluttbruk av energi** = Energi som brukes **inne i bygningen**, slik det oppleves av brukeren.
- **Primærenergi** = Sluttbruk av energi **pluss tap oppstrøms** (f.eks. kraftverkseffektivitet, tap i overføringsnett)

).

- **Tilfelle 0: Eksisterende/utgangsscenario:** bygningskropp uten isolasjon, doble vinduer ($U=2,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), fyringsanlegg med fast brensel (ved) med lav effektivitet, radiatorer





Reference Heating

Hot-water system

Hot water production equipment

1 Thermal plant

Hot water distribution

Design parameters

Design setpoint temperature 82.0 °C

Design delta temperature 10.0 °C

Fluid type Water

Circulating pump

Operating parameters

Piping system configuration

Production set

Reference Thermal plant

Boiler

Heating

☐ Rated capacity Sizing factor 1.00

Rated efficiency 0.55

Fuel type Biomass

Operating parameters

Performance curves

Performance curves By default

Boiler type Hot water boiler

Energiforbruk til tekniske tjenester i bygningen

BYGNING (Su= 332,39 m²)

Technical Services	EF		EP _{tot}		EP _{nnr}	
	(kWh/year)	(kWh/m²·year)	(kWh/year)	(kWh/m²·year)	(kWh/year)	(kWh/m²·year)
Heating	103602.76	311.69	113279.19	340.81	11951.31	35.96
DHW	20969.03	63.09	49654.65	149.39	40973.36	123.27
Lighting	4286.70	12.90	10150.77	30.54	8376.16	25.20
	128858.49	387.68	173084.94	520.73	61301.16	184.43

hvor:

Su: Brukbar boareal inkludert i termisk klimaskjerm, m².

EF: Endelig energiforbruk ved teknisk service på forbruksstedet.

EP_{tot}: Totalt primærenergiforbruk.

EP_{nnr}: Primærenergiforbruk av ikke-fornybar opprinnelse.

Endelig energiforbruk i bygningen. Månedlige resultater.

		Jan (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Apr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Aug (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dec (kWh)	Year (kWh/year) kWh/m²·year)	
BUILDING (= 332.39 m²)															
Energy demand	Heating	9963.9	8723.8	6980.1	3377.9	1389.0	571.1	816.3	530.6	2432.6	4407.4	7810.9	10240.2	57243.9	172.2
	DHW	1700.8	1536.2	1700.8	1645.9	1700.8	1645.9	1700.8	1700.8	1645.9	1700.8	1645.9	1700.8	20025.5	60.2
	TOTAL	11664.7	10260.0	8680.9	5023.9	3089.8	2217.0	2517.1	2231.4	4078.5	6108.2	9456.8	11941.0	77269.3	232.5
Biomass	Heating	17775.8	15547.7	12259.6	5646.4	2047.6	771.2	1113.3	566.5	3627.8	7549.0	13821.7	18286.0	99212.7	298.5
	Cooling	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	DHW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Electricity	Heating	443.5	400.6	443.5	395.2	328.7	177.6	248.0	253.6	428.3	398.5	429.2	443.5	4390.1	13.2
	Cooling	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	DHW	1780.9	1608.6	1780.9	1723.5	1780.9	1723.5	1780.9	1780.9	1723.5	1780.9	1723.5	1780.9	20969.1	63.1
Electricity	Ventilation	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Humidity control	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Lighting	503.0	437.4	481.2	459.3	503.0	459.3	—	—	—	503.0	481.2	459.3	4286.7	12.9
Cef _{tot}		20503.3	17994.2	14965.2	8224.3	4660.3	3131.6	3142.2	2601.1	5979.6	10231.5	16455.5	20969.7	128858.6	387.7

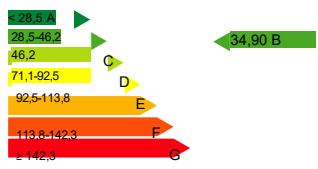
hvor:

Su: *Brukbar boareal inkludert i termisk klimaskjerm, m².*
Cef_{tot}: *Energiforbruk ved forbruksstedet (sluttforbruk), kWh/m²-år.*

Energiklassifisering av bygningen: Utgangssituasjon/eksisterende bygning.

Klimasone	E1	Bruk	Annen bruk
------------------	----	-------------	------------

1. ENERGIKLASSIFISERING AV BYGNINGEN I TERMER AV UTSLIPP

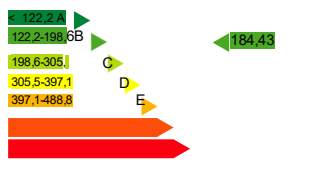
SAMLET INDIKATOR	DELINDIKATORER	
	OPPVARMING	VARMTVANN
	Varmeutslipp [kgCO ₂ /m ² -år].	Varmtvannsutsli pp [kgCO ₂ /m ² - år].
	9,74	20,88
Globale utslipp [kgCO ₂ /m ² -år]	KJØLING	BELYSNING
	Kjøleutslipp [kgCO ₂ /m ² -år].	Belysningsutslip pp [kgCO ₂ /m ² - år].
	0	4

Den samlede vurderingen av bygningen uttrykkes i form av karbondioksidutslipp til atmosfæren som følge av bygningens energiforbruk.

	kgCO ₂ /m ² -år	kgCO ₂ -år
CO ₂ -utslipp fra strømforbruk	29	9812
CO ₂ -utslipp fra andre drivstoff	5,3	1785,8

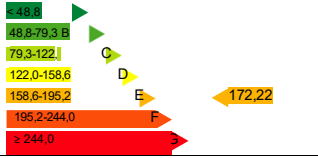
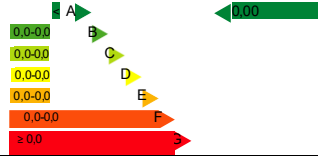
2. ENERGIKLASSIFISERING AV BYGNINGEN UT FRA FORBRUK AV IKKE-FORNYBAR PRIMÆRENERGI

Ikke-fornybar primærenergi betyr energi som forbrukes av bygningen fra ikke-fornybare kilder som ikke har gjennomgått noen omdannelses- eller transformasjonsprosess.

OVERORDNET INDIKATOR	DELINDIKATORER	
	OPPVARMING	Varmtvann
	Primærenergi oppvarming [kWh/m ² -år]	Primærenergi DHW [kWh/m ² -år]
	35,96	123,27
Totalt forbruk av ikke-fornybar primærenergi [kWh/m ² -år] ¹	KJØLING	BELYSNING
	Primærenergi til kjøling [kWh/m ² -år].	Primærenergi til belysning [kWh/m ² - år].
	0	25

3. DELVIS VURDERING AV ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING OG KJØLING

Behovet for oppvarming og kjøling er den energien som kreves for å opprettholde komforten inne i bygningen.

OPPVARMINGSBehov	KJØLEBEHOV
	
Oppvarmingsbehov [kWh/m ² -år].	Kjølebehov [kWh/m ² -år].

¹ Den globale indikatoren er resultatet av summen av delindikatorerne pluss verdien av indikatoren for tilleggsforbruk, hvis aktuelt (kun tertiære bygninger, ventilasjon, pumping osv.). Egenforbruk av elektrisitet trekkes kun fra den globale indikatoren, ikke fra delverdiene.