

2018:00043 - Åpen

Rapport

ZEB Flexible Laboratory

Sluttrapport Enova konseptutredning

Forfattere

Terje Jacobsen – SINTEF Byggforsk, Inger Andresen – NTNU



SINTEF Byggforsk

Admin Arkitektur, byggematerialer og konstruksjoner

2018-01-15

SINTEF Byggforsk

Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 73593000

info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

Rapport

ZEB Flexible Laboratory

Sluttrapport Enova konseptutredning

EMNEORD:Utredning
Bærekraftig utvikling
Nullutslippsbygg
Kontor-
undervisningsbygg**VERSJON**

Versjonsnummer

DATO

2018-01-15

FORFATTER(E)

Terje Jacobsen – SINTEF Byggforsk, Inger Andresen – NTNU

OPPDRAGSGIVER(E)

Enova

OPPDRAGSGIVERS REF.

16/8081, Katrine Fagerli

PROSJEKTNR

102013970-601

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

29+ vedlegg

SAMMENDRAG**ZEB Flexible Laboratory - konseptutredning**

Overgang til energieffektive bygg er blant de mest lønnsomme tiltakene for å redusere utslipp av klimagasser. Et nullutslippsbygg skal i løpet av sin levetid generere mer energi enn det bruker, og det skal ikke bidra til klimagassutslipp mens det er i drift eller når materialene produseres og transporteres. ZEB Flexible Lab skal være et nullutslippsbygg. Det planlagte konseptet for bygget inneholder flere innovative løsninger som har stort potensiale for overføring til andre bygg:

- Nye arbeidsplassløsninger
- Nye styringssystemer for alle tekniske systemer med posisjonering og interaksjon fra brukere
- Flere typer innovative ventilasjonskonsepter
- Ny type termisk energilagring
- Innovativt varmepumpesystem som benytter 3 ulike kilder for overskuddsvarme
- Nytt konsept for kombinert solcellesystem og termisk solfanger
- To nye typer BIPV-systemer for integrering av solcellemoduler i bygninger

UTARBEIDET AV

Terje Jacobsen

SIGNATUR

[sign]

KONTROLLERT AV

Berit Time

SIGNATUR

[sign]

GODKJENT AV

Jonas Holme

SIGNATUR

[sign]

RAPPORTNR

2018:00043

ISBN

978-82-14-06659-3

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
v-1	2018-01-15	

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	4
1 Søker	5
2 Prosjektet	5
2.1 Bakgrunn for prosjektet	5
2.2 Gjennomføringsprosess og involverte partnere	6
3 Teknologi	8
3.1 Referanse og målsetning energi/klimagassutslipp	8
3.2 Bygningskropp.....	8
3.3 Tekniske systemer og energiforsyning.....	9
3.4 Ventilasjonsanlegg	9
3.5 Varmeanlegg	11
3.6 Kjøleanlegg.....	13
3.7 Termisk energilagring.....	13
3.8 Kombinert solcelle- og soltermiske anlegg – PV/T-system	15
3.9 Belysning	16
3.10 Styring og automasjon	17
3.11 Energiresultat.....	19
3.12 Prosjektkostnader	21
4 Løsningens/teknologiens markedspotensial	22
5 Spredning, kompetanseformidling og kunnskapsgenerering	23
6 Risiko og risikodempende tiltak	24
7 Oppsummering – beslutningsprosess	24
8 Prosjektøkonomi for konseptutredningen	25
9 Kilder	25
A.1 Sentrale forutsetninger og føringer til prosjekt.....	26
A.1.1 Bygg	26
A.1.2 Vinduer, fast/åpningsbare, solavskjerming og glass.	26
A.2 Ensiders sammendrag med figurer	28
ZEB Flexible Laboratory	28

Sammendrag

Overgang til energieffektive bygg er blant de mest lønnsomme tiltakene for å redusere utslipp av klimagasser. Et nullutslippsbygg skal i løpet av sin levetid generere mer energi enn det bruker, og det skal ikke bidra til klimagassutslipp mens det er i drift eller når materialene produseres og transporteres. ZEB Flexible Lab skal være et nullutslippsbygg

SINTEF og NTNU har vunnet frem med en søknad til Forskningsrådet i søknadsrunden om nye prosjekter i Nasjonal satsing på forskningsinfrastruktur.

Målet med forskningsinfrastrukturen er todelt:

- Bygningen skal være et fleksibelt levende laboratorium – denne delen medfinansieres av Norges forskningsråd.
- Bygningen skal være et nullutslippsbygg – denne delen finansieres av NTNU og SINTEF (50 % hver).

ZEB Flexible Lab har følgende målsetting:

- Et laboratorium for utvikling av internasjonal konkurransedyktig industri
- Et laboratorium for kunnskapsgenerering på høyt internasjonalt nivå
- En forskningsarena for utvikling av nullutslippsbygg
- En arena for reduksjon av risiko når man implementerer løsninger for nullutslippsbygg
- En nasjonal ressurs for alle forskningsorganisasjonene innen området
- En nasjonal arena for undervisning og demonstrasjon av teknologi som kan benyttes i plusshus og nullutslippsbygg.

SINTEF har sammen med NTNU i lengre tid satset på å utvikle kunnskap om hvordan vi kan redusere energibruken samtidig som vi tar klima- og miljøhensyn. ZEB (The Research Centre on Zero Emission Buildings) er et eksempel på et stort og vellykket FME-prosjekt der SINTEF og NTNU sammen med gode partnere har oppnådd gode resultater. Vi er nå i gang med et nytt FME The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (ZEN Centre). Bygget vil være et sentralt element i forskningssenteret ZEN; både nullutslippsbygget i seg selv og koblingen til termisk og elektrisk grid lokalt. Det planlagte konseptet for bygget inneholder flere innovative løsninger som har stort potensiale for overføring til andre bygg:

- Nye arbeidsplassløsninger
- Nye styringssystemer for alle tekniske systemer med posisjonering og interaksjon fra brukere
- Flere typer innovative ventilasjonskonsepter
- Ny type termisk energilagring
- Innovativt varmepumpesystem som benytter 3 ulike kilder for overskuddsvarme
- Nytt konsept for kombinert solcellesystem og termisk solfanger
- To nye typer BIPV-systemer for integrering av solcellemoduler i bygninger basert på både «høyeffektive standard» monokrystallinske paneler med kjøling og skreddersydde fargede fasadeløsninger.

1 Søker

SINTEF ved sitt forskningsinstitutt SINTEF Byggforsk står som søker for konseptutredningsprosjektet.

Byggeprosjektet gjennomføres i et likeverdig samarbeid med NTNU.

Det omsøkte nybygget, kategori "universitets og høyskolebygg", vil eies av NTNU og SINTEF med like eierandeler.

SINTEF har sammen med NTNU i lengre tid satset på å utvikle kunnskap om hvordan vi kan redusere energibruken samtidig som vi tar klima- og miljøhensyn. ZEB (The Research Centre on Zero Emission Buildings) er et eksempel på et stort og vellykket FME-prosjekt der SINTEF og NTNU sammen med gode partnere har oppnådd gode resultater. Vi er nå i gang med et nytt FME The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (ZEN Centre).

2 Prosjektet

2.1 Bakgrunn for prosjektet

SINTEF og NTNU har vunnet frem med en søknad til Forskningsrådet i søknadsrunden om nye prosjekter i Nasjonal satsing på forskningsinfrastruktur; ZEB Flexible Lab. Bygget, ZEB Flexible Lab vil være et sentralt element i forskningssenteret ZEN; både nullutslippsbygget i seg selv og koblingen til termisk og elektrisk grid lokalt.

Målet med forskningsinfrastrukturen er todelt:

- Bygningen skal være et fleksibelt levende laboratorium – denne delen medfinansieres av Norges forskningsråd.
- Bygningen skal være et nullutslippsbygg – denne delen finansieres av NTNU og SINTEF (50 % hver). Det er denne delen vi søker om midler til fra Enova.

Bygget skal ligge i Høgskoleringen 11 på Gløshaugen nær NTNUs og SINTEFs byggetekniske laboratorier.

ZEB Flexible Lab har følgende målsetting:

- Et laboratorium for utvikling av internasjonal konkurransedyktig industri
- Et laboratorium for kunnskapsgenerering på høyt internasjonalt nivå
- En forskningsarena for utvikling av nullutslippsbygg
- En arena for reduksjon av risiko når man implementerer løsninger for nullutslippsbygg
- En nasjonal ressurs for alle forskningsorganisasjonene innen området
- En nasjonal arena for undervisning og demonstrasjon av teknologi som kan benyttes i plussus og nullutslippsbygg.

2.2 Gjennomføringsprosess og involverte partnere

Utviklingen av bygget gjøres som en samspillprosess med NTNU og SINTEF som eiere og drivere av prosjektet.

NTNU:

Prosjektleder: professor Arild Gustavsén, arild.gustavsén@ntnu.no

Prosjektansvarlig: dekan Olav Bolland, olav.bolland@ntnu.no

SINTEF:

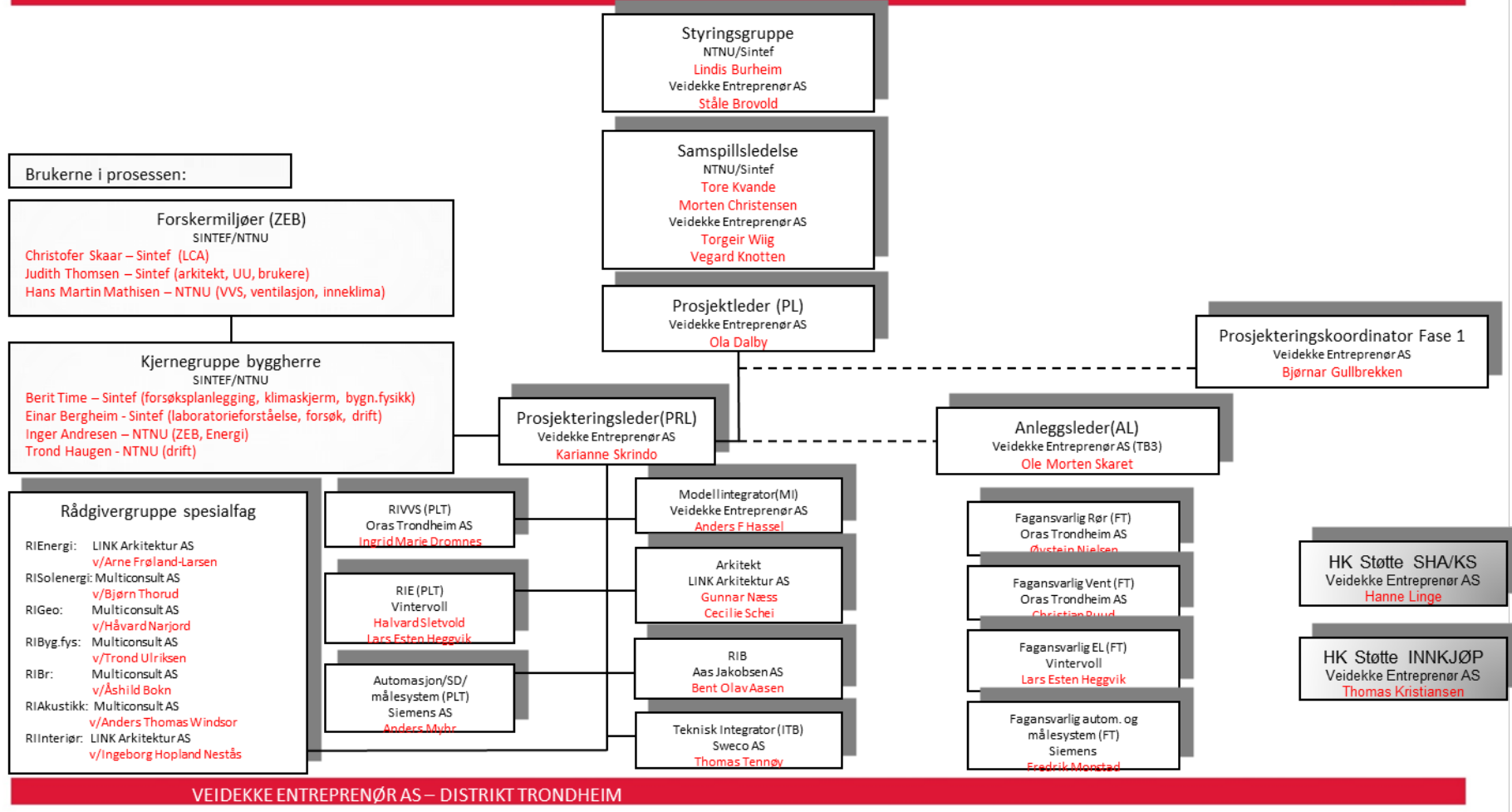
Prosjektleder: forskningsdirektør Terje Jacobsen, Terje.jacobsen@sintef.no

Prosjektansvarlig: konserndirektør Hanne Rønneberg, hanne.ronneberg@sintef.no

Eksterne partnere i samspillprosjektet:

Hoved-/totalentreprenør er Veidekke Entreprenør AS, tekniske entreprenører er Oras Trondheim AS og Vintervoll AS, arkitekt og energirådgiver er Link Arkitekter, rådgiver for diverse fag er Multiconsult ASA, automasjon/SD/målesystem (PLT): Siemens AS. Jfr. organisasjonsplan på neste side.

Organisasjonsplan ZEB Flexible Lab, fase 1



3 Teknologi

3.1 Referanse og målsetning energi/klimagassutslipp

Målsetningen for bygget er ZEB-COM nivå, det vil si at energibruken og klimagassutslipp fra materialer og bygging skal reduseres så mye som mulig, og i tillegg skal bygget produsere så mye fornybar energi at det kompenserer for alle utslippene fra oppføring (Construction), drift (Operation), og materialbruk (Materials). En nærmere beskrivelse av kriterier og regneregler for ZEB-COM nivå kan finnes i ZEB prosjektrapport 29-2016, <https://www.sintefbok.no/book/download/1092>. I Norge er det foreløpig kun ett bygg som har oppnådd ZEB-COM standard, og det er administrasjonsbygget på Campus Evenstad.

Referansen er et bygg bygget etter gjeldende minstekrav i teknisk forskrift.

3.2 Bygningskropp

Det legges til grunn en godt isolert bygningskropp med minimering av luftlekkasjer. Tabellen under viser omtrentlige U-verdier som er planlagt. Alle U-verdiene gjelder som et gjennomsnitt for hele bygningen, f.eks. kan en litt høy U-verdi i en type yttervegg kompenseres med en litt bedre U-verdi i en annen yttervegg.

U-verdiene skal gjenspeile virkelig oppbygning og utførelse av bygningsdelene, bl.a. med hensyn til treandel, varmekonduktivitet, gjennomsnittlige isolasjonstykkelser, etc. Det skal derfor gjennomføres nøyaktige beregninger når oppbygning og materialbruk er nærmere bestemt. Nødvendig isolasjonstykkelse avhenger bl.a. av materialkvaliteter (f.eks. stendertype og isolasjonskvalitet). Reduserte isolasjonstykkelser kan kompenseres med bruk av spesielle isolasjonssystemer og isolasjonstyper med spesielt lav varmekonduktivitet, f.eks. vakuumisolasjon.

I tillegg til kravene til U-verdi skal det legges til grunn god kuldebrytning, og en normalisert kuldebroverdi på høyst $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ (minstekrav iht. passivhusstandarden NS 3701). Vi har erfaring med at det kan være vanskelig å oppnå en så lav normalisert kuldebroverdi. Det skal derfor generelt sett legges til grunn minst 150 mm kuldebrytning. Dersom det i spesielle tilfeller er vanskelig å oppnå tilfredsstillende tykkelse på kuldebrytningen, kan det vurderes bruk av isolasjonsprodukter med særlig lav varmekonduktivitet, f.eks. vakuumisolasjon eller varianter av aerogel-isolasjon. Beregninger av normalisert kuldebroverdi gjøres i detaljfasen når tilstrekkelig grunnlag (detaljtegninger og mengder) er utarbeidet. Bærekonstruksjonen legges på innsiden av isolasjonssjiktet.

Tabell 1. Gjennomsnittlige U-verdier for bygningskropp, pr. september 2017.

	Yttervegg	Tak	Gulv	Vindu og dør inkl. karm/ramme
TEK17 Minstekrav	U-verdi ≤ 0,22 W/m ² K	U-verdi ≤ 0,18 W/m ² K	U-verdi ≤ 0,18 W/m ² K	U-verdi ≤ 1,2 W/m ² K
Passivhusstandard (NS 3701) Minstekrav	-	-	-	U-verdi ≤ 0,8 W/m ² K
ZEB Flexible lab Energiberegninger per sep. 2017	U-verdi ≤ 0,16 W/m ² K Isolasjonstykkelse 250-300 mm	U-verdi ≤ 0,1 W/m ² K Isolasjonstykkelse 450-500 mm	U-verdi ≤ 0,1 W/m ² K Isolasjonstykkelse ca. 250 mm	U-verdi ≤ 0,8 W/m ² K 3-lags glassruter med meget gode karm

Minstekravet til lekkasjetall er iht. TEK 17 og NS 3701 hhv. 1,5 og 0,6 luftvekslinger per time (h⁻¹) ved 50 Pa trykkforskjell. De siste årene har det vært et høyt fokus på lufttetthet, og et lekkasjetall på 0,6 h⁻¹ anses i dag som fullt oppnåelig. I energiberegningene er det derfor foreløpig lagt til grunn et lekkasjetall på 0,3 h⁻¹, altså halvparten av kravet i NS 3701. Det skal prosjekteres løsninger som er robuste og byggbare, og som sikrer at man oppnår et så lavt lekkasjetall. Dette forutsetter at det holdes et høyt fokus på lufttetthet i den videre prosjekteringsfasen og i utførelsesfasen. Dokumentasjon av byggets lekkasjetall skal ved ferdigstilling gjøres i henhold NS-EN ISO 9972:2015, og dokumenteres i en egen rapport. Det bør samtidig gjennomføres termografering for å avdekke eventuelle termiske uregelmessigheter i bygningens klimaskjerm, jf. NS-EN 13187.

3.3 Tekniske systemer og energiforsyning

Det legges opp til mulighet for lavtemperatur vannbåren oppvarming med radiatorer plassert langs innervegger i byggets kjerne som et supplement til oppvarming med ventilasjonsluft. Distribusjons- og romvirkningsgrad vil derfor bli meget høye, men vi har foreløpig ikke gjort beregninger av dette, så standardverdier fra NS 3031:2014 er benyttet:

Tabell 2: Mål for Distribusjonsvirkningsgrad og romvirkningsgrad.

Type energikilde	Distribusjonsvirkningsgrad	Romvirkningsgrad
Romoppvarming	0,96	0,92
kommentar	Tab B.10-4, vannbåren, lavtemperatur Θ<35°C	Tab B.11-3, radiator, turtemp <45°C

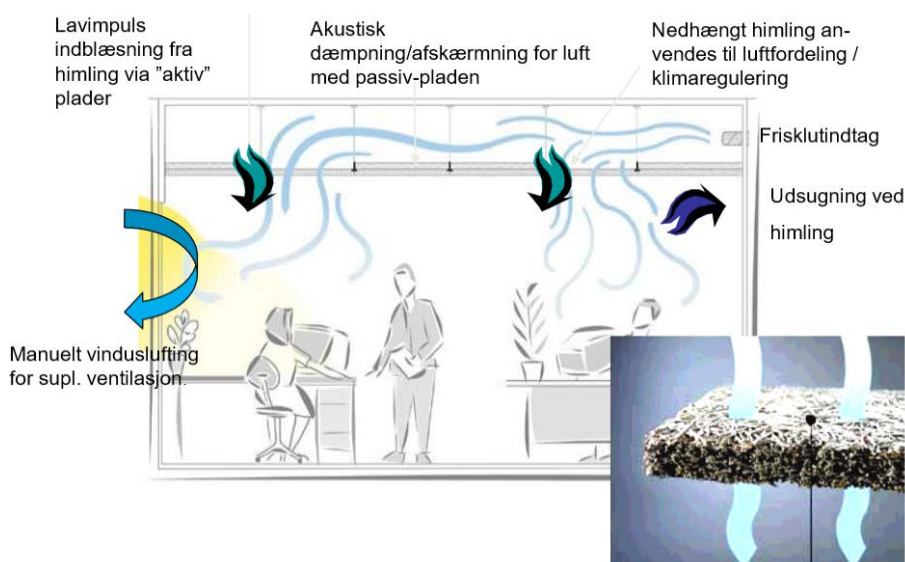
3.4 Ventilasjonsanlegg

Overordnede mål for ventilasjonssystemet er:

- Høy fleksibilitet i bruk av arealene
- Lavest mulig energibruk
- Redusere bruken av «strømtyver»
- Ulike systemer og produkter skal vises frem
- Gi et godt inn klima (Inneklimaklasse 2 NS 15251)

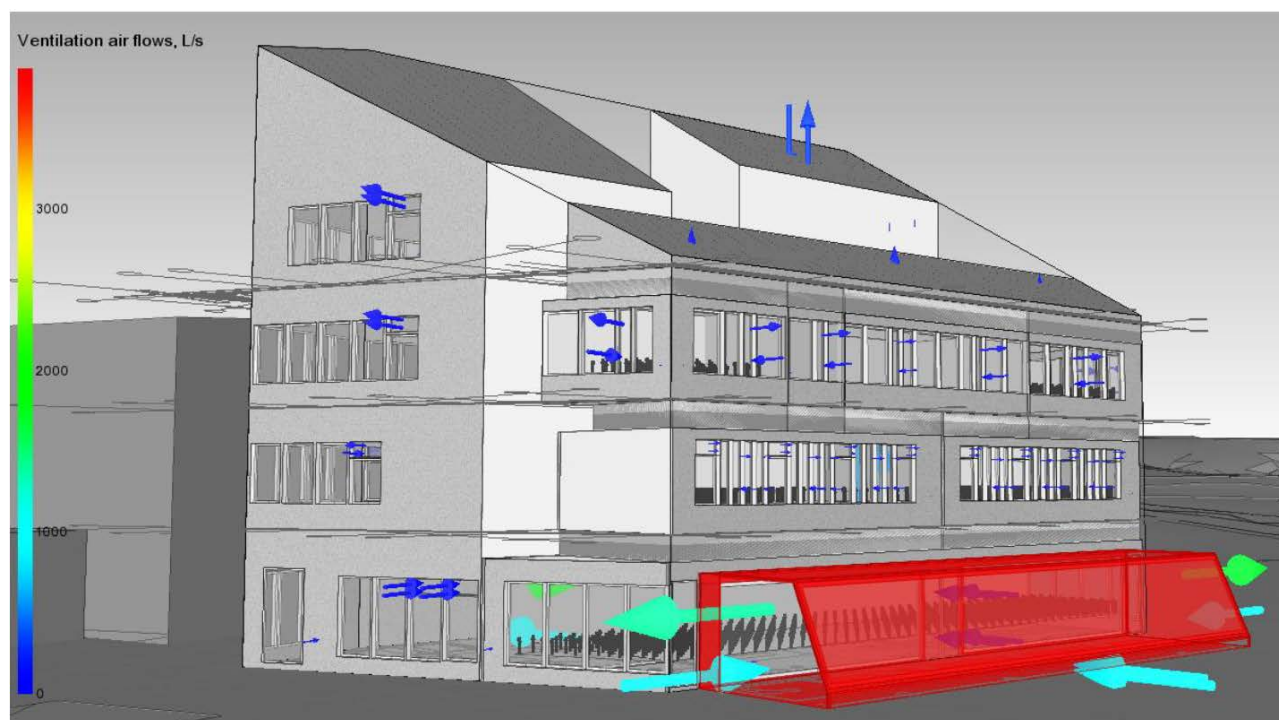
- Redusere effekttopper
- Uttesting og utvikling av nye og innovative ventilasjonsstrategier

Det er planlagt et hybrid ventilasjonssystem med 5 ulike ventilasjonsprinsipper, alle basert på fortreningsventilasjon, dette for å teste ut flere nye og innovative løsninger, og sammenligne dem med hverandre under ulike driftsforhold (ulike arbeidsplassløsninger, uteklima, og krav til inneklima). I første etasje er det tenkt tilluft via datagulv, for å utnytte den termiske massen i betonggulvet til passiv kjøling. I plan 2 og 3 er det etasjeskillere i tre, så her er det tenkt tilluft via plenumsammer i himling på to ulike måter: I plan 2 er det tenkt tilluft via himlingsplater (type Troltek), som gir et meget fleksibelt system, se figur 1. I plan 3 er det tenkt en ny type spalteventiler, også plassert i himling for tilluft via plenumsammer. Disse vil bli utviklet i samarbeid med leverandør (Trox Auranor). I plan 4 er det undervisningsarealer med stor takhøyde, her vil det bli tilluft via don langs veggene, muligens integrert i gulvet.



Figur 1. Prinsipp for lavimpuls innblåsning fra himling gjennom aktive plater, bygningsteknisk trykkammer over himling, trykksatt med 10-15Pa. Luftmengden bestemmes etter antall aktive plater.

Det 5. ventilasjonsprinsippet er naturlig ventilasjon med inntak dels via automatisk styrte vinduer/luker (motorstyrte type Windowmaster), dels via manuelle åpningsbare vinduer. Avtrekk går dels via trappeløp som går gjennom alle etasjene, og dels via sentral sjakt som dimensjoneres for lavt trykfall. Dette benyttes først og fremst i sommerhalvåret som frisklufttilførsel og passiv kjøling, se figur 2. Det planlegges også å teste ut ulike strategier for bruk av naturlig ventilasjon ved ulike ute- og innetemperaturer gjennom hele året og sammenholde dette med målinger av termisk komfort og luftkvalitet, samt måling av ventilasjonseffektivitet og energibruk.



Figur 2. Illustrasjon av luftbevegelser en varm dag i august. Kilde: Arne Førland Larsen, LINK arkitektur.

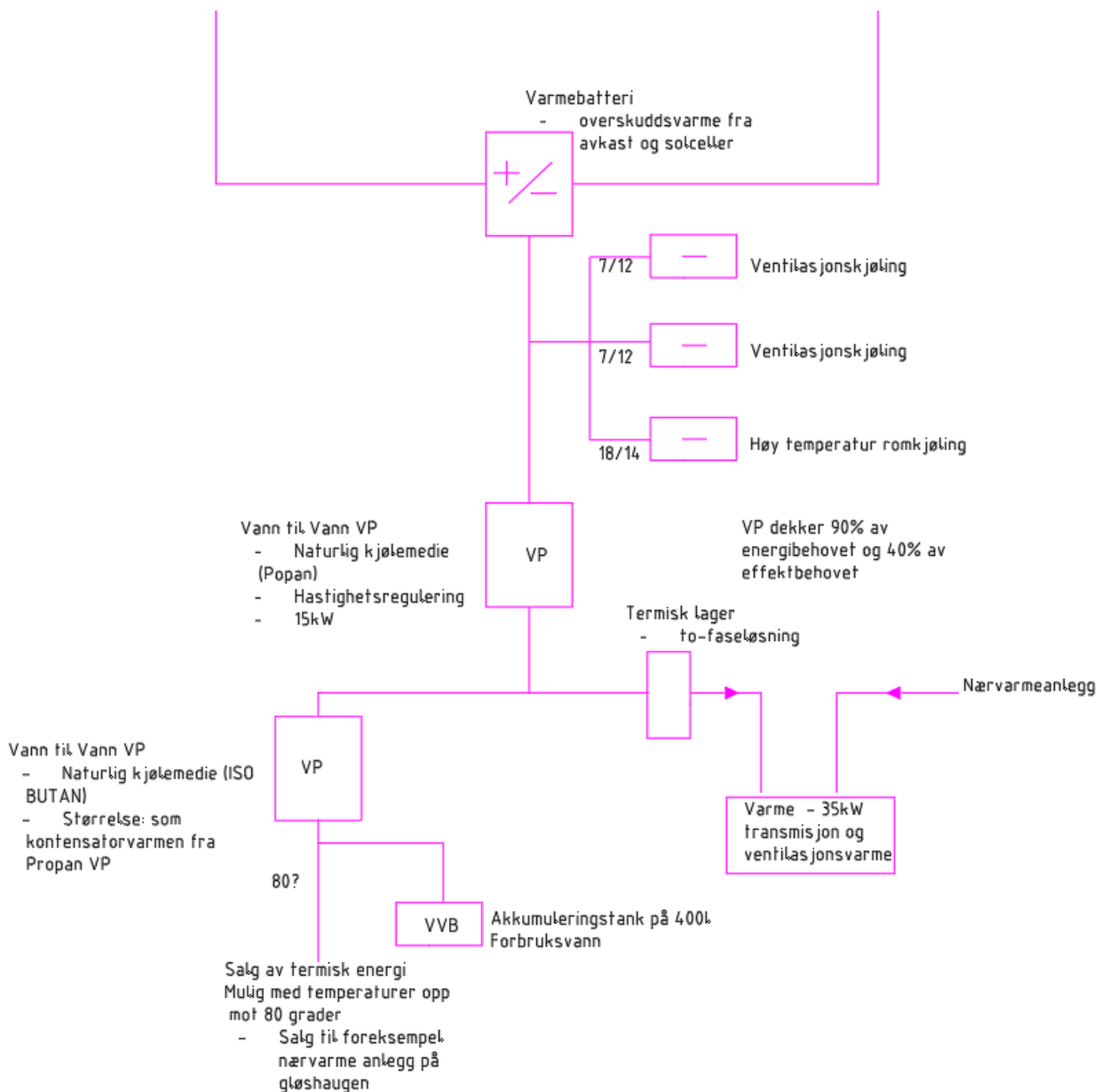
På avtrekksiden legges det opp til rist med brannspjeld inn til rømningstrapp i hver etasje. Sentralavtrekk i plan 4. I lukkede rom er det planlagt overstrømningsventiler til sentralavtrekk. Det er eget avtrekk fra toalettsoner, varemottak og garderober. Det legges opp til to ventilasjonsaggregater plassert i plan 4, disse har begge roterende varmegjenvinnere med 85% normert temperaturvirkningsgrad. SFP-faktoren skal være mindre enn $1,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ som gjennomsnitt i driftstiden. Sum luftmengde er $20\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ekskl. reservekapasitet. Øvrige spesifikasjoner er:

- Luftbehandlingsanleggene leveres uten kjøling
- 2 stk industriaggregat med kjøling for ventilering av forskercellene. Sum luftmengde $2400 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Avkastkanal fra plan 2 til tak for naturlig ventilasjon.
- Kjøkkenavtrekk fra komfyr i plan 1 føres over tak, med kanalvifte.
- Egen kanalvifte for søppelrom
- Spjeld med krav til tetthet i forskercellene

3.5 Varmeanlegg

Varmebehovet til bygget er dimensjonert i henhold til beregninger gjort i IDA ICE for målpris 1. Anlegget vil bli hensiktsmessig oppdelt og utstyrt med tilstrekkelig antall stengeventiler for en gunstig avstenging av anlegget ved drift- og vedlikeholdsprosedyrer. Byggets transmisjonstap dekkes av radiatorer med termostathoder rundt «midt-kjernen» i hver etasje, og det installeres ikke varmekilder i andre arealer (forenklet varmeanlegg).

Det prosjekteres for lavtemperatur vannbårent varmeanlegg dimensjonert med turtemperatur 40°C og returtemperatur 30°C. To væske-væske varmepumper tenkes plassert i varmesentralen i plan 1. Varmepumpeløsningen utvikles i samarbeid med leverandør, og løsningen skal kunne utnytte varme fra tre ulike kilder 1) PV/T-anlegg, 2) avtrekksluft, og 3) inverter-rom. Varmepumpen skal samkjøres med PCM-lager, og varmebehovet i bygget. På denne måten vil varmepumpeanlegget få en høy SCOP, beregnet til ca. 5,0. Varmepumpeanlegget dimensjoneres for 50% av effektbehovet, og kan dekke opptil 100% av energibehovet til oppvarming, sammen med energilager (PCM-lager). Eventuelt kan nærvarme fra campusringen benyttes til spisslast, som backup.



Figur 3. Prinsippkisse på priset varmeløsning til målpris 1. Kilde: Oras.

3.6 Kjøleanlegg

Bygget utformes slik at det ikke skal være behov for ventilasjonskjøling eller romkjøling. Det legges imidlertid frem kjøling til «forskningsrommene» i plan 2, da disse skal brukes til forskjellige forsøk hvor kjøling kan være aktuelt.

3.7 Termisk energilagring

Termisk energilagring (TEL) refererer til teknologier som gjør det mulig å lagre termisk energi ved oppvarming eller kjøling av et lagringsmedium, slik at den lagrede energien kan brukes på et senere tidspunkt for oppvarming og kjøling eller kraftproduksjon. På denne måten kan TEL-systemer bidra til å balansere energibehov og -forsyning på daglig, ukentlig og sesongbasert basis. TEL-systemer kan også redusere effektbehov, energiforbruk, CO₂-utslipp og -kostnader, samtidig som de øker effektiviteten i energisystemene. I tillegg kan konvertering og lagring av variabel fornybar energi i form av termisk energi bidra til å øke andelen fornybare energikilder i energimixen. Det er tre hovedkategorier TEL-systemer: følbar varmelagring, latent varmelagring og termokjemisk lagring.

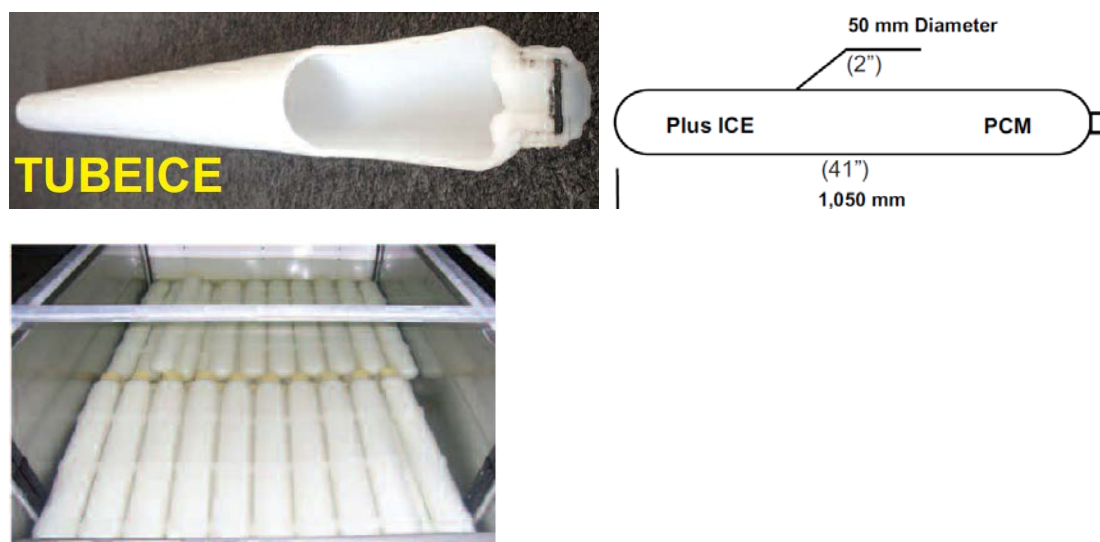
Her fokuserer vi på latent varmelagring, som oppnås ved bruk av faseendrings-materialer eller PCMs (Phase Change Materials), typisk fra en fast tilstand til en flytende tilstand. Faseendringen er vanligvis isoterm med høy energilagringsskapasitet. PCMs kan lagre 5-14 ganger så mye termisk energi per volumenhet som vanlige lagringsmaterialer som mur og stein. Design av gode grensesnitt mellom PCM, varmekilde og varmesluk er ganske komplekst, men likevel er det i dag implementert PCM i kommersielle løsninger, spesielt med anvendelser til lagring av kuldeenergi, passiv temperatur regulering i bygninger, medium-høy temperatur energi lagring i bygninger, industriprosesser og transport av industriell overskuddsvarme.

Varmen som absorberes / frigjøres under smelte- / størknings-prosessen er kjent som latent fusjonsvarme, vanligvis gitt i kJ/kg. Faseendringen foregår ved omtrent konstant temperatur (smeltepunktet) slik at PCM muliggjør en bestemt temperatur for avgivelse av varme. Derfor er valget av PCM avhengig av smeltepunktet, blant annet viktige fysiske og kjemiske egenskaper.

Beskrivelse av PCM termisk lager i ZEB Flexible Lab bygningen

I ZEB Flex-Lab bygningen ønsker vi å implementere et latent varmelagringsanlegg koblet til resten av energisystemet gjennom varmepumpen. Dette utvikles i samarbeid med SINTEF Energiforskning, ved forsker Alexis Sevault. Målet er at PCM varmelageret bidrar til å balansere energibehov og -forsyning på daglig og ukentlig basis. I fyringssesongen kan varmepumpen lade opp PCM-lageret om natten når kontorbygget er tomt, og PCM-lageret kan lade ut varmen ved topplast om dagen. På denne måten kan størrelsen på varmepumpen bli halvert ved at den kan dimensjoneres til å dekke kun basislast istedenfor topplast, samtidig som energidekningsgraden blir høy. Energisystemet henter varme fra tre ulike kilder: 1) fra inverter-rommet (ca. 5kW), 2) luftespalten under solcelleanlegget (BIPV) på taket og 3) fra avtrekksluft, slik at en del av overskuddsvarmen kan lagres i PCM lageret og ikke går tapt. Implementeringen av latent varmelagring i energisystemet kan derfor redusere effektbehov, energibruk, CO₂-utslipp og kostnader, samtidig som det øker effektiviteten i energisystemet. Varmepumpen får en meget høy årsvarmefaktor (SCOP ca. 5,0). Så vidt vi kjenner til, er dette en helt ny systemkonfigurering, som ikke er brukt i Norge før, og som kan ha stort potensiale i forbindelse med utvikling av nullutslipps-bygg og -områder.

I følge energiberegningene, kan PCM-lageret, med en kapasitet av 0.8 MWh, dekke 3-5 dager av varmebehovet til oppvarming av kontorbygget ved 15-26 kW (26 kW er maksimum varmebehov i bygningen) om dagen. Ved bruk av et kommersielt salhydrat som PCM (PCM Products Ltd - <http://www.pcmproducts.net>) med faseendringstemperatur 46 °C, innkapsulert i høy-tetthet polyetylen rør (se tubeICE i Figur 3), blir tankvolumet ca. 12 m³ med total vekt ca. 16 tonn (inkl. prosess vann). Dette er en tankstørrelse med et plassbehov som gjør det realistisk å installere i teknisk rom i de fleste kontorbygg.



Figur 4: TubeICE rør fra PCM products Ltd. hvor PCM er innkapsulert (Bilder: PCM Products Ltd.)

Design av systemet vil ta i betraktning CO₂ -utslipp knyttet til materialer. Bruk av metall (med relativt høye CO₂ -utslipp) i tanken kan unngås bruk av TubeICE innkapsulering, hvor man «skyller» PCM-brikkene via prosessvannet og lar prosessvannet sirkuleres gjennom PCM massen. Tanken tenkes utformet med polyetylen eller glassfiber som har veldig lave assosierte CO₂ -utslipp. En del av design-oppgaven blir å finne ut den beste tilgjengelige PCM som har de riktige fysiske egenskapene og lavt assosierte CO₂ -utslipp.

Siden anlegget er innovativt og fortsatt på demonstrasjons-nivå, vil flere måleinstrumenter installeres slik at mer detaljerte data om energiytelse kan analyseres over lengre perioder. Tilgang fra toppen av tanken blir også mulig slik at flere PCM-typer kan testes i fremtiden. I tillegg tenkes det installert 3 ulike vanninntak og vannuttak i tanken på tre ulike høyder for å teste ulike kombinasjoner av vannsirkulasjon i PCM-lageret.

Estimat av Kostnader til PCM termisk lager

Estimering av kostnader til PCM termisk lager er laget i henhold til tilbud fra PCM leverandør (PCM Products Ltd.) og utstyrs-leverandører. Prisestimat vises i Tabell 3. En testfase blir inkludert for å vurdere (1) vanntetthet, (2) respons av måleutstyr, (3) termisk isolering og (4) flere sykluser med manuell styrt ladning og utlading av termisk lager før systemet tilkobles til hoved kontrollsystem.

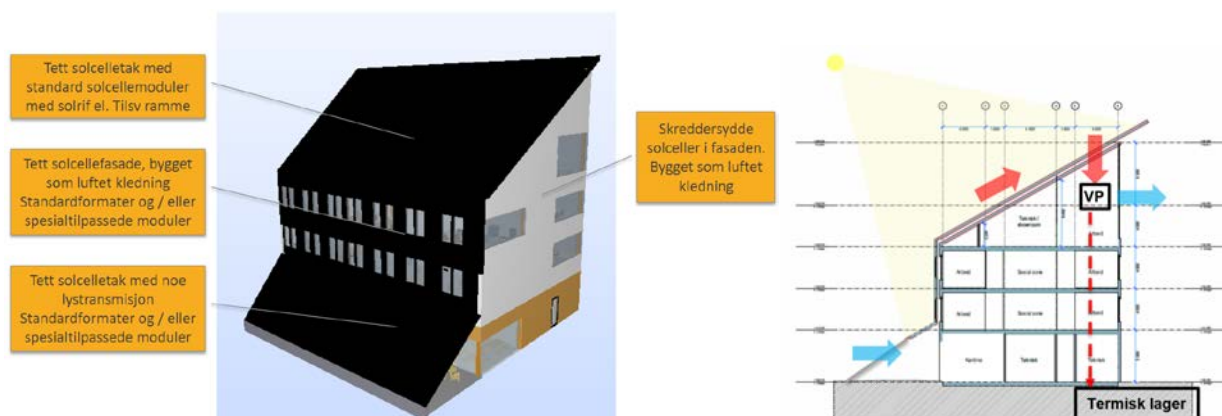
Tabell 3: Estimert av kostnader til PCM anlegg i ZEB Flexible Lab, basert på 0.9 MWh kapasitet.

<i>Kostnader i KNOK (u/MVA)</i>						
Elementer	Design og bestilling	Produkt	Frakt	Installasjon	Totalt	
Tank	40	100	15	30	185	
Innkapslet PCM	40	410	25	20	495	
Isoleringsmateriell	40	40	7	30	117	
Rør og vannpumpe	40	50	12	50	152	
Måleutstyr	60	60	10	50	180	
Testfase					170	
Totalt (KNOK) (u/MVA):					1299	

3.8 Kombinert solcelle- og soltermiske anlegg – PV/T-system

For å oppnå den meget ambisiøse målsetningen om ZEB-COM bygg, må bygget produsere et betydelig antall kWh med lokal fornybar energi for å kompensere for utslipp fra produksjons- og driftsfasen. Bygget er derfor utformet for å høste mest mulig solenergi i form av bygningsintegreerte solceller på sør-, øst- og vestvendte flater. For å holde kostnadene så lave som mulig, og samtidig få et fint arkitektonisk uttrykk, er det tenkt høyeffektive monokrystallinske solcellepaneler på det store sørvendte taket. På fasadene benyttes også mest mulig høyeffektive krystallinske celler, men her ønsker vi å prøve ut skreddersydde elementer som er integrerte i fasaden for å få et helhetlig arkitektonisk uttrykk. Vi ønsker å måle virkningsgraden på ulike typer bygningsintegreerte solcelle-elementer i norsk klima. Det er også tenkt å utforme solcellesystemet som et såkalt PV/T-system, som legger til rette for utnyttelse av termisk solvarme. Her planlegger vi å designe et system hvor solcellepanelene integreres på en slik måte at uteluft kan trekkes inn i nedkant av «solskiven» og oppvarmet luft kan samles opp i toppen og benyttes som kilde til varmpumpen. På denne måten vil man også senke baksidetemperaturen på solcellemodulene og dermed øke deres virkningsgrad. Det må utvikles spesialtilpassede løsninger for integrasjon av løsningene i tak- og veggkonstruksjonen, samt for innsamling av oppvarmet luft. Solcelle tak- og fasadekledningen må være mest mulig lufttett, samt at mellomrommet mellom kledningen og undertak/vegg må dimensjoneres for maks varmeopptak og lavt trykkfall.

I og med at solcelleanlegget/PV-T anlegget p.t. ikke er ferdig designet og prosjektert, har vi ikke nøyaktige tall for størrelse og virkningsgrader, eller energiutbytte. Men det legges opp til et solcelleareal på totalt ca. 1200 m². Figur 4 viser en foreløpig beregning gjort med programmet PVsyst av Multiconsult per september 2017, men systemet vil optimeres videre mot enda høyere energiutbytte.



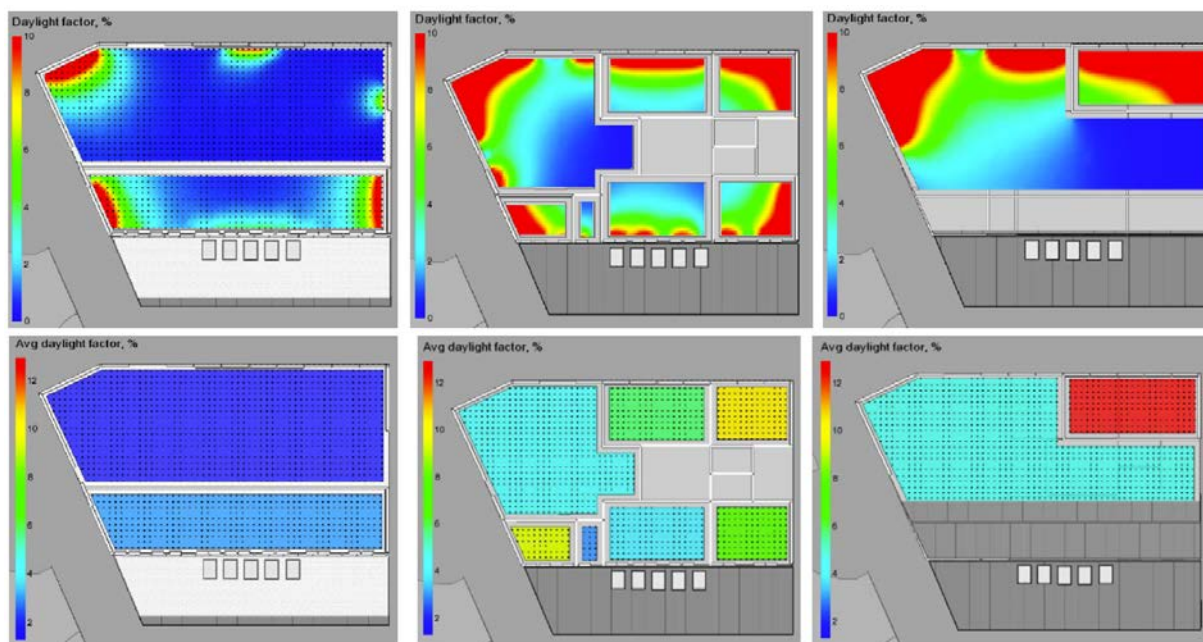
Flate	Virkningsgrad [%]	Helning	Azimut	Areal [m2]	kWp	Produksjon [kWh/y]	kWh/kWp	kWh/m2
Tak	21	30	0	585	123	119 679	973	205
Fasade Sør	16	90	0	150	24	20 640	860	138
Fasade Øst	16	90	-90	188	30	17 310	577	92
Fasade Vest	16	90	66	224	36	24 408	678	109
Skråplan	16	60	0	55	9	9 342	1038	170
Sum				1202	222	191 379	862	159

Figur 5. Foreløpig beregning av solcelleanlegg, gjort med PVsyst av Multiconsult per desember 2017. Systemet vil optimaliseres ytterligere i samarbeid med solcelleleverandør.

Som et alternativ til PV/T-løsningen, kunne en løsning med grunnvarmepumpe vært en aktuell og gunstig løsning. I dette tilfellet lå ikke forholdene til rette for en grunnvarmepumpe (ikke egnede grunnforhold), noe som kan være tilfelle for mange prosjekter. En løsning med forholdsvis enkel PV/T solfanger som kilde til en varmepumpe, vil derfor potensielt kunne være et alternativ for flere typer bygg, og vi ønsker derfor å teste ut dette.

3.9 Belysning

Belysningen skal i hovedsak utføres etter retningslinjer gitt av Selskapet for lyskultur, samt mht Universell Utforming. Publikasjoner fra "Selskapet for lyskultur" med veiledning til ovennevnte hefte 1B LUX tabell og planforskrifter for innendørs belysning skal legges til grunn for prosjekteringen. Innledende dagslysberegninger viser gode muligheter for utnyttelse av dagslys til reduksjon av behov for elektrisk belysning, se figur 5.



Figur 6. Dagslysberegninger per september 2017. Kilde: Link Arkitektur.

Alle belysningsarmaturer med tilhørende lyskilder, drivere, ballaster og trafoer skal være i elektronisk og høyfrekvent utførelse, også komponenter for lysdimming. I kontorer etableres nedhengte LED-armaturer. Disse armaturene skal ha en opp- og nedlyskomponent. Det tilstrebes å bruke best mulig effektive armaturer, slik at lyset kommer direkte hvor det er behov, dog skal vertikalkomponenten være ivarettatt. Dette er viktig for å ivareta bakgrunsluminansene og dermed oppnå god synskomfort.

Lysstyring foretas ved hjelp av byggets automatikk/SD-anlegg, og har maksimalt 30 kvm store soner. Styringskriterer er tilstedeværelse og dagslyskompensasjon, samt individuell overstyring ved hjelp av Smart Building App. Den enkelte armatur skal ha DALI-forkobling, og dermed ha mulighet til separat justering/styring/innstilling.

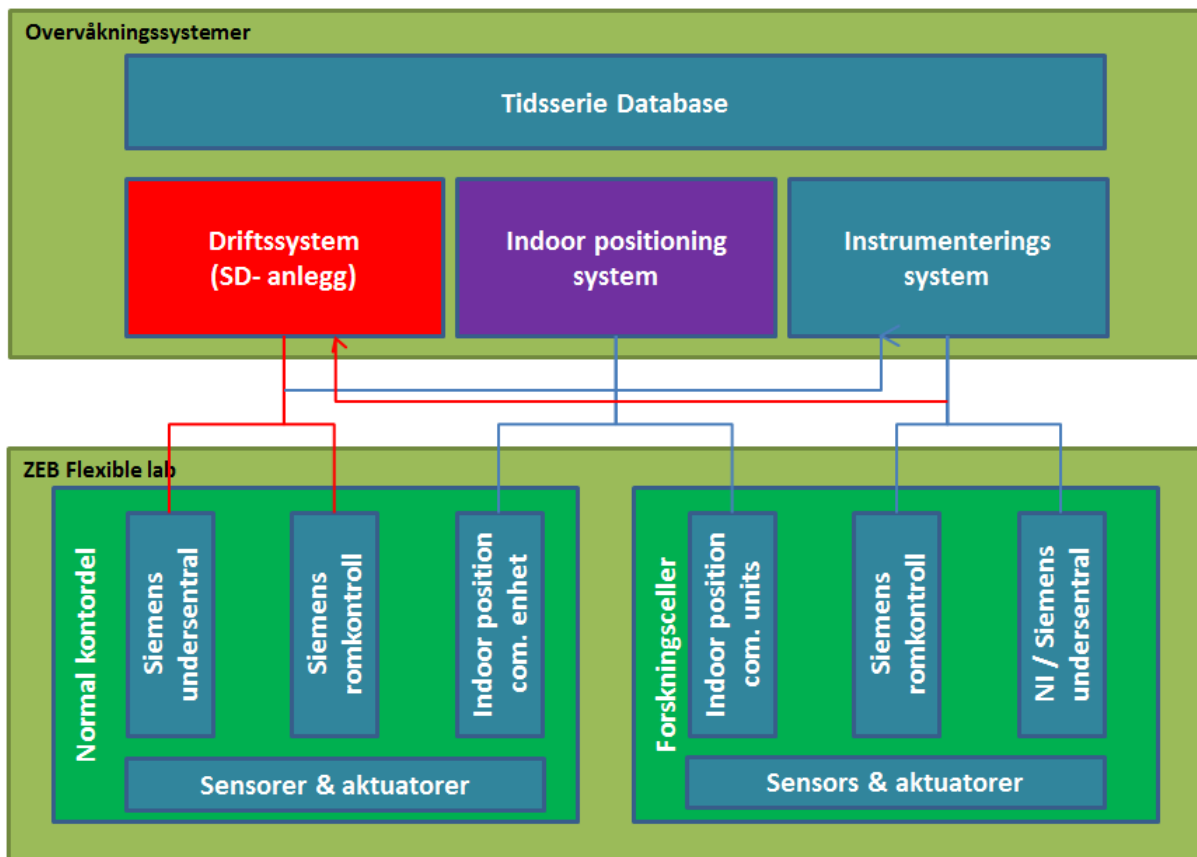
I korridorsonene etableres belysningsanlegg med innfelte armaturer med LED. I midtsonene tilpasses belysningsanlegget iht romfunksjon/romprogram. I møterom o.l., etableres armaturer med lysdimming over DALI. Gateway opp mot KNX/SD-protokoll medtas. Det benyttes predefinerte lysscener, samt at det er mulig å justere lysnivå.

Bevegelsesdetektor for lysstyring monteres i garderober, WC, HCWC, kopirom, lager, renholdsrom, dusj, mm. Øvrige birom og tekniske rom utstyres også med konvensjonell bevegelsesføler.

3.10 Styring og automasjon

Bygget skal tilknyttes flere overvåkningssystemer, installert i både NTNU/SINTEF servermiljø og Siemens private skymiljø. I både normal kontordel og forskningsceller legges det opp til et kommunikasjonssystem bestående av regulatorer med analoge- og digitale inn- og utganger, samt muligheter for kommunikasjon med åpne BUS- protokoller (KNX/DALI).

Siemens har i nyere tid utviklet et integrert innendørs posisjoneringssystem (Indoor Positioning System – IPS) med smarte mobile løsninger for individuell tilpasning av byggs tekniske systemer. Ved hjelp av trianguleringsalgoritmer oversendes brukernes live-lokasjon opp til skytjeneste som kobler brukernes posisjon med predefinerte rom/ soner. Dette kan kobles til Smart Building Apps som er Siemens mobilbaserte portefølje for brukerapper, og inneholder en rekke innovative muligheter for å la brukere få kontroll på innemiljø og tilgangskontroll. På denne måten kan man få oversikt over bruken av bygget over tid og koble dette opp mot målte data for energibruk og innemiljø.



Figur 7. Målbilde systemoppbygging. Kilde: Siemens.

Instrumentering/software:

Systemet vil ha 2 ulike «modes of operation», en for *normal drift* og en for *forskning* – begge vil være relevant i demonstrasjonsøyemed:

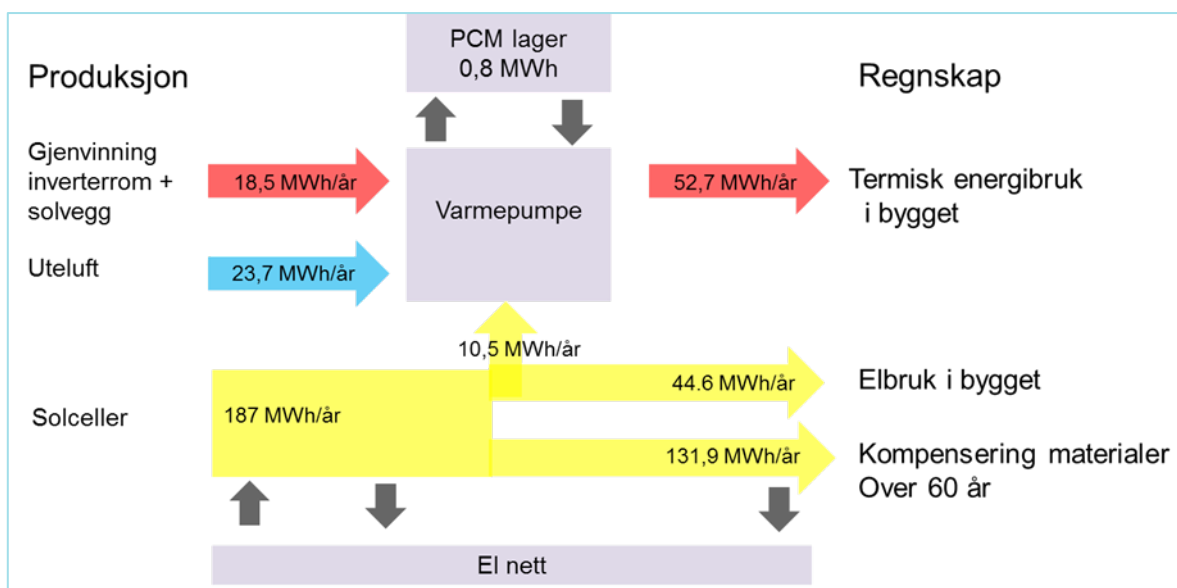
- 1) *Normal drift:* Skal styre ventilasjons-, oppvarmings- og belysningssystemene, inkludert varsling på innemiljø. Overvåking av temperaturer (inne og ute, tur-retur), CO₂, tilstedeværelse, lys-nivå og solinnstråling.
- 2) *Forskningsdrift:* Overvåking av sensorverdier, settpunkter, effektfaktorer, trykktap, mengder og temperaturer (luft og vann), romtemperaturer (i ulike høyder), RF, VOC. Høy nøyaktighet og tidsoppløsning.

3.11 Energieresultat

Det er gjort vurdering av ulike prinsipper for energiforsyning på bygget. For å nå ZEB-COM målsetningen må bygget ha en vesentlig energiproduksjon, både termisk produksjon og elproduksjon.

Der er gjennomført simulering av mulig energiproduksjon på bygget, dels strømproduksjon fra solceller og dels termisk produksjon på luftsolfanger (luftespalte bak solceller BIPV) i tak/fasade.

Simuleringene viser at det kan hentes en samlet produksjon på ca. 191.000 kWh el på bygget, se figur under. Simuleringer er gjort med i programmet Simien versjon 6.007. Hovedresultater er vist i tabell under.



Figur 8. Oversikt energibruk og produksjon for ZEB Flexible lab.

Tabell 4. Status netto og levert energi

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	43615 kWh	25,0 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	8846 kWh	5,1 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	1745 kWh	1,0 kWh/m ²
3a Vifter	10751 kWh	6,2 kWh/m ²
3b Pumper	1148 kWh	0,7 kWh/m ²
4 Belysning	16365 kWh	9,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	17461 kWh	10,0 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	99932 kWh	57,4 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	45725 kWh	26,2 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	10841 kWh	6,2 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	56566 kWh	32,5 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	56566 kWh	32,5 kWh/m ²

Der er gjort evaluering mot TEK 17, og simulering viser at bygget overholde krav til energibruk i TEK 17.

Der er gjort vintersimulering for å fastlegge dimensjonerende effekt for oppvarming.

3.12 Prosjektkostnader

Kostnadspost	Kostnad	Merkostnad
Prosjektering	kr 14 100 000,00	kr 1 400 000,00
Prosjektoppfølgning, byggeledelse	kr 3 934 000,00	kr 754 000,00
Andre kostnader	kr 2 000 000,00	kr 2 000 000,00
Bygningsmessige tiltak	kr 37 956 000,00	kr 8 340 000,00
Tekniske tiltak	kr 14 887 000,00	kr 4 050 000,00
SD – anlegg og EOS	kr 1 534 000,00	kr 100 000,00
Instrumentering av måleutstyr	kr 5 000 000,00	kr 500 000,00
Totale kostnader	kr 79 411 000,00	kr 17 144 000,00
FDV kostnad	kr -	
Merkostnad Bygningsmessige tiltak (fra TEK 10 til ZEB COM)		
Bygningsintegrete solceller	kr 7 432 000,00	
Tak. 200 kr / m2 for 600 m2	kr 120 000,00	
Vegg 300 kr/m2 for 1200 m2	kr 360 000,00	
Gulv 200 kr/m2 for 460 m2	kr 92 000,00	
Vinduer 700 kr/m2 for 480 m2	kr 336 000,00	
	kr 8 340 000,00	
Merkostnad tekniske tiltak		
Automatikk	kr 580 000,00	
Lavtemperaturvarme	kr 500 000,00	
Varmepumpe	kr 800 000,00	
Belysningssystem	kr 320 000,00	
PCM-lager	kr 1 300 000,00	
Diverse	kr 300 000,00	
Solcelleanlegg på sykkelparkering (3500 kr/m2)	kr 250 000,00	
	kr 4 050 000,00	
Andre kostnader		
Formidling under byggefasen og formidling under prøvedriften (inkl. tilrettelegging i	kr 2 000 000,00	

Investeringsstøtte fra Enova vil være utløsende for investeringen.

4 Løsningens/teknologiens markedspotensial

Overgang til energieffektive bygg er blant de mest lønnsomme måtene å redusere utslipp av klimagasser. Et nullutslippsbygg skal i løpet av sin levetid generere mer energi enn det bruker, og det skal ikke bidra til klimagassutslipp mens det er i drift eller når materialene produseres og transporteres. ZEB Flexible Lab skal være et nullutslippsbygg

Vi har følgende ambisjoner for bygget:

- Demonstrasjon ZEB-COM nivå (ny fornybar energi ved/på bygget kompenserer for energibruk og utslipp knyttet til bygging, drift av bygget og materialer brukt i løpet av byggets levetid), definert iht ZEB prosjektrapport 29-2016, <https://www.sintefbok.no/book/download/1092>
- Forbildeprosjekt med arkitektoniske kvaliteter som uttrykker byggets funksjon(er)
- Framtidsretta materialbruk, byggeteknikk og teknologi
- Klimatilpasset bygning
- Aktiv og god spillprosess i design, prosjektering og utførelse
- Fleksibelt energi- og klimatiseringssystem
- Fleksibel arbeidsplassutforming med tydelig fokus på brukskvalitet
- Separate styringsystem og målesystem(er)
- Byggemetodikk/-system som gjør det mulig å ta ned/rive deler av fasade separat

Bygningen skal være en Living Lab og forskningen i bygget skal svare på de overordna forskningsspørsmålene:

- Hvilke tekniske og arkitektoniske løsninger må til for å oppnå gode kontor- og undervisningsforhold i et ZEB-bygg?
- Hvordan påvirker brukerne energibruken i bygget og hvordan tilpasser de seg ZEB- teknologier?
- Hvordan vil valgt teknologi bidra til å redusere energibruk og maksimere bruk av ny fornybar energi?

Med hensyn til effektiv energi- og effektbruk samt miljøvennlig energiproduksjon, vil vi fremheve følgende innovative løsninger:

- 1) Utprøving og demonstrasjon av ulike arbeidsplassløsninger som fremmer arealeffektivitet, fleksibilitet og sambruk.
- 2) Utprøving og demonstrasjon av ulike styringsystemer for energi- og effekt med hensyn til oppvarming, passiv kjøling, ventilasjon og lufttilførsel, varmelagring, dagslys og elektrisk belysning, og teknisk utstyr generelt. Stort omfang og oppløsning på måleparametre for energi, effekt og innemiljø, samt kobling mot værddata og bruk av «machine learning». Utprøving og demonstrasjon av posisjoneringssystem som kan måle bruken av bygget, samt «smart app» som gir brukerne mulighet til å samhandle med de tekniske systemene.
- 3) Fem forskjellige effektive ventilasjonssystemer basert på ulike fortreningsprinsipper i kombinasjon med naturlig/hybrid ventilasjon med lave trykkfall. Dette vil også omfatte utvikling og demonstrasjon av ulike komponenter og styringsystemer knyttet til disse, i samarbeid med leverandører. Det skal ikke være mekanisk kjøling i bygget.
- 4) Et nytt konsept for bygningsintegrert PV/T-solfanger kombinert med varmepumpe og PCM-lagring. Dette kombinerte systemet innebærer flere ulike innovasjoner:
 - a. Utnyttelse av termisk solenergi som kilde til varmepumpe som alternativ til grunnvarmepumpe på steder der grunnforholdene ikke er egnet til dette. En

- lavkostnadsløsning for å øke effektiviteten på varmepumpen og samtidig få kjøling av solcellepaneler som øker virkningsgraden til solcellene.
- b. Utnyttelse av termisk lager i PCM (Phase Change Materials), som gir ca 5 ganger mindre lagerstørrelse enn tilsvarende lager i vann, og gir mulighet for opptil en ukes varmelagring, samt reduksjon av effekt. Denne løsningen har så vidt vi kjenner til aldri vært testet i Norge, men resultatene vil stor overføringsverdi i forbindelse med utvikling av fremtidens nullutslippsbygg og –områder.
 - c. Utvikling av hensiktsmessige systemer for integrasjon av solceller i bygningskroppen, slik at man både får høy el-produksjon, effektiv kjøling av solcellene, utnyttelse av termisk solenergi, og gode bygningstekniske og arkitektoniske løsninger.
 - d. Utprøving og demonstrasjon av fargede solceller som fasadekledning, skreddersydde løsninger for høy arkitektonisk kvalitet og testing av hvordan disse fungerer i norsk klima mht energiytelse.



Figur 9. Perspektiv som viser ZEB Flexible Lab fra parkeringsplassen øst for Høgskoleveien.

5 Spredning, kompetanseformidling og kunnskapsgenerering

Hele prosessen med bygget vil bli brukt som en læringsarena for partnerne i prosjektet samt mot den norske (og internasjonale) byggenæringen for øvrig; fra definisjon av prosjekt, anbud, gjennomføringsmodell, prosjektering, tekniske løsninger, bygging, drift og avhending. Informasjon om prosjektet vil skrives om i norsk fagpresse, presenteres på nasjonale og internasjonale konferanser og også presenteres i internasjonale tidsskrift. Erfaring fra FME ZEB og bygging av pilotbyggene der (som ZEB Living Lab og Powerhouse Kjørbo) viser at synligheten og demonstrasjonsmuligheten (både nasjonalt og internasjonalt) er stor når reelle bygninger viser fram hva som er mulig i praksis.

Koblingen til NTNU og SINTEF vil gjøre synligheten ekstra stor i og med at bygget vil benyttes i undervisningen, slik at framtidens arkitekter og ingeniører vil lære om prosessene og løsningene som er benyttet.

Egne suksesskriterier, se nedenfor, er etablert for å kunne følge opp og måle hvordan prosjektteamet følger opp ulike delene av prosjektet.

Rapporter og måledata skal være åpne og gjøres tilgjengelig for relevante aktører.

Suksesskriterier

- Implementering av nullutslippsbygg, bl.a. som en del av praksis og videre i forskriftsverket.
- Utvikling og demonstrasjon av teknologi og brukervennlige løsninger for nullutslippsbygg. Innovasjon: Være en arena for næringslivet.
- Være et forbildeprosjekt for alle aktører i verdikjeden og andre relevante interessenter (inkl. private og offentlige utenfor byggenæringen).
- Forskerutdanning – antall ph.d., M.Sc., post doc.
- Utdanning - hvordan utdanner vi framtidens arkitekter, ingeniører, fagarbeidere m.fl.
- Samling av fagmiljøene.
- Være en læringsarena for partnerne i prosjektet.
- Vitenskapelig opptur – forskningsprosjekt, EU-prosjekt, publisering.
- Synlighet – oppslag i dags- og fagpresse.
- Synlighet internasjonalt – merker allerede økt på gang i forhold til ønske om samarbeid
- Internasjonal annerkjennelse – rekruttering og gjesteforskere.
- Mulighet for samarbeid mellom nye fagområder der vi ikke samarbeider så mye i dag (IKT, nett, bygg).
- Ønsket av våre kunder og samarbeidspartnere

6 Risiko og risikodempende tiltak

ZEB Flexible Laboratory skal være et verktøy for reduksjon av risiko når man implementerer løsninger for nullutslippsbygg – så vi ønsker å prøve ut løsninger her før vi anbefaler de i markedet.

7 Oppsummering – beslutningsprosess

Styringsgruppen for prosjektet tar endelig beslutning om prosjektet når målpris 2 og eventuell investeringsstøtte fra Enova er avklart.

Konseptutredningen ligger til grunn for prosjektet og for søknad om investeringsstøtte fra Enova.

Investeringsstøtte fra Enova vil være utløsende for investeringene.

8 Prosjektøkonomi for konseptutredningen

Regnskapsrapport:

Regnskapspost	Timer			Kostnader			SUM eks. mva
	SINTEF	METIER SCANDINAVIA AS*	Veidekke Entreprenør AS Region Nord/Vest*	SINTEF	METIER SCANDINAVIA AS*	Veidekke Entreprenør AS Region Nord/Vest*	
Arkitektur og prosjektutvikling	kr 1 153 200					kr2 543 147	kr 3 696 347
Energiforsyning	kr69 600						kr69 600
Samspillkoordinator					kr330 480		kr330 480
							kr -
Annen kostnad							kr -
Totalt	kr 1 222 800	kr -	kr -	kr -	kr330 480	kr2 543 147	kr 4 096 427
SUM eks. mva	kr 1 222 800	kr -	kr -	kr -	kr330 480	kr2 543 147	kr 4 096 427

Timeoversikt og fakturerer finnes i eget vedlegg til web-rapporten.

Annen offentlig støtte: Forsknings og laboratorieinfrastrukturen støttes fra Norges forskningsråd. Selve byggeprosjektet bekostes av NTNU og SINTEF.

9 Kilder

Prosjektspesifikke rapporter fra arbeidet med Målpris 1 og 2:

A.1 Sentrale forutsetninger og føringer til prosjekt

A.1.1 Bygg

- Tetthet, lekkasjetall, n50 < 0,3 h⁻¹
- Normalisert kuldebroverdi < 0,03 W/m² K
- U-verdier: Tak snitt < 0,1 W/m²K
 - Yttervegger snitt < 0,16 W/m²K
 - Vindu og dører snitt < 0,8 W/m²K
 - Gulv på grunn < 0,1 W/m²K
 - Innvendig vegg uoppvarmet sone < 0,16 W/m²K (mot ikke klimatisert «på plan 4»)

A.1.2 Vinduer, fast/åpningsbare, solavskjerming og glass.

Energiberegninger er basert på en beregningsmodell på 1.742 m² BRA med et samlet vindus areal på ca 28% av BRA, samlet ca. 488 m² vindu. Vindus arealer og er basert på vindu skjema av 21.11.2017. I inneklimasimuleringer er basert på samme vindusarealer.

Alle vinduer er med energiglass med:

- Senter U-verdi < 0,6 W/m²K
- g – verdi 0,4 til 0,5
- LT verdi > 0,65

For avskjerming gjelder det følgende reduksjonsfaktorer:

- Utvendig glas + solavskjerming 0,1
- Innvendig glas + solavskjerming 0,22 (tilsvarer tett vevet hvit gardin)

Dette gir ca. verdier for reduksjonsfaktorer på solavskjermingen på (men det er viktig at solavskjerming og glas velges som samlet løsning i henhold til krav over):

- Utvendig avskjerming 0,12
- Innvendig avskjerming 0,4

Verdier over viser anbefaling til variasjonsområde for endelig valg i detaljprosjekteringer. inneklimasimuleringer og energismuleringer er basert på:

- U-verdi vindu < 0,8 W/m²K
- g – verdi 0,49
- LT verdi 0,71
- Zip Screen, avskjerming 0,12
- Innvendig avskjerming 0,44

For solavskjermingen velges det ulike strategier på ulike fasader. Generelt gjelder det:

Østfasaden:

Automatisk styrt innvendig avskjerming. Avskjermingen er automatisk styrt for å sikre at den går ned på morgenen og forhindrer uønsket morgenoppvarming av sonen bak glasset. Det velges lyst gardin med tett veving for å få så høy avskjermingsgrad som mulig. Bruker får mulighet for overstyring av solavskjerming med kontakt i sone.

Sørfasaden:

Automatisk styrt utvendig avskjerming. Avskjermingen er automatisk styrt. Det velges zip screen med samlet avskjerming for glas og avskjerming på ca. 0,1. Bruker får mulighet for overstyring av solavskjerming med kontakt i sone.

Vestfasaden:

Manuelt styrt innvendig avskjerming (for å sikre mot blanding). Det anbefales lyst gardin med tett veving (byggherre leveranse). Bruker får mulighet for overstyring av solavskjerming manuelt, men det anbefales at det monteres automatisk styrt avskjerming i kantine, i møterom 3.20 på plan 3 og på vestfasade i glassgård (touch down arbeidsplasser)

Nord og nordvest fasaden:

Ingen avskjerming. Innvendig avskjermning kan vurderes for å sikre mot blanding (byggherre leveranse). Bruker får mulighet for overstyring av solavskjerming manuelt.

Det er en forutsetning for å tilfredsstillende termisk inn klima krav for bygget skal det suppleres med naturlig ventilasjon i varme perioder og på natten til nattkjøling av bygget.

Den supplerende naturlig ventilasjon er en kombinasjon av manuelt- og automatisk styrte vindu. Automatiske styrte vinduer er aktive hele døgnet, mens manuelt styrte vindu kun kan aktiveres i arbeidstiden mellom 08 og 16.00. Oversikt over antall og plassering av åpningsvindu finnes på vindusskjema, og er i tillegg vist på figur under.

Vindu på nord, øst og vest fasaden er utadslående, og vinduer på syd fasaden er innadslående. Løsning i forhold til integrering med persienne skal detaljeres videre i detalj prosjekteringen.

A.2 Ensiders sammendrag med figurer

Første avsnitt kan brukes som sitat ved behov.

ZEB Flexible Laboratory

Hvorfor nullutslipps bygg

Overgang til energieffektive bygg er blant de mest lønnsomme måtene å redusere utslipp av klimagasser. Et nullutslippshus skal i løpet av sin levetid generere mer energi enn det bruker, og det skal ikke bidra til klimagassutslipp mens det er i drift eller når materialene produseres og transporteres. ZEB Flexible Lab er et slikt bygg.

Gjennomføringsprosess og involverte partnere

Utviklingen av bygget gjøres som en samspillprosess med NTNU og SINTEF som eiere og drivere av prosjektet. Hoved-/totalentreprenør er Veidekke Entreprenør AS, tekniske entreprenører er Oras Trondheim AS og Vintervoll AS, arkitekt og energirådgiver er Link Arkitekter, rådgiver for diverse fag er Multiconsult ASA, automasjon/SD/målesystem (PLT): Siemens AS,

Veien videre

Hele prosessen med bygget vil bli brukt som en læringsarena for partnerne i prosjektet samt mot den norske og internasjonale byggenæringen; fra definisjon av prosjekt, anbud, gjennomføringsmodell, prosjektering, tekniske løsninger, bygging, drift og avhending. Informasjon om prosjektet vil skrives om i norsk fagpresse, presenteres på nasjonale og internasjonale konferanser og også presenteres i internasjonale tidsskrift. Erfaring fra FME ZEB og bygging av pilotbyggene der, viser at synligheten og demonstrasjonsmulighetene er stor når reelle bygninger viser fram hva som er mulig i praksis.

Koblingen til NTNU og SINTEF vil gjøre synligheten ekstra stor i og med at bygget vil benyttes i forskning og undervisning, slik at framtidens arkitekter og ingeniører vil lære om prosessene og løsningene som er benyttet.

Egne suksesskriterier er etablert for å kunne følge opp og måle hvordan prosjektteamet følger opp ulike deler av prosjektet.

Noen løsninger for effektiv energi- og effektbruk samt miljøvennlig energiproduksjon

- Utprøving og demonstrasjon av ulike arbeidsplassløsninger som fremmer arealeffektivitet, fleksibilitet og sambruk.
- Utprøving og demonstrasjon av ulike styringssystemer for energi- og effekt med hensyn til oppvarming, passiv kjøling, ventilasjon, varmelagring, dagslys og elektrisk belysning, og teknisk utstyr. Stort omfang og oppløsning på måleparametre for energi, effekt og innemiljø, samt kobling mot værdata og bruk av «machine learning». Utprøving og demonstrasjon av posisjoneringssystem som kan måle bruken av bygget, samt «smart app» som gir brukerne mulighet til å samhandle med de tekniske systemene.
- Fem forskjellige effektive ventilasjonssystemer basert på ulike fortrengingsprinsipper i kombinasjon med naturlig/hybrid ventilasjon med lave trykkfall. Det skal ikke være mekanisk kjøling i bygget. Dette vil også omfatte utvikling og demonstrasjon av ulike komponenter og styringssystemer knyttet til disse, i samarbeid med leverandører.
- Et nytt konsept for bygningsintegriert PV/T-solfanger kombinert med varmpumpe og PCM-lagring.
- Utprøving og demonstrasjon av fargede solceller som fasadekledning, skreddersydde løsninger for høy arkitektonisk kvalitet og testing av hvordan disse fungerer i norsk klima mht energiytelse.

Tegninger



Fasade vest.



Perspektiv som viser ZEB-bygget fra parkeringsplassen øst for Høgskoleveien.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no