



SINTEF



Illustrasjon: Leilighetsbygg (Norgeshus) Thermomurblokk (Jackon)

Rapport

Thermomur byggesystem. Brannsikkert og bærekraftig.

Sluttrapport fra innovasjonsprosjekt 2020-2022

Forfatter(e):

Anne-Marit Haukø, Brynhild Olsø, Carine Lausset, Svein Tore Larsen, Tone-Cecilie Lie, Rune Eliassen, Eivind Olsen og Birgit Risholt

Rapportnummer:

2023:00083 - Åpen

Oppdragsgiver(e) (evt samarbeidspartner):

Jackon AS

Rapport

Thermomur byggesystem. Brannsikkert og bærekraftig.

Sluttrapport fra innovasjonsprosjekt 2020-2022

EMNEORDBrannsikkerhet
Byggesystem
Plastisolasjon
Bærekraft**VERSJON**

01

DATO

2023-01-19

FORFATTER(E)

Anne-Marit Haukø, Brynhild Olsø, Carine Lausset, Svein Tore Larsen, Tone-Cecilie Lie, Rune Eliassen, Eivind Olsen og Birgit Risholt

OPPDRAGSGIVER(E)

Jackon AS

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

NFR 309380

PROSJEKTNUMMER

102021328

ANTALL SIDER

35

SAMMENDRAG

Jackon har i samarbeid med Norgeshus, Solid Entreprenør og SINTEF utviklet løsninger for Thermomur byggesystem for bruk i boligbygninger i 4 etasjer. Løsningene som er utviklet er brannsikre, kostnadseffektive og bærekraftige. Prosjektet er gjennomført som et innovasjonsprosjekt med økonomisk støtte fra Norges Forskningsråd, prosjektnummer 309380).

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra prosjektet knyttet til metodikk for dokumentasjon av egenskaper til byggesystemer av EPS for bruk i brannklasse 2, løsninger for tildekning av EPS som er verifisert gjennom brannprøving, byggdetaljer, prosjekteringsveileder og livsløps- og sirkulærøkonomisk analyse.

UTARBEIDET AV

Anne-Marit Haukø, Brynhild Garberg Olsø, Birgit Risholt

SIGNATUR

sign.

KONTROLLERT AV

Anne-Marit Haukø, Brynhild Garberg Olsø, Birgit Risholt

SIGNATUR

sign.

GODKJENT AV

Ola Asphaug

SIGNATUR

sign.

RAPPORT NR.

2023:00083

ISBN

978-82-14-07996-8

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
01		Utarbeidet for sluttrapportering av prosjektet

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Resultatrapport fra prosjektet	6
3	Kravspesifikasjon og metodikk	11
3.1	Mål	11
3.2	Faglig innhold	11
3.3	Resultater	11
4	Fasadeløsninger og tildekning av EPS	13
4.1	Mål	13
4.2	Faglig innhold og utfordringer	13
4.3	Metodikk	13
4.4	Resultater	13
5	Thermomur byggesystem	17
5.1	Mål	17
5.2	Faglig innhold	17
5.3	Gjennomføringer.....	17
5.4	Byggdetaljer	18
5.5	Retningslinjer for byggesystemet	20
5.6	Prosjekteringsveileder	22
6	Byggeprosess og bærekraft	23
6.1	Mål	23
6.2	Faglig innhold	23
6.3	Pilotbygg.....	23
6.4	Ressurs- og kostnadseffektivitet	26
6.5	Sirkulærøkonomisk analyse	27
6.6	Livsløpsanalyse.....	29
6.7	Riving og sortering	33
	Referanser	34

BILAG/VEDLEGG

-

1 Innledning

Rapporten oppsummerer resultater fra Innovasjonsprosjektet "Thermomur byggesystem. Brannsikkert og bærekraftig" som er gjennomført i perioden 2020-2022. Prosjekteier var Jackon AS. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med Norgeshus og Solid Entreprenør. SINTEF var forskningspartner. Norges Forskningsråd bidro med finansiering til prosjektet. Figur 1 viser eksempel på Thermomur byggesystem under oppføring.



Figur 1 Thermomur byggesystem under oppføring. [Illustrasjon: Jackon AS]

Bakgrunnen for prosjektet var behovet for å utvikle brannsikre og bærekraftige løsninger for at Thermomur byggesystem skulle kunne benyttes i leilighetsbygg i 4 etasjer i brannklasse 2. Thermomur byggesystem består av forskalingselementer laget av ekstrudert polystyren (EPS). Elementene stables oppå hverandre før de armeres og fylles med en kjerne av betong. For å hindre at EPS-isolasjonen blir involvert i brann, må den beskyttes mot høy temperatur og varmestråling fra brannen, med for eksempel gipsplater, steinull eller murpuss. Det var behov for å utvikle kunnskapen om hvilke løsninger som gir tilfredsstillende brannsikkerhet i bygninger med flere etasjer, og som hindrer brannspredning i bygget og til andre bygninger. Mangel på prosjekteringsverktøy og retningslinjer for prosjektering hindret i tillegg utviklingen av løsninger og bruken av byggesystemet.

Prosjektet har inkludert studier av eksisterende leilighetsbygg, mellom-skala og storskala brannprøving, byggetekniske analyser, livsløpsanalyser og sirkulærøkonomisk analyse. Forskning og utviklingsarbeidet har vært organisert i fire delprosjekter:

1. Metodikk (utvikling av kravspesifikasjon for byggesystemet og metodikk for analyse, prøving og beregning for verifikasjon av byggesystemets branntekniske egenskaper)
2. Fasadeløsninger og tildekning av EPS (utvikling av løsninger for tildekning av EPS og verifikasjon av brann sikkerheten gjennom prøving og numeriske simuleringer)
3. Byggesystem (utvikling av byggedetaljer og retningslinjer for prosjektering basert på brannprøvinger)
4. Byggeprosess og bærekraft (demonstrasjon av løsninger i pilotbygg, evaluering av ressurseffektivitet og livsløpsanalyse)

Rapporten er bygd opp ved at resultatene fra prosjektet er oppsummert i en fire-siders resultatrapport i kapittel 2. Deretter er resultatene fra hvert delprosjekt oppsummert i hvert sitt kapittel.

Carine Lausset (SINTEF), Eivind Olsen, Svein Tore Larsen, Tone-Cecilie Lie og Rune Eliassen fra Jackon har bidratt til utarbeidelse av denne rapporten ved at de har gjennomført analyser og utarbeidet notater som inngår i datamaterialet som rapporten er basert på. Notatene er interne dokumenter og er ikke offentlig tilgjengelig.



2 Resultatrapport fra prosjektet

Som en del av sluttrapporteringen for prosjektet til Norges Forskningsråd, er det utarbeidet en resultatrapport som oppsummerer målsetninger for prosjektet og de viktigste resultatene som er oppnådd. Rapporten angir også hvilke forskningsoppgaver som er gjennomført og en evaluering av prosjektgjennomføringen. Rapporten inkluderer videre noen fakta om prosjektet og kontaktdetaljer. Det gis også en beskrivelse av planer for videre realisering av innovasjonene og formidling av resultatene.

Rapporten er gjengitt i sin helhet på de neste fire sidene av denne sluttrapporten. Bildene i resultatrapporten tilhører Jackon.



Thermomur byggesystem. Brannsikkert og bærekraftig

Jackon, SINTEF, Norgeshus og Solid Entreprenør har samarbeidet for å utvikle brannsikre og bærekraftige løsninger for Thermomur byggesystem. Prosjektet, støttet av Forskningsrådet, har inkludert branntekniske analyser og brannprøving samt oppføring av et pilotbygg for å demonstrere løsningene. Resultatene er formidlet både vitenskapelig og populærvitenskapelig.



Bakgrunn og mål

Thermomur er et byggesystem som består av forskalings-elementer av ekstrudert polystyren (EPS). Elementene stables vertikalt, armeres og fylles med en kjerne av betong. For å hindre at EPS-isolasjonen blir involvert i brann må den beskyttes mot varmen og varmestrålingen fra brannen, med for eksempel gipsplater, steinull eller murpuss.

Bakgrunnen for prosjektet var å utvikle løsninger som gir tilfredsstillende brannsikkerhet i bygninger med flere etasjer, og som hindrer brannspredning. Mangel på prosjekteringsverktøy og retningslinjer for prosjektering var et hinder for utviklingen av løsninger og bruken av byggesystemet.

Fakta om prosjektet

Prosjektansvarlig: Jackon AS
 Antall ansatte: 850
 Årlig omsetning: 3,1 MrdNOK

Partnere:
 SINTEF
 Norgeshus
 Solid Entreprenør

Prosjektperiode: 2020-2022

Budsjett: 16,4 MNOK

Prosjektleder: SINTEF

Prosjektnr. Norges Forskningsråd:
 309380

Prosjektets hovedmål har vært å utvikle løsninger for Thermomur byggesystem for bruk i leilighetsbygg med inntil 4 etasjer. Delmål for å oppnå dette har vært:

- Utvikle metodikk og kravspesifikasjon for byggesystemet.
- Utvikle løsninger for innvendig og utvendig tildekking av EPS.
- Utvikle forhåndsgodkjente løsninger for Thermomur byggesystem i brannklasse 2, herunder byggdetaljer og prosjekteringsverktøy.
- Implementere resultatene fra forskningen i pilotbygg for evaluering av kostnads-, ressurs- og tidseffektivitet, samt løsninger for riving og sortering for gjenbruk.



Resultater sammenlignet med målsetting

Prosjektets målsetting	Resultat fra Thermomur. Brannsikkert og bærekraftig
Thermomur byggesystem for bruk i boliger med inntil 4 etasjer	Det er utviklet løsninger for Thermomur byggesystem, som inkluderer tildekning av EPS, gjennomføringer, byggdetaljer, og krav til utførelse. Dette er presentert på Jackons fagdag 9. juni 2022 og på åpent webinar i samarbeid med Fire Research and innovation center (FRIC) 26. Januar 2022.
Metodikk og kravspesifikasjon for byggesystemet	<p>Det er utarbeidet en kravspesifikasjon med betingelser for å kunne ta i bruk Thermomur i boliger i 4 etasjer, samt metodikk for å verifisere de brann tekniske egenskapene. På bakgrunn av dette er brann sikkerheten til Thermomur byggesystem evaluert og dokumentert gjennom analyser, simuleringer, prøving og beregninger.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Krav til bæreevne og brannmotstand REI 60 dokumenteres gjennom prøving iht. NS-EN 1365-1:1999. • Innvendig kledning må beskytte EPS i den tiden det tar å gjennomføre rømning og redning av bygningen, som typisk kan være 10 minutter. Kledningen må være prøvd med EPS som underlag, altså ha klasse som K110. • Utvendig tildekning av EPS er dokumentert gjennom prøving iht. SP Fire 105. • Brannmotstand til rør- og kanalgjennomføringer er testet iht. NS-EN 1366-3:2009 (Standard Norge, 2009). • En risiko- og sårbarhetsanalyse for byggesystemet er gjennomført iht. NS 3901 (Standard Norge, 2012). <p>For mer informasjon, se artikkel: Use of EPS formwork blocks in four story apartment buildings. Risk and vulnerability analysis (Anne-Marit Hauksø, Brynhild Olsø, Birgit Risholt). Denne er også presentert på Nordic Fire&Safety Days, 30. Juni 2021.</p>
Løsninger for innvendig og utvendig tildekning av EPS	Utvendig kan thermomur tildekkes med puss-systemer eller med gipsplater og ikke-brennbare kledningsplater. I prosjektet er det gjennomført prøving av LIP og Weber fiberarmert puss med ulike utførelse av detaljer rundt vindu. Det er også gjort prøving av Cembrit fasadeplater med luftet hulrom mot gipsplater. Jackon vil gjennomføre prøving med andre fasadesystemer etter prosjektet er ferdigstilt. Innvendig kledning som brannbeskyttelse kan enten være to lag gips eller ett lag OSB med ett lag gips utenpå.
Forhånds-godkjente løsninger for Thermomur byggesystem i brannklasse 2, herunder byggdetaljer og prosjekterings-verktøy	Jackon har utviklet sitt byggesystem med nye byggdetaljer for brannklasse 2, og inkludert disse i sine monteringsanvisninger som er tilgjengelig for alle deres kunder. Byggdetaljene er også inkludert i en prosjekteringsveileder, som kan benyttes ved brann teknisk analyse- og prosjektering av boliger i brannklasse 2. Prosjekteringsveilederen er tilgjengelig for alle via Jackons nettside og i sluttrapporten fra prosjektet som publiseres på SINTEFs nettsider.
Pilotbygg for evaluering av kostnads-, ressurs- og tidseffektivitet, samt løsninger for riving og sortering for gjenbruk	Thermomur har blitt brukt ved oppføring av rekkehus på Rådalsåsen, Fredrikstad. Dette pilotbygget, sammen med erfaring fra oppføring av andre bygg med andre byggesystemer, har dannet grunnlag for evaluering av kostnader og tidsforbruk. Thermomur har særlig et fortrinn i bygg i flere etasjer, da det ikke er behov for stålsøyler, og gir dermed lavere kostnader. Tidsforbruk er også lavere sammenliknet med tradisjonell plassbygging. Livsløpsanalyse av Thermomur viser at økt gjenvinningsgrad kan gi store reduksjoner av klimagassutslipp. Det er ikke lyktes i prosjektet med å definere metoder for riving, da vi ikke har funnet riveprosjekter som inneholder Thermomur, siden det er et nytt byggemateriale. I prosjektet er det utviklet løsninger for industriell separering av EPS og plaststeg ved gjenvinning av Thermomur.

De viktigste FOU-oppgavene

Hoved-aktivitet	FOU oppgave	Ansvarlig	Deltakere
H1	Brannteknisk analyse av case-bygg Risiko- og sårbarhetsanalyse Kvantitativ analyse av nødvendig tid for rømning og redning.	SINTEF	Jackon, Norgeshus, Solid Entreprenør
H2	Brannteknisk analyse og utvikling av løsninger for innvendig- og utvendig tildekning. Dette er verifisert gjennom brannprøving hos RISE Fire Research.	SINTEF	Jackon, Norgeshus, Solid Entreprenør
H3	Utvikling av byggetekniske løsninger med hensyn på konstruksjonssikkerhet, bygningsfysikk og bestandighet som er verifisert blant annet ved brannprøving av gjennomføringer og lydmålinger i pilotbygg.	SINTEF	Jackon, Norgeshus, Solid Entreprenør
H4	Pilotbygg oppført i Rådalsåsen og casebygg er benyttet til å innhente grunnlag for analyser av kostnads-, tids og ressurseffektivitet Bærekraftsanalyse for byggesystemet har inkludert forenklet livsløpsanalyse, evaluering av sirkulærøkonomiske løsninger og utvikling av metodikk for separering av materialer som inngår i Thermomur.	Jackon	SINTEF, Norgeshus, Solid Entreprenør

Vurdering av prosjektgjennomføring og ressursbruk

Jackon har vært eier av prosjektet og SINTEF har vært prosjektleder. En styringskomite ledet av Jackon med representanter fra SINTEF, Norgeshus og Solid Entreprenør har møttes halvårlig. Alle partnerne har deltatt fysisk på årlige heldags arbeidsmøter. I tillegg har en gruppe med personer fra både Jackon og SINTEF med særlig ansvar for aktiviteter, leveranser og fremdrift, møttes i månedlige videomøter, samt ved utvikling av byggdetaljer og byggetekniske løsninger.

Jackons fagpersoner har kompetanse innen produktutvikling, bærekraft, samt nasjonale og internasjonale markeder. SINTEF har bidratt innen brannssikkerhet, byggeteknikk og livsløpsanalyser. Norgeshus og Solid Entreprenør har hatt sentrale roller innen casebygg og pilotbygg, samt ved utvikling av byggdetaljer.

Samarbeidet har vært velfungerende. Prosjektet har holdt fremdrift og budsjett som skissert i søknad, med mindre endringer det første året som følge av Covid. Brannprøving har blitt noe forsinket på grunn av kapasitetsutfordringer hos RISE Fire Research. Dette har medført at enkelte vitenskapelige leveranser vil måtte ferdigstilles etter prosjektperioden.

Kjønnsfordeling i prosjektet

Rolle	Antall kvinner	Antall menn
Prosjektleder	1	0
Delprosjektleder	3	1
Styringsgruppe	0	4



Kompetanseutvikling, samarbeid og nettverksbygging

Forskningssamarbeidet som er etablert mellom Jackon og SINTEF vil videreføres etter prosjektet. Resultatene fra prosjekter er og vil bli formidlet vitenskapelig gjennom åpne kanaler, og gjør det mulig for forskere i andre institusjoner og land å benytte og bygge videre på resultatene.

Samfunnet har nytte av resultatene gjennom å kunne få tilgang til kostandseffektive og brannsikre boliger av Thermomur. Brann- og redningstjeneste får trygge arbeidsvilkår ved slukkeinnsats i boligbyggene av Thermomur.

Planer for formidling og utnyttelse av resultatene

Etter prosjektets slutt vil SINTEF ferdigstille vitenskapelig formidling av resultater fra H2 som omhandler tildekning av EPS. Jackon og SINTEF vil samarbeide om næringsrettet og populærvitenskapelig formidling gjennom fagtidsskrift og Jackons fagdag. Jackons monteringsanvisninger og prosjekteringsveilederen vil være sentralt innhold i formidlingen. Jackon vil også benytte prosjekteringsresultatene som underlag for utarbeidelse av SINTEF Teknisk Godkjenning for byggesystemet for å lette markedsintroduksjonen.

Resultatene har åpnet opp nye markedsmuligheter for Jackon både nasjonalt og internasjonalt. Solid Entreprenør og Norgeshus kan dermed benytte Thermomur i nye leilighetsbygg og få økt lønnsomhet på bakgrunn av verifiserte brannsikre, kostnadseffektive, ressurseffektive og bærekraftige løsninger.

Andre entreprenører får også tilgang til det utviklede byggesystemet, og rådgivende ingeniører kan benytte prosjekteringsveilederen og byggedetaljer i sitt arbeid. Kunnskap om tildekning av EPS har også relevans for andre byggetekniske løsninger som benytter EPS. Metodikken som er utviklet for å kunne verifisere brann sikkerheten har også relevans for branntekniske rådgivere i byggesaken, og risiko- og sårbarhetsanalysen har også direkte relevans for andre byggesystem og løsninger for bygninger i brannklasse 2.

Miljøkonsekvenser

Prosjektet har identifisert at den store utfordringen for mer bærekraftige byggesystem av EPS ligger i å få samlet inn avfall fra nybygg og riving som kan gå tilbake som råstoff for ny EPS produksjon i en sirkulær verdikjede. Logistikk, lønnsomhet og materialkvalitet ble særlig funnet å være begrensende for sirkulærøkonomien. Jackon ønsker å ta en rolle i å utvikle sirkulærøkonomiske løsninger for EPS i byggenæringen gjennom nye forskning- og utviklingsprosjekter med aktører innen byggematerialer, avfallshåndtering og transport.

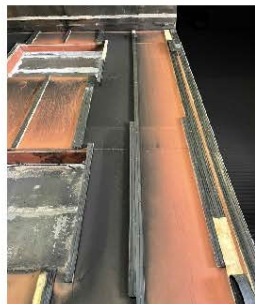
Kontaktpersoner

Jackon: Eivind Olsen, eivind.olsen@jackon.no

SINTEF: Birgit Risholt, birgit.risholt@sintef.no

Norgeshus: Snorre Bjørkum, snorre.bjorkum@norgeshus.no

Solid Entreprenør: Ronny Groth, ronny.groth@solid.no



3 Kravspesifikasjon og metodikk

3.1 Mål

Utvikle metodikk og kravspesifikasjon for bruk av Thermomur byggesystem i boliger i 4 etasjer.

3.2 Faglig innhold

I arbeidspakken er det utviklet metodikk for brannsimuleringer, analyser og prøving av byggesystem. Det er utarbeidet en kravspesifikasjon for byggesystemet basert på hvilke betingelser som må være oppfylt for bruk i boliger i 4 etasjer, som for eksempel krav til nødvendig rømningstid, maksimalt gulvareal og antennelsestemperatur.

3.3 Resultater

Rapport *H1 Metodikk. Metodikk for dokumentasjon av brannsikkerhet for Thermomur byggesystem* [14] beskriver metodikken for hvordan brannsikkerheten til Thermomur byggesystem skal evalueres og dokumenteres gjennom følgende analyser, simuleringer, prøving og beregninger:

- Et litteratursøk er utført, og fungerte som input til planlegging av branntester og som en erfaringsinnhenting for videre arbeid med fasadeløsninger og innvendig tildekking av EPS i Thermomur byggesystem.
- Krav til bæreevne og brannmotstand REI 60 var allerede dokumentert for Thermomur gjennom prøving iht. NS-EN 1365-1:1999.
- Innvendig kledning må beskytte EPS i den tiden det tar å gjennomføre rømning og redning av bygningen. Det må derfor utføres en beregning av nødvendig og tilgjengelig rømningstid, og tiden man kommer fram til benyttes som akseptkriterium for tildekking i videre brannprøving. Ulike typer kledninger og antall lag kan testes først i småskala forsøk i pilot-ovn. Testresultatet brukes så videre til å utføre storskala testing av et utvalg konstruksjonsoppbygninger iht. NS-EN 14135:2004 [1]. Ønsket testresultat er en klassifisering for kledningsklasse K₁10.
- Utvendig tildekking av EPS dokumenteres gjennom prøving iht. SP Fire 105 [2]. Jackon har allerede gjennomført en prøving i 2015, men det skal gjennomføres flere prøvinger med ulike pussystem. Det kan også bli aktuelt å gjennomføre brannsimuleringer av brann i fasade ved hjelp av simuleringprogrammet FDS (Fire Dynamics Simulator), for å finne eventuelt utvidet bruksområde til fasadeprodukter.
- Brannmotstand til rør- og kanalgjennomføringer skal prøves iht. NS-EN 1366-3:2009 [3].
- En risiko- og sårbarhetsanalyse for byggesystemet skal gjennomføres iht. NS 3901 [4]. Som del av analysen skal det gjøres en beregning av spesifikk brannenergi iht. SINTEF Byggforsk 321.051 [5]. Ifm. småskala forsøk i pilot-ovn vil det bli lagt inn feil og mangler ved utførelsen på en av konstruksjonene, og resultatet brukes videre i risiko- og sårbarhetsanalysen.
- Temperatur for termisk dekomposisjon for Thermomur skal finnes vha. ad-hoc prøving i varmluftsovn.

Rapport *H1 Metodikk. Kravspesifikasjon Thermomur byggesystem* [13] beskriver betingelsene for å kunne ta i bruk Thermomur byggesystem i boliger i 4 etasjer. Ytelser gitt i veiledning til teknisk forskrift (TEK17) er lagt

til grunn. Det tas utgangspunkt i et boligbygg på 4 etasjer, som er bygget av Norgeshus i Losjevegen 3A-3B i Melhus kommune. Rapporten gir en vurdering av relevante ytelser/kravområder for Thermomur vedrørende følgende paragrafer i VTEK 17:

- Risikoklasse § 11-2
- Brannklasse § 11-3
- Bæreevne og stabilitet § 11-4
- Tiltak mot brannspredning mellom byggverk § 11-6
- Brannceller § 11-8
- Materialer og produkters egenskaper ved brann § 11-9
- Tekniske installasjoner § 11-10
- Tiltak for å påvirke rømnings- og redningstider § 11-12
- Utgang fra branncelle § 11-13
- Rømningsvei § 11-14
- Tilrettelegging for manuell slokking § 11-16

Prosjektnotat *Thermomur byggesystem. Beregning av nødvendig rømningstid for Losjevegen 3A-3B* [15] gir en beregning av nødvendig rømningstid for Losjevegen 3A-3B. Beregningen er basert på Byggforskseriens anvisning 520.385 *Nødvendig rømningstid ved brann*. Nødvendig rømningstid er beregnet til 6 minutter og 40 sekunder. Med en sikkerhetsmargin på 50% vil tilgjengelig rømningstid være på 10 minutter. Med en sikkerhetsmargin på 100% vil tilgjengelig rømningstid være på 13 minutter og 20 sekunder. Notatet er lagt til grunn for videre analyser i prosjektet.

4 Fasadeløsninger og tildekning av EPS

4.1 Mål

Målsetningen for denne aktiviteten var å utvikle verifiserte løsninger for innvendig og utvendig tildekning av Thermomur byggesystem gjennom brannprøvinger og simuleringer. Det skulle bestemmes hvilke konstruksjonsløsninger som skulle testes i laboratorium, og hvilke teststandarder som skulle legges til grunn.

4.2 Faglig innhold og utfordringer

I forbindelse med brann er den viktigste utfordringen faren for at den brennbare isolasjonen skal bidra til brannutvikling og brannspredning. Brannbeskyttelse av EPS-isolasjonen, utsparinger for dører og vinduer, samt overgang vegg/tak og hjørner er kritiske punkter med tanke på brannsikkerheten i bygningene. Spredning av brannen hindres av brannskillende bygningsdeler samt tiltak i og på fasaden, og fokus vil derfor rettes mot brannskillende vegger inkludert ytterveggene, samt fasadeutforming og materialbruk. For å kunne vurdere løsningene på riktig grunnlag har vi studert hvilke brannprøvinger som bør utføres for å få fram nødvendig kunnskap og dokumentasjon. Kunnskap om hvordan veggelementene må brannbeskyttes og utsparinger må utføres for å ivareta brannsikkerheten er undersøkt ved eksperimenter i stor og mellomstor skala i brannlaboratorium. Det er også tatt høyde for risiko ved feil i utførelsen på byggeplass. Forventet FoU-resultat var beskrivelser av hvordan EPS-isolasjonen bør brannbeskyttes og tiltak for å hindre brannspredning i fasaden.

4.3 Metodikk

Følgende metodiske tilnærminger ble benyttet for å løse de faglige utfordringene knyttet til fasadeløsninger og tildekning av EPS:

- Eksperimentelle tester i brannlaboratorium (Ad hoc tester i indikativ brannmotstandsovn)
- Standardiserte branntester med valgte løsninger, herunder fasadetester iht. SP Fire 105 [6] og kledningstester for bestemmelse av evne til brannbeskyttelse iht. EN 14135:2004 [7]
- Branntekniske simuleringer av fasadeløsning ved hjelp av CFD-programmet FDS (Fire Dynamic Simulator) [8] for å kunne sammenligne resultatet med de reelle branntestene som ble gjennomført

4.4 Resultater

Litteratursøk er utført og oppsummert i det interne prosjektnotatet *H2 Fasadeløsninger. Thermomur byggesystem. Gjennomgang av bakgrunns litteratur*. Prosjektnotatet gir en oversikt over eksisterende litteratur innen brannspredning i fasader, bruk av EPS-isolasjon på fasade, og tildekning av EPS-isolasjon på innvendig side. Bruk av CFD-simuleringer for utvikling av brannsikre løsninger i fasade, røyk- og gassutvikling fra plastmaterialer og brannrisiko under bygging og på byggeplass er også omtalt. Notatet har fungert som input til planlegging av branntester og som en erfaringsinnhenting for videre arbeid med fasadeløsninger og innvendig tildekning av EPS i Thermomur byggesystem.

Det interne prosjektnotatet *H2 Tildekning av EPS. Valg av løsninger* er utarbeidet for å gi en oversikt over konkrete løsninger for innvendig tildekning av Thermomur byggesystem som grunnlag for videre storskala brannprøvinger og numeriske simuleringer. Totalt åtte ulike konstruksjonsoppbygninger ble testet i indikativ brannmotstandsovn hos RISE Fire Research AS.

Testene ble utført med ulike typer platekledning med ett eller to lags tykkelse utenpå EPS-isolasjonen. Eksempel på oppbygning av prøvestykke med ett lag tildekning er gitt i Figur 1. To av testene ble gjennomført med innlagte feil og mangler for å undersøke effekten av direkte branneksposering på den

underliggende EPS-isolasjonen. I tillegg ble det gjennomført en «Ad hoc» laborietest av et prøvestykke med EPS-isolasjon for å avdekke kritisk temperatur for dekomposisjon av EPS-materialet. Resultatet fra «Ad hoc»-testen indikerte at EPS-materialet benyttet i Thermomur byggesystem vil påvirkes av temperatur og varmeoverføring i temperaturområdet 95 °C – 100 °C. Resultatene fra brannprøvinger i indikativ brannmotstandsovn indikerer at det bør benyttes to platelag for å kunne oppfylle kriteriene til kledningsklasse K₁₀ gitt i EN 13501-2 [8]. Den platekledningskombinasjonen som ga best resultater fra de innledende testene i indikativ brannmotstandsovn ble ett lag 12 mm OSB-plate lagt direkte på EPS-isolasjonen og beskyttet av ett lag 12,5 mm gipsplate type A.



Figur 2 Tverrsnitt av prøvestykke for eksperimentelle tester utført i indikativ brannmotstandsovn. [Illustrasjon: SINTEF]

Testrapporten *RISE report 150040-05 Fire test of OSB- and plasterboard covering with an EPS substrate. Test according to NS-EN 14135:2004* oppsummerer resultatene fra kledningstesten og klassifiserer følgende kledningskombinasjonen til K₁₀ på underlag av Jackon Thermomur:

- Ett lag 12 mm Kronospan OSB-plate + ett lag 12,5 mm Norges gipsplate type A

Testrapporten er et internt dokument og ikke åpent tilgjengelig. Klassifiseringen gjelder for en varighet på 10 minutter, men testen bestod klassifiseringskriteriene for en varighet på 15 minutter slik at tildekkingskombinasjonen kan benyttes som grunnlag for branntekniske vurderinger for byggesystemer med lenger rømningstid enn i prosjektnotat *Thermomur Byggesystem. Beregning av nødvendig rømningstid for Losjevegen 3A-3B* [15]. Prøvestykke benyttet under branntesten er vist i Figur 2.



Figur 3 Brannteknisk prøving av kledningssystem iht. EN 14135:2004. [Illustrasjon: SINTEF]

Totalt tre ulike fasadesystemer ble testet iht. fasadetesten SP Fire 105 [6] for Thermomur byggesystem i dette prosjektet. Resultater fra fasadetestene er oppsummert i følgende testrapporter:

- *RISE rapport 130011-02A Fire test of a rendered facade. SP Fire 105 (issue no. 5, 1994-09-09), datert 06.10.2022*
- *RISE rapport 130011-02C Fire test of rendered façade, SP Fire 105 (issue no. 5, 1994-09-09), datert 06.10.2022*
- *RISE rapport 130011-02D Fire test of EPS and Cembrit Solid panels, SP Fire 105 (issue no. 5, 1994-09-09), datert 06.10.2022*

Alle testrapportene er interne dokumenter og er derfor ikke åpent tilgjengelige.

Følgende tre fasadeoppbygninger ble testet og vurdert til bestått iht. SP Fire 105:

- Jackon Thermomur 450 beskyttet med 5 mm LIP 350 Universalmørtel + 4 mm LIP 360 Fiberpuds Let. I vindusutsparingene og underkant av fasadeoppbygningen ble det benyttet Jackopor Plank 450 beskyttet av 12 mm Fermacell Powerpanel
- Jackon Thermomur 450 beskyttet med 9 mm Weber base 261 påført Silco maling som sluttbehandling. I vindusutsparingene og underkant av fasadeoppbygningen ble det benyttet Jackopor Plank 450 beskyttet av 12,5 mm Aquapanel Outdoor sementbasert plate
- Jackon Thermomur 350 tildekket av 9,5 mm GU-X gipsplate, ventilert hulrom med 23 mm x 48 mm og 23 mm x 98 mm trelekter plassert c/c 600 mm og 8 mm Cembrit Solid fasadeplater montert utenpå. Det ble benyttet EPDM-bånd som beskyttelse mellom plateskjøter og trelekter. Stålbleslag for å ivareta lufting ble benyttet i underkant av fasade, i vindusutsparinger og overkant av fasaden

Figur 3 viser bilde av fasade med LIP pussystem etter gjennomført SP Fire 104 fasadetest.



Figur 4 Skader på fasade med LIP pussystem etter gjennomført SP Fire 105 fasadetest. [Illustrasjon: Jackon AS]

Branntekniske simuleringer av fasadeløsning ved hjelp av CFD-programmet FDS er pågående og vil slutføres og publiseres vitenskapelig av SINTEF etter prosjektslutt.

5 Thermomur byggesystem

5.1 Mål

Målsetningen med delprosjektet var å utvikle forhåndsgodkjente løsninger for Thermomur byggesystem i brannklasse 2, herunder byggdetaljer og prosjekteringsverktøy.

5.2 Faglig innhold

Det er utviklet og verifisert løsninger for *Thermomur* byggesystem i 4 etasjer. En kombinasjon av analyser, simuleringer og resultater fra brannekspesimenter er lagt til grunn for å dokumentere at løsningene er egnet for leilighetsbygg i brannklasse 2. Utfordringer som er løst er overganger mellom *Thermomur* vegger og etasjeskiller, overganger mellom innervegg/yttervegg, detaljer for vindusutsparinger, samt løsninger for gjennomføringer av rør og kanaler som gjør at isolasjonen blir eksponert. Byggdetaljene som er utviklet er inkludert i en prosjekteringsveileder for arkitekter og rådgivere. Det er også utarbeidet en oversikt over byggetekniske krav knyttet til bæreevne og bygningsfysikk for byggesystemet.

5.3 Gjennomføringer

Brannprøvinger på gjennomføringer av rør og kanaler gjennom en vegg av Thermomur 350 er utført iht. NS-EN 1366-3:2009. Resultatene viste at følgende utførelse har brannmotstand EI 60:

- Riflet trekkerør av plast type PVC-U (K-rør) med diameter inntil 16 mm branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR.
- Riflet trekkerør av plast type PVC-U (K-rør) med diameter inntil 50 mm branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR. FIRESAFE FIRE COLLAR brannmansjett monteres rundt K-rør på begge sider av vegg.
- Riflet trekkerør av plast type PVC-U (K-rør) med diameter inntil 50 mm branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR. 1 lag 50x2,5 mm FIRESAFE Wrap LX brannpakning monteres i flukt med vegg på begge sider.
- VVS plastrør type PIPELIFE SMARTLINE med diameter inntil 75 mm branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR. FIRESAFE FIRE COLLAR brannmansjett monteres rundt plastrør på begge sider av vegg.
- VVS plastrør type PIPELIFE SMARTLINE med diameter inntil 75 mm branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR. 1 lag 50x2,5 mm FIRESAFE Wrap LX brannpakning monteres i flukt med vegg på begge sider.
- VVS plastrør type PIPELIFE SMARTLINE med diameter inntil 110 mm branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR. FIRESAFE FIRE COLLAR brannmansjett monteres rundt plastrør på begge sider av vegg.
- VVS plastrør type PIPELIFE SMARTLINE med diameter inntil 110 mm branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR. 1 lag 50x2,5 mm FIRESAFE Wrap LX brannpakning monteres i flukt med vegg på begge sider.
- Sirkulær ventilasjonskanal med diameter 100 mm – 200 mm, isolert med 16 mm PAROC Hvac Section Fire Mat av steinull, branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR.
- El-boks utført med Elko brannboks eller veggboks med Firesafe SealPad, fuges med Firesafe varmeekspanderende fugemasse.
- Kabel A1 med diameter inntil 14 mm, branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR.
- Kabel F med diameter inntil 15/17 mm, branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR.

Følgende utførelse har brannmotstand E 60:

Sirkulær ventilasjonskanal med diameter 100 mm – 200 mm, uisolert, branntettes med gjennomgående FIRESAFE GPG MORTAR.

5.4 Byggdetaljer

Det er utviklet byggdetaljer for Thermomur byggesystem, og det er gjennomført brannprøving og branntekniske analyser i henhold til metodikken som er beskrevet i kapittel 3.3 for å verifisere at de branntekniske egenskapene er i samsvar med kravspesifikasjonen som er oppsummert i kapittel 3.4. Resultater fra brannprøving av innvendig og utvendig tildekning, se kapittel 4, og prøving av branntekniske egenskaper til gjennomføringstettinger, se kapittel 5.3, er lagt til grunn for arbeidet.

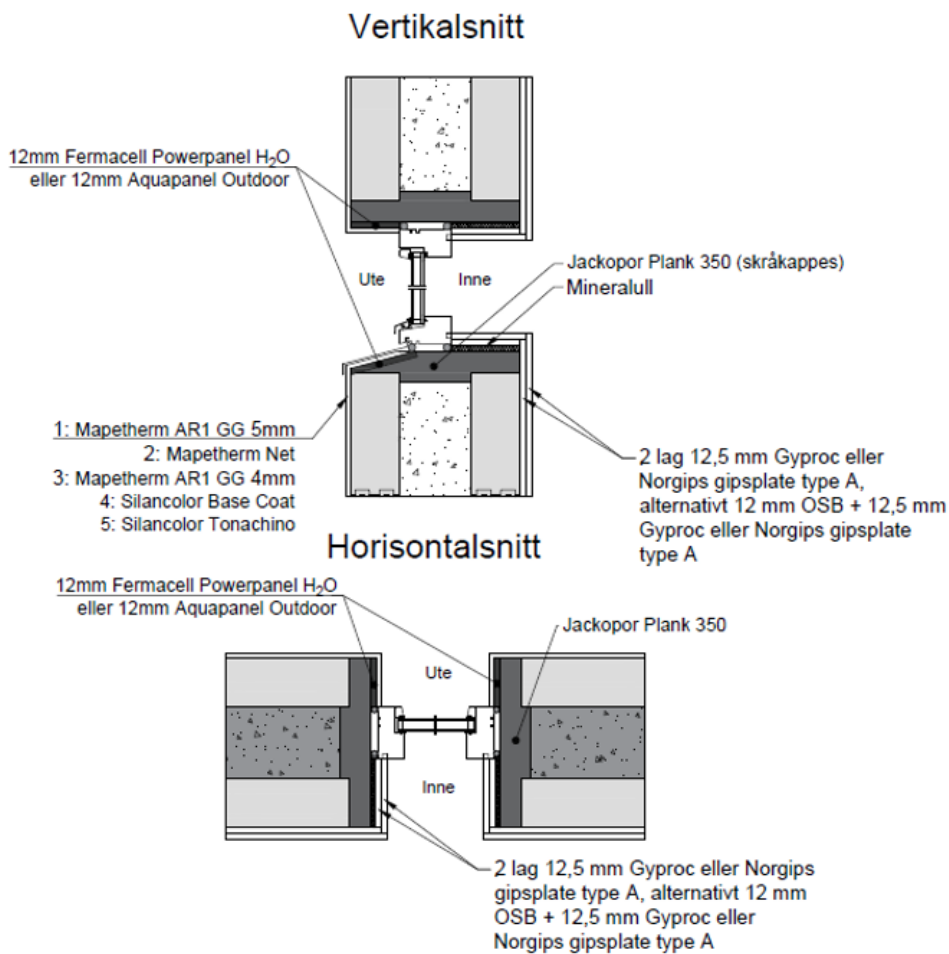
Løsningene er utarbeidet av Jackon etter dialog med fagpersoner i Norgeshus, Solid Entreprenør og SINTEF. Utgangspunkt for utviklingsarbeidet var Jackons eksisterende byggdetaljer for Thermomur byggesystem for bruk i brannklasse 1. Byggdetaljene som ble vurdert å ha innvirkning på de branntekniske egenskapene som angitt i kravspesifikasjonen, se kapittel 3.4, ble gjennomgått og forbedret basert på prøvingsresultater og analyser.

Tabell 1 viser hvilke byggdetaljer som er utviklet i prosjektet. Figur 5 og 6 viser eksempler på to av byggdetaljene, en for vindusinnsetting og en for overgang mellom yttervegg av Thermomur og etasjeskiller.

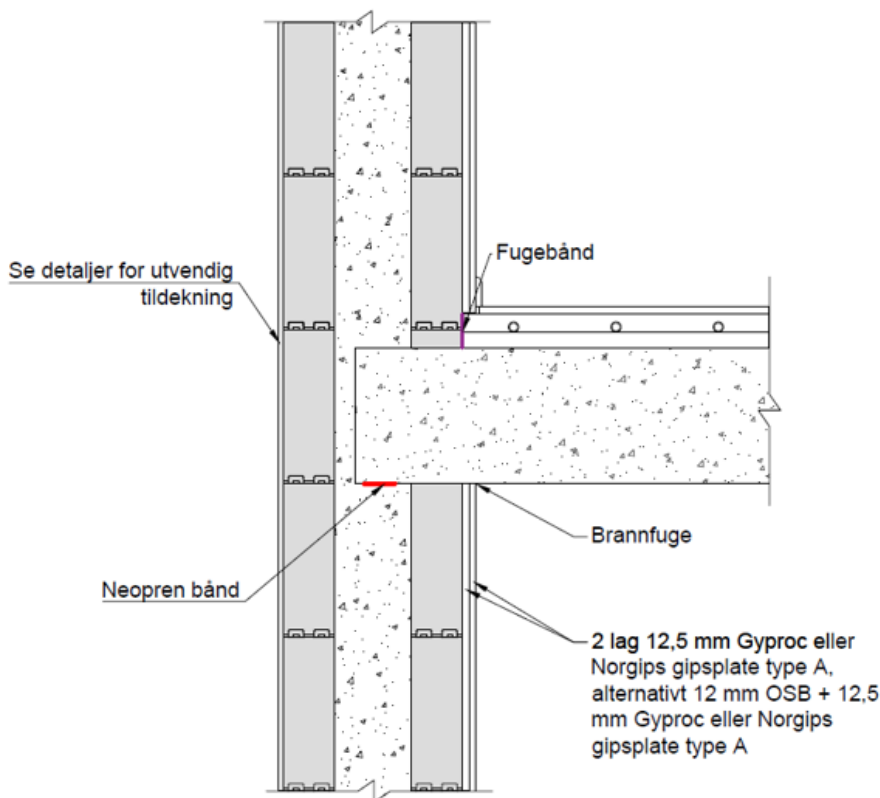
Tabell 1 Liste over byggdetaljer utviklet for Thermomur byggesystem for bruk i brannklasse 2

Byggdetalj	Tegningsnummer	Versjon
Overganger mellom Thermomur vegg og andre bygningsdeler		
Etasjeskille av betong mot yttervegg av Thermomur	001	11-2022
Overgang mellom etasjeskiller av betong	002	11-2022
Overgang Thermomur 350 og trevegg	003	11-2022
Lydvegg Thermomur 350 HD og yttervegg av tre	004	11-2022
Thermomur vegg med gesims mot kompakttak	011	11-2022
Tildekning og tetting rundt elbokser ved skjelt elektrisk anlegg		
Elko brannboks / Firesafe FT seal pad	009	11-2022
Tildekning av EPS og detaljer for vindusinnsetting		
Utvendig og innvendig behandling av Thermomur med LIP murpuss og vindusdetaljer	005	11-2022
Utvendig og innvendig behandling av Thermomur med Weber murpuss og vindusdetaljer	006	11-2022
Utvendig og innvendig behandling av Thermomur med Mapei murpuss og vindusdetaljer	007	11-2022
Utvendig og innvendig tildekning og vindusdetaljer for Cembrit fasadeplater	008	11-2022
Gjennomføringstettinger		
K rør 16mm	010	11-2022
K rør 50mm med mansjett	012	11-2022

K rør 50mm wrap	013	11-2022
Plastrør 75mm med mansjett	014	11-2022
Plastrør 75mm wrap	015	11-2022
Plastrør 110mm med mansjett	016	11-2022
Plastrør 110mm wrap	017	11-2022
Ventilasjonskanals 100mm uisolert	018	11-2022
Ventilasjonskanal 100mm isolert	019	11-2022
Ventilasjonskanal 200mm uisolert	020	11-2022
Ventilasjonskanal 200mm isolert	021	11-2022



Figur 5 Detaljer for vindusinnsetting i yttervegg. [Illustrasjon: Jackon AS]



Figur 6 Overgang mellom yttervegg av Thermomur 350 og etasjeskiller av betong. [Illustrasjon: Jackon AS]

5.5 Retningslinjer for byggesystemet

Thermomur byggesystem har i dag SINTEF Teknisk Godkjenning for bruksområder som vegger over og under terreng for brannklasse 1 i 2 etasjer. Utviklingsarbeidet og resultatene som rapporteres her gjelder Thermomur som byggesystem for vegger over og under terreng i bolighus i brannklasse 2 med inntil fire etasjer over terreng. Veggsystemet kan også benyttes i andre bygninger, forutsatt at det gjøres spesifikk prosjektering for dokumentasjon av egenskaper. Tabell 2 under er hentet fra Prosjektnotat Retningslinjer for SINTEF Teknisk Godkjenning. EPS byggesystem, Isolasjon og forskaling. Utkast til vedlegg for bruk i BKL2 inntil 4 etasjer [9].

Tabell 2 angir utvalgte eksempler på byggetekniske egenskaper som Thermomur byggesystem må oppfylle for å kunne få utstedt SINTEF Teknisk Godkjenning for bruksområde bolighus i brannklasse 2 med inntil fire etasjer over terreng. Tabellen inkluderer utelukkende byggetekniske egenskaper, og krav til andre egenskaper og ytelser kan fremkomme i en godkjeningsprosess. Krav til miljøegenskaper er ikke inkludert. Tabellen er ikke utfyllende, og andre krav til ytelser kan forekomme i en godkjeningsprosess.

Tabell 2 Oversikt over aktuelle byggetekniske egenskaper, ytelser og dokumentasjonskrav som er relevante for utstedelse av SINTEF Teknisk Godkjenning for EPS byggesystemer for bolighus i brannklasse 2 med inntil fire etasjer over terreng. Tabellen er basert på et utkast til retningslinjer, og andre egenskaper og ytelser enn de som er angitt kan kreves for utstedelse av SINTEF Teknisk Godkjenning.

Egenskap,	Krav
Bæreevne, styrke	
Trykkfasthet for EPS i henhold til NS-EN 13163, NS-EN 826 (prøvestandard)	Lik som BKL 1
Styrke ved utstøping. Verifiseres ved prøving gjennom metode utviklet av SINTEF med måling av trykkspenning og forskyvning ved vertikal støpehastighet 1 m pr time	Evalueres for 4 etg bygg
Kapasitet ved skruerinnfesting til bindere prøves etter NT Build 306 for ferskt og aldret materiale i bindere. Bindere av plast varmealdre sog aldre alkalisk i 24 og 48 uker før mekanisk prøving Det skal benyttes bindere med kjent kjemisk sammensetning av plastmaterialet. Ved bruk av bindere av resirkulert plast, så må den kjemiske sammensetningen til råmateriale og bindere dokumenteres og homogene materialegenskaper må verifiseres	Må vurderes spesielt for innfesting av kledningsplater i bindere
Bæreevne, styrke ferdig vegg	
Dimensjonering av bærende konstruksjoner beregnes og dokumenteres normalt i hvert byggeprosjekt. Bæreevnen skal være beregnet i henhold til gjeldende norske konstruksjonsstandarder; dvs. NS-EN 1990 og betongstandarden NS-EN 1992. Laster baseres på laststandardene i serien NS-EN 1991.	
Puss på isolasjon	
Puss-systemet som benyttes bør inneha SINTEF Teknisk Godkjenning eller tilsvarende dokumentasjon av egnethet som fasadepuss på EPS isolasjon. Dokumentasjonen inkluderer: <ul style="list-style-type: none"> • Pussystemets oppbygning • Varmeisolasjonens egenskaper: Trykkfasthet, strekkfasthet, varmekonduktivitet og korttids vannabsorpsjon • Puss systemets bestandighet skal dokumenteres gjennom kunstig klimaaldring i 48 uker i SINTEFs klimakarusell i henhold til prinsippene i Nordtest metode NT Build 495, <i>Building materials and components in the vertical position: Exposure to accelerated climatic strains</i>. • Tilstrekkelig bestandighet for festemidler, armeringsnett, profiler og generelt tilbehør skal også dokumenteres. • Motstand mot slag skal dokumenteres etter klimaaldring. • Heftfasthet mellom puss og underlag skal dokumenteres etter klimaaldring. 	
Sikkerhet ved brann	
Veiledningen til TEK angir at isolasjon som ikke tilfredsstillter klasse A1 eller A2-s1,d0 bare kan benyttes dersom bygningsdelen oppfyller den forutsatte branntekniske funksjonen og isolasjonen ikke bidrar til økt brannrisiko eller brannspredning.	
EPS-materialets egenskap ved brannpåvirkning klassifiseres i henhold til NS-EN 13501-1.	
Tildekking av EPS dokumenteres etter prøving etter relevante standarder NS-EN 13501-1, NS-EN 13501-2, SP Fire 105, EN 14135, Byggforskeren 520.339 <i>Bruk av brennbar isolasjon i bygninger</i> .	Obligatorisk

<p>Innvendig tildekning skal beskytte EPS i tilstrekkelig tid for rømning og redning fra bygningen. Minimumskrav forgodkjenning er 10 minutters brannbeskyttelse av EPS. Tildekning skal være dokumentert med brannteknisk klasse K₁₀ gjennom prøving av det aktuelle materialet på underlag av EPS iht. EN 14135 Innvendig tildekning kan være av to eller flere platelag hvor ytterste lag skal ha klasse A2-s1,d0.</p> <p>På utvendig side kan tildekning av brennbar isolasjon være minst 8 mm tykk sementbasert og armert puss eller en platekledning. Brannegenskapene skal dokumenteres i henhold til SP Fire 105 og vurderes av SINTEF sin branngruppe.</p> <p>Andre løsninger, inkludert beskyttelse av EPS i vegger med bjelker og søyler av betong, eller platekledning festet på andre måter enn mekanisk, må dokumenteres ved prøving og/eller branntekniske analyser.</p>	
<p>Brannmotstand Dokumentasjon av brannmotstand, R for bærende vegg, EI for branncellebegrensende vegg, og REI for vegg som er både bærende og branncellebegrensende, for ferdig vegg med kledninger. Brannmotstanden til ferdig vegg skal være klassifisert i henhold til NS-EN 13501-2. Krav: Byggesystemet må tilfredsstille krav til brannmotstand oppgitt i TEK17 med veiledning for aktuell brannklasse.</p>	Obligatorisk
<p>EI-bokser og andre gjennomføringer må ikke svekke brannmotstanden til veggen eller beskyttelsen på EPS-isolasjonen.</p>	Obligatorisk når relevant.
<p>Fuktsikkerhet</p>	
<p>Normalt skal ferdige vegger ha minimum halvparten av veggens varmemotstand på utvendig side av betongveggen.</p>	Obligatorisk
<p>Radonsikkerhet</p>	
<p>Løsning for å hindre forhøyet konsentrasjon av radon i inneluft skal være i henhold til prinsippene i Byggforskserien 520.706 <i>Sikring mot radon ved nybygging</i>.</p>	Obligatorisk
<p>Varmeisolering</p>	
<p>Deklarert varmekonduktivitet for EPS-materialet ihht NS-EN 13163.</p>	Obligatorisk
<p>U-verdi for ferdig vegg (inkludert eventuell tilleggisolasjon) skal tilfredsstille minimumskrav til energieffektivitet i TEK der dette er relevant.</p>	Frivillig

5.6 Prosjekteringsveileder

Prosjektrapport *Thermomur byggesystem*. *Prosjekteringsveileder* er en prosjekteringsveileder for arkitekter og rådgivere. Formålet med prosjekteringsveilederen er at den skal være et hjelpemiddel for dokumentasjon av brannsikkerhet ved bruk av Thermomur byggesystem i 4-etasjes boligbygninger i brannklasse 2. Målgruppen for prosjekteringsveilederen er ansvarlig prosjekterende i den enkelte byggesaken, for eksempel brannrådgiver og arkitekt. Veilederen kan også benyttes ved kommunalt tilsyn, samt ved uavhengig kontroll av prosjektering og utførelse. Prosjekteringsveilederen følger oppbygningen i veiledningen til TEK17 §11 Sikkerhet ved brann. For hvert krav er det oppgitt en avkryssingsboks for om forholdet er ivaretatt i prosjekteringen. Veilederen er åpent tilgjengelig for alle.

6 Byggeprosess og bærekraft

6.1 Mål

Målsetningen for delprosjektet var å implementere resultatene fra forskningen i et pilotbygg for evaluering av kostnads-, ressurs- og tidseffektivitet, samt å utvikle og evaluere løsninger for riving og sortering for gjenbruk.

6.2 Faglig innhold

Det er satt opp et pilotbygg i Rådalsåsen, Fredrikstad for å demonstrere byggetekniske løsninger som er utviklet i prosjektet. Pilotbygget og casebygg er benyttet til å innhente grunnlag for kvantitative analyser av kostnads-, tids og ressurseffektivitet.

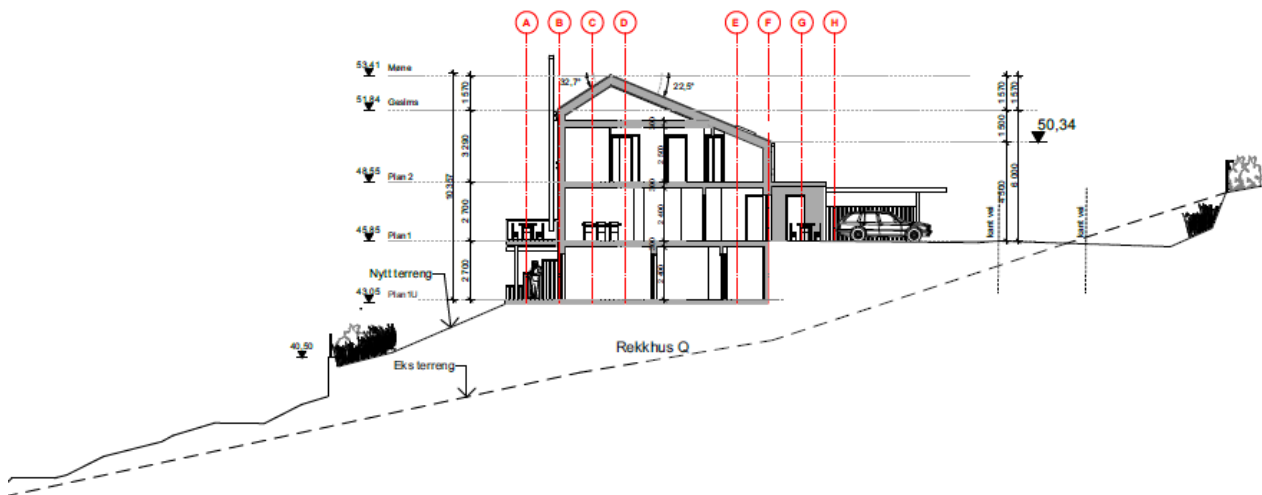
Bærekraftsanalyse for byggesystemet har inkludert evaluering av sirkulærøkonomiske løsninger og utvikling av metodikk for separering av materialer som inngår i Thermomur. Byggesystemet har også blitt evaluert i et livsløpsperspektiv gjennom en forenklet livsløpsvurdering (screening LCA) basert på standarder for miljøvurdering av byggevarer.

6.3 Pilotbygg

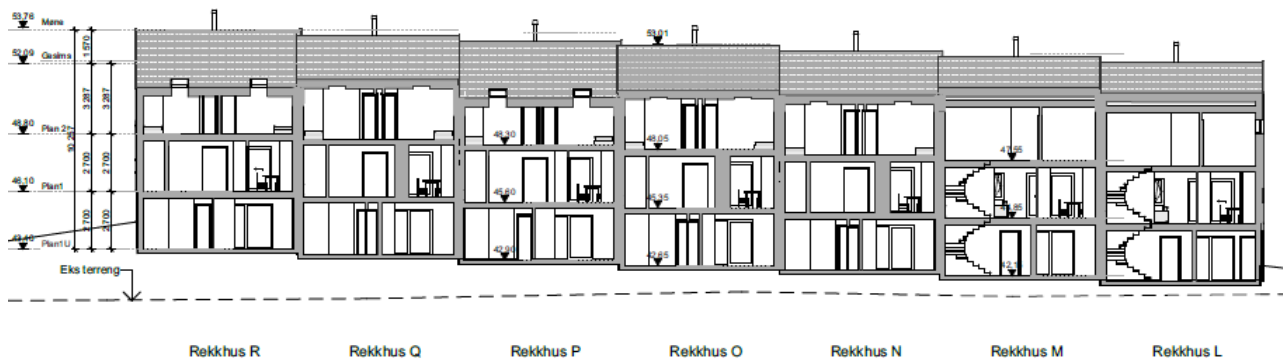
Prosjektnotat *Thermomur byggesystem. Rådalsåsen* [10] er utarbeidet for å dokumentere resultater fra byggeprosjektet. Pilotbygget er et rekkehus på Rådalsåsen på Rolfsøy, Fredrikstad, som er bygd i perioden 2021-2023. Utbygger er Solid Eiendom. Solid Entreprenør har vært ansvarlig partner i forskningsprosjektet for realisering av pilotprosjektet. På grunn av byggenes art lot det seg ikke gjøre å bruke Thermomur i alle deler av bygget. Thermomur er brukt i grunnmur og innvendige skillevegger i sokkel. Bruk av Thermomur i innvendige skillevegger med brannmotstand er mulig på grunn av nye og dokumenterte løsninger for tildekning av EPS som gir tilstrekkelig motstand mot brann for bruk i brannklasse 2.

Pilotbygget ble oppført før alle byggdetaljer var ferdig utviklet og publisert. Detaljer ble prosjektert som en del av byggeprosjektet, og det oppsto utfordringer ved overganger mellom Thermomur vegger og etasjeskiller og bindingsverkvegger. Løsningene som er bygd er derfor vurdert til å gi dårligere lydisolering enn om veggene var oppført i henhold til byggetekniske løsninger som er presentert i denne rapporten. Det ble gjennomført lydmålinger for å verifisere at løsningene som er bygd oppfyller forskriftskrav til lydisolering mellom boenheter. I dag er kravet at boligens konstruksjon mellom to enheter skal ha en lydreduksjonsevne på 55 dB eller høyere [11].

Rekkehusene ligger i en slak helning, som fører til at enhetene har et lite sprang i høyde mellom enhetene. Figur 7 viser snitt-tegninger for rekkehuset



Snitt AA

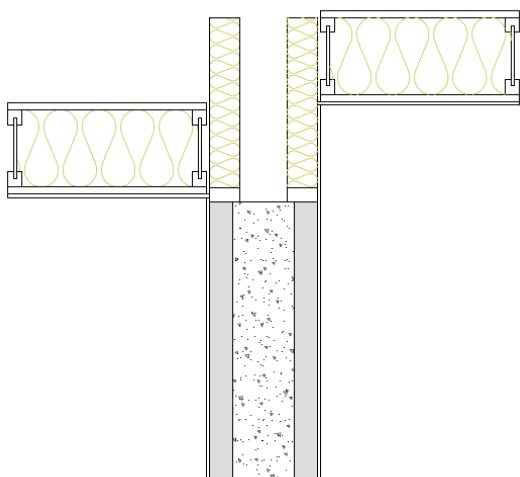


Snitt BB

Figur 7 Snitt-tegninger av pilotbygg Rådalsåsen. (Illustrasjon: Solid Entreprenør/Make arkitekter)

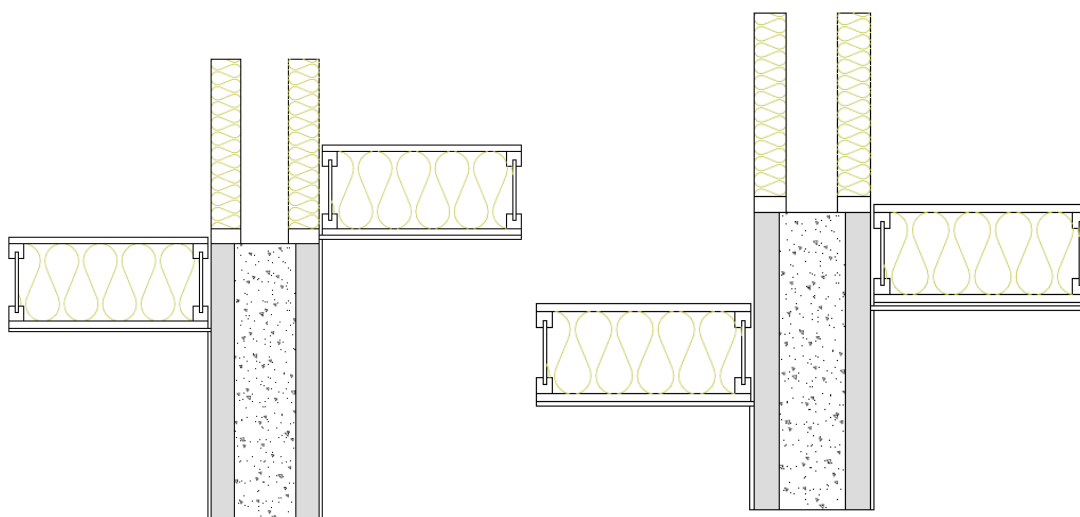
Lydskillevegg i sokkel mellom boenheter er av Thermomur 350HD med 12,5mm gips type A på hver side. Etasjeskille er av I-bjelker som ligger parallelt med lydskillevegg nedlektet og gipset i underkant. I etterkant av befaring på byggeplass har vi sett på valgt løsning (Figur 8) av prosjekterende og undersøkt alternative løsninger for bedre lydisolering.

På figur 8 har lydvegg av Thermomur blitt avsluttet i samme høyde som underkant gips i himling på laveste etasje og fortsetter videre med to separate vegger av 98 mm lydvegger.



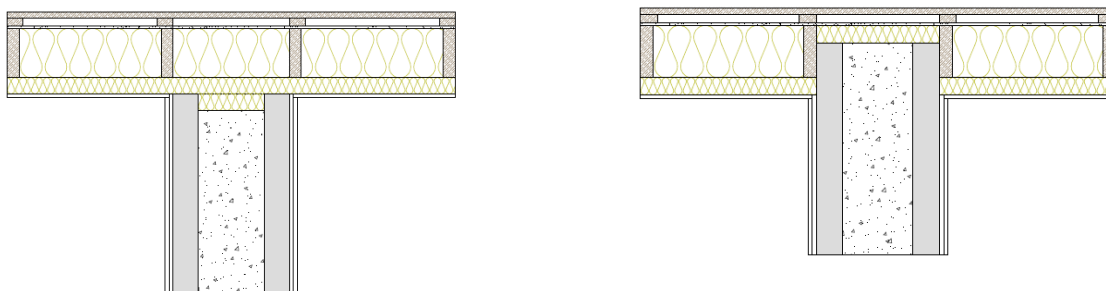
Figur 8 Overgang mellom Thermomur vegg og etasjeskiller som bygd for pilotbygg (Illustrasjon: Jackon)

To alternative løsninger for overgang mellom Thermomur vegg og etasjeskiller er vist i figur 9. Et første alternativ er å trekke opp Thermomur i samme høyde som overkant av laveste etasjeskiller og underkant av øverste. Løsning bør vurderes av fagperson innen akustikk for å se om dette kan være bedre mot flanketransmisjon. Et annet alternativ til Figur 8 er å trekke Thermomur ytterligere opp til samme høyde som overkant av øverste etasjeskiller. Løsning bør vurderes av fagperson innen akustikk for å se om dette kan være bedre mot flanketransmisjon.



Figur 9 Alternative utførelser for overgang mellom vegg av Thermomur og etasjeskiller for forbedret lydisolering mellom boenheter (illustrasjon: Jackon)

I overgang mellom trevegg og lydvegg av Thermomur 350HD er lydvegg avsluttet inntil trevegg og vil bli et svakt punkt, se figur 10. Jackon anbefaler løsning hvor Thermomur avsluttes inne i lydveggen som et tiltak for reduksjon av flanketransmisjon



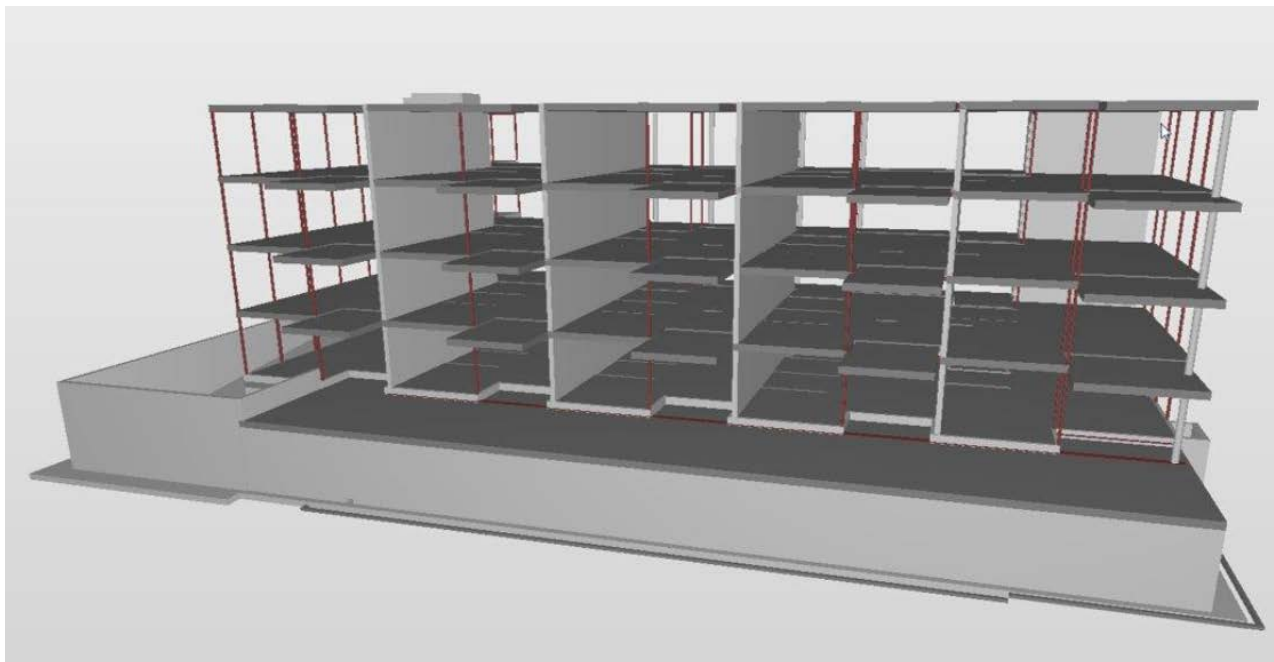
Figur 10 Løsning for overgang mellom Thermomur og lydvegg av bindingsverk. Til venstre bygd løsning på Rådalsåsen og til høyre anbefalt løsning av Jackon.(Illustrasjon: Jackon)

Lydmålingene ble utført i to rom i underetasjen i nederste bygg, mens støyproduksjon ble plassert på andre side av Thermomur skillevegg i boenhet som ligger noe høyere i terrenget. Lydmålingene ble gjort i nærheten av overgang mot bakvegg og foran mot trevegg. Lydmålinger ble gjennomført av Rambøll. På måletidspunktet var ikke himling ferdigstilt. Mangel på gips i himling og fuging av plater og overganger i vegger forsterker flanketransmisjonen. Det ble målt høye flanketransmisjon i begge rom gjennom himling og svært høye flanke transmisjoner i yttervegg. Målingene foran mot trevegg er $R'w$ 52dB og for bakvegg $R'w$ 57dB. Den teoretiske verdien på lydveggen er $Rw = 61dB$. Konklusjonen er at det bør gjøres nye målinger når bygget er komplett, og det forventes at flanketransmisjonen er redusert og vil oppfylle forskriftskrav til lydisolering.

6.4 Ressurs- og kostnadseffektivitet

Erfaringer som er innhentet i forbindelse med pilotprosjektet er at murere liker å jobbe med Thermomur. En av fordelene med Thermomur er at det blir lite kapp, mengden blir beregnet etter byggets tegninger og dermed minimerer EPS avfallet på byggeplass. I tillegg har nøyaktig tilpasset volum en positiv effekt på transport som er en stor og viktig del av verdikjeden fra materialleverandør til ferdig bygg.

Det var ikke mulig for prosjektet å hente ut tall fra pilotprosjektet på ressurs- og kostnadseffektivitet. Så analyser kostnader og tidseffektivitet er basert på kalkulerte kostnader fra Norgeshus for kostnader knyttet til oppføring av et leilighetsbygg i 4 etasjer og dokumentert i prosjektnotat Thermomur - kostnadssammenlikning mellom byggesystemer. Kostnader [12]. Beregningen er basert på et allerede oppført leilighetsbygg med bærekonstruksjon med stålsøyler og betongelement som etasjeskiller, se figur 11. Ytterveggen var bygd opp av bindingsverk av tre. De reelle kostnadene for dette bygget er sammenliknet med beregninger av kostnader for oppføring av et tilsvarende bygg med Thermomur vegger. Kostnadene som er beregnet inkluderer både materialkostnader og tidsbruk for oppføring.



Figur 11 Bæresystem for casebygg som er lagt til grunn for kostnadsberegningene. (Illustrasjon: Norgeshus)

Det er utført detaljerte beregninger for yttervegger til en leilighet i bygget. Kostnader for materialer og timebruk ble beregnet (uten merverdiavgift) til:

- Bindingsverksvegg kr 180 145,64
- Thermomur vegg kr 169 890,77

Beregnet kostnad for Thermomurveggen er 6% lavere enn bindingsverksveggen. En analyse av datamaterialet som inngår i beregningene viser at hovedårsaken til de høyere kostnadene for bindingsverksvegger er stålsøylene som utgjør bæresystemet i leilighetsbygget. Thermomur som har en kjerne av armert betong, krever ikke slik forsterkning.

Bindingsverksveggen i casebygget hadde en U-verdi på 0,22 W/m²K. Veggen av Thermomur som ble brukt i analysen hadde U-verdi 0,17 W/m²K. Lavere U-verdi vil gi mindre varmetap ved bruk av bygget, og reduserte kostnader til oppvarming. Thermomur gir slik sett både lavere byggekostnader og lavere driftskostnader til oppvarming.

6.5 Sirkulærøkonomisk analyse

Prosjektnotat *Thermomur byggesystem brannklasse 2* [13] inneholder en gjennomgang av dagens situasjon for sirkulærøkonomiske løsninger for EPS samt muligheter og barrierer for resirkulering av EPS i Norge. Mye av innholdet i dette delkapitlet er hentet fra miljøstiftelsen Zero sin rapport om status for resirkulering av EPS i Norge [14].

En sirkulærøkonomi har som formål å beholde høyest mulig grad av nytte og verdi i produktet, det vil si at vi må utnytte ressursene bedre, mer effektivt og lengre. For å skape en sirkulær verdikjede for EPS må produktene ikke bare være resirkulerbare, men de må også lages av resirkulert materiale.

EPS fra bygg er produkttypen som har lavest innsamlingsgrad i dag. Bransjen har et betydelig forbedringspotensial, samarbeid på tvers av bransjer er nøkkelen for å lykkes med å få EPS inn i sirkulær økonomien. EUs plastpolitikk er forankret i handlingsplanen for sirkulær økonomi fra 2020 [15]. Norge er forpliktet via EØS avtalen til å følge EUs regelverk. Regjeringens visjon er en mer bærekraftig verdikjede for plast globalt, regionalt og nasjonalt [16]. På globalt nivå er det viktig å få på plass en rettslig bindende global avtale mot plastforurensning. På regionalt nivå er det viktig å støtte EU sitt arbeid for et styrket produktrammeverk og gjennomføre dette i Norge, og å være en aktiv pådriver mot plastforurensning i det regionale havmiljøsam arbeidet. På nasjonalt nivå er det viktig å fremme bærekraftige plastprodukt, bærekraftig forbruk av plastprodukt og reduserte mengder plastavfall som ikke blir utnyttet for materialgjenvinning, samt hindre at plastavfall ender opp i naturen.

For å få EPS inn i sirkulærøkonomien må hele verdikjeden bidra, innsamlingsgraden av EPS må bli høyere. For å klare dette må vi samarbeide der vi tilrettelegger for innsamling, gode gjenvinning løsninger og bruken av gjenvunnet materiale. Vi må omstille oss slik at vi kan tilbyr miljøvennlige produkter med resirkulerte materialer for å tilfredsstille nødvendige krav, og unngå avgifter.

Følgende momenter er identifisert som muliggjørende faktorer og eksisterende barrierer for EPS i en sirkulærøkonomi

- Råstoff: ren EPS er 100 % resirkulerbar
- Byggeplass: dagens krav til avfallssortering og gjenvinning er knyttet til vekt [11, 17]. EPS er et lett materiale og gjenvinning av EPS blir derfor ikke prioritert. EPS blir som oftest likevel sortert som egen fraksjon på byggeplass, men avfallet sendes til forbrenning eller deponi.
- Retur av EPS avfall til fabrikk: Transport og logistikk er noen av de største utfordringene for en effektiv sirkulær prosess Byggprodukter av EPS blir som regel transportert direkte til byggeplass uten gode løsninger for håndtering av retur av kapp fra byggeprosessen. Som oftest overgår kostnaden ved avfallshåndtering verdien av dette som et råstoff. I tillegg kan ikke bygg EPS sorteres sammen med annen EPS, fordi det ikke er en del av produsentansvarsordningen som inkluderer EPS brukt som emballasje [18].

EPS kan ikke blandes med annen type plast, dette gjør at EPS må behandles som en egen fraksjon noe som gjør det ytterligere logistisk utfordrende. Samtidig er det positivt at innsamlet EPS beholder renheten, som er en fordel for videre bruk fordi EPS er 100% gjenvinnbart.

Manglende krav til utsortering av EPS gjør at det er opp til kommunene om de mener det er hensiktsmessig og økonomisk riktig å sortere ut EPS. EPS er en ressurskrevende fraksjon å håndtere på miljøstasjonene. EPS er en lett fraksjon, og gir lite utslag på sorteringsstatistikken. I tillegg utgjør fraksjonen bare to prosent av alle plaststrømmene nedstrøms, slik at EPS ikke anses som en vesentlig fraksjon for kommunene å håndtere. De har ofte plassmangel og må prioritere antall fraksjoner og lagerplass. EPS krever forholdsvis mye visuell inspeksjon for å hindre forurensinger fra andre plastfraksjoner og annet. Komprimering på stasjonene er tidkrevende. Små presser som har vært på en del miljøstasjoner krever mye oppfølging i form av mating i et jevnt tempo. For avfallsmottak som er værutsatte er det også krevende med innsamling fordi EPS i stor grad vil kunne flyve av gårde ved innsamling i sekker eller åpne containere.

Byggherrer og entreprenører spiller også en viktig rolle i å stille krav til riktig logistikk og løsninger for håndtering av EPS-kapp på byggeplass:

- i) utsortering i egne sekker så avfallet kan resirkuleres. Nødvendig med en kulturendring i bransjen hvis dette skal bli standard på norske byggeplasser. Informasjon og kunnskap til dem på byggeplass.

- ii) Økonomiske motiver i kontraktene rundt avfallsmål etableres.
- iii) Byggherre vil også være avgjørende for å skape etterspørselen etter produkter basert på bygninger resirkulerte EPS.
- iv) Byggherrer stiller krav om resirkulering av enkeltprodukter som har høy klimagevinst å resirkulere.

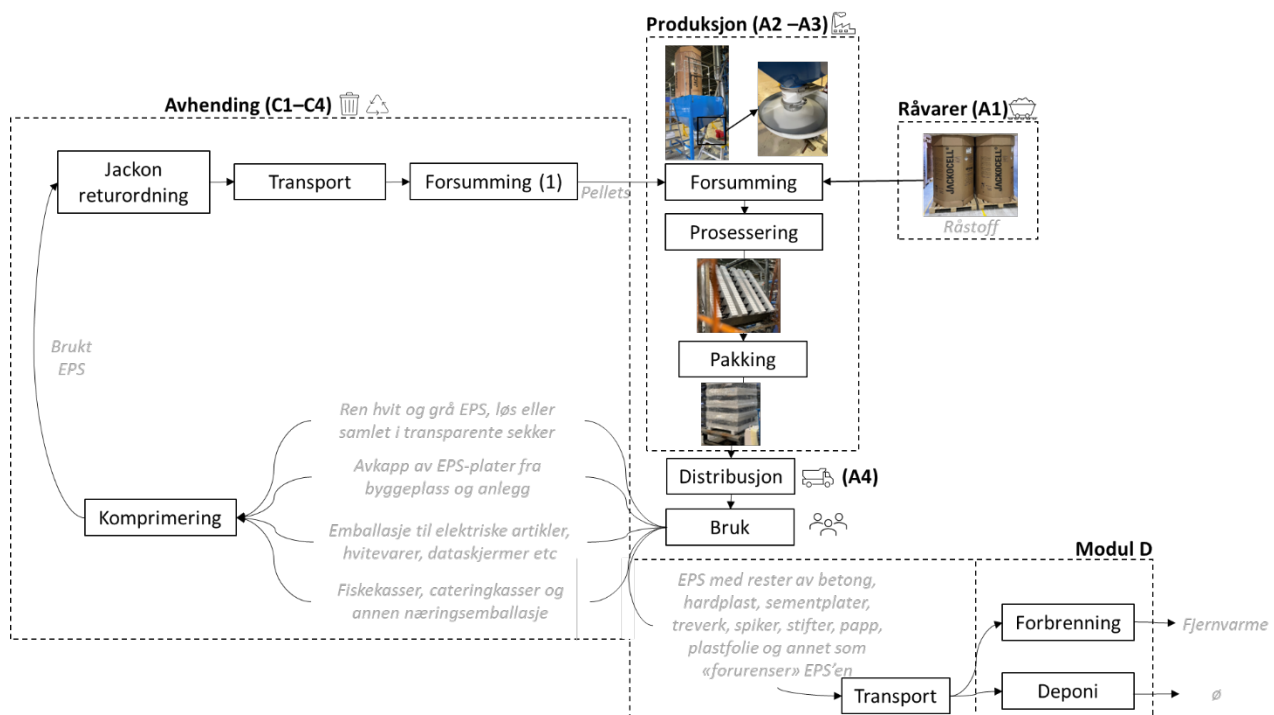
Innsamling i storekk ser ut til å være den mest effektive løsningen, hvor det samarbeides med returselskapene om felles regionale løsninger for mottak og komprimering av EPS.

6.6 Livsløpsanalyse

Det er gjennomført en forenklet livsløpsanalyse basert produktkategoriregler (NS-EN 15804, produktkategoriregler for byggevarer) og den norske standarden for klimagassregnskap for (NS3720). Hovedfokus var på produktfase (livsløpsmoduler A1-A3), installasjonsfase (A4-A5) og slutfase (C1-C4), med avhendingsscenarier for ombruk, materialgjenvinning, energigjenvinning og deponi [19]. Analysen ble brukt for å evaluere fremtidig scenarier for avfallshåndtering og gjenbruk som et grunnlag for å utvikle forbedre klimafotavtrykket for Thermomur og EPS byggprodukter. De forskjellige livsyklusstadiet er vist i figur 12.

Utvinning (A1)

EPS-råvaren er en polystyren-perle som har en størrelse på ca. 0,7mm opp til 1,0mm.



Figur12: Livsløp av EPS i Thermomur elementene (Illustrasjon SINTEF, bilder: Jackon)

Produksjon (A2-A3)

EPS er produsert ved å gjennomtrengne polystyren-perle med pentan, slik at perlene kan ekspandere når de utsettes for damp. Denne tilsetningen av et såkalt blåsemiddel gir 4 % - 6 % w/w. Etter det lagres EPS-perlene på silo inntil varen skal produseres. De ekspanderte EPS perlene blir sugd ut av silo via rør til støpemaskinen, hvor damp og trykk danner store blokker av EPS, og festet til Thermomur formen. Formen

blir tilsatt damp slik at kulene ekspanderer og smelter sammen. Deretter kjøles formen ned med vann og vacuum-undertrykk før produktet avformes¹.

Mengden EPS som går inn i formen bestemmer blokkens tetthet. For eksempel, en trykk klasse 80 gir en tetthet på 80 kN/m², som er ca. 15 kg/m³. Etter støpning luftes gjenværende blåsemiddel, pentan, ut og blokkene kuttes i ønsket form.

Når Thermomurblokken er kjølt ned, stables de og pakkes med strekkfilm. Stegene leveres slik fra eksterne leverandører. Roboten fester disse til Thermomurformen innen EPS perlene.

Distribusjon (A4)

Ferdig produkt er transportert til byggeplass. En fast distanse av 300km er antatt, basert på PCR.

Bruk

Produktet er brukt som isolasjon material i bygg. Bruksstadiet er her modellert som et mellomledd hvor EPS kommer ut fra og går videre til avhending: enten Jackon returordning, forbrenning med energiutnyttelse eller deponi.

Avhending (C1–C4)

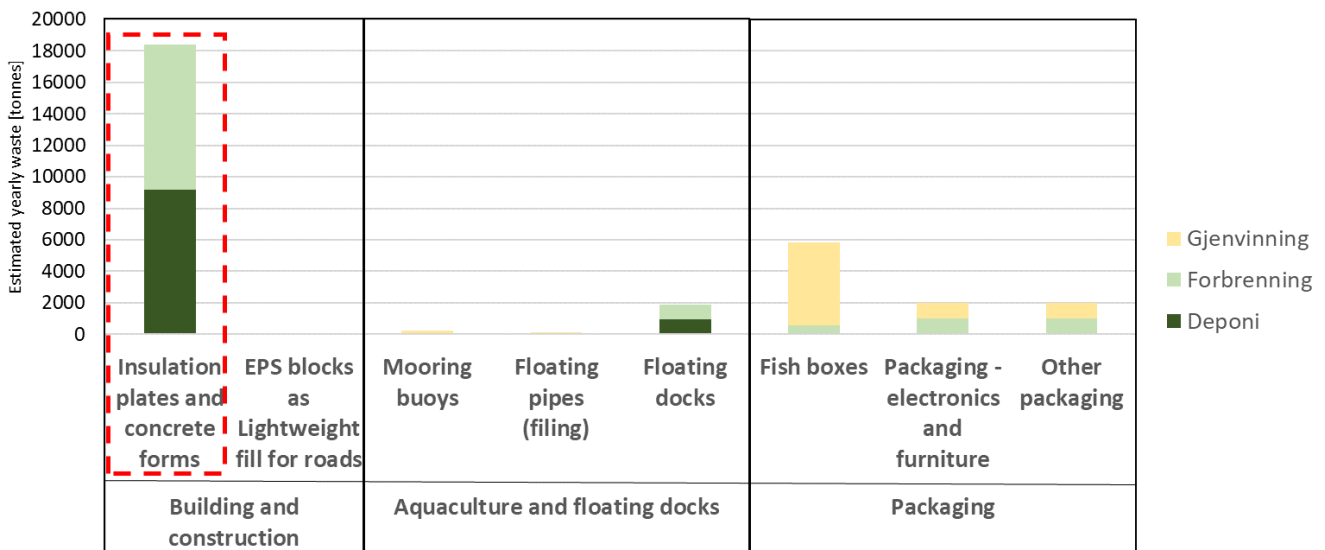
Fraksjoner som går til *Jackon returordning* er a) Ren hvit og grå EPS, løs eller samlet i transparente sekker, b) Avkapp av EPS-plater fra byggeplass og anlegg, c) Emballasje til elektriske artikler, hvitevarer, dataskjermer etc og d) Fiskekasser, cateringkasser og annen næringsemballasje.

Fraksjoner som går til *forbrenning* eller deponi er "forurenset EPS" som inneholder f.eks. rester av betong, hardplast, sementplater, treverk, spiker, stifter, papp eller plastfolie.

I løpet av de siste 50 årene har bruken av EPS i bygninger og veier økt betydelig. I bygninger har bruken økt på grunn av strengere krav til energibruk, og økende bruk for isolasjon materialer for å tilfredsstille energikravene. Dette fører til en situasjon hvor mengde EPS som benyttes i bygninger og veier er høyere enn det som skapes som avfall fra rivning av bygninger og veier årlig. I 2020 i Norge ble det produsert 70,000 tonn polystyren pellets for ekspansjon (produksjon av EPS) med en netto import av rundt 9,000 tonn. I samme år var EPS avfall på 30,550 tonn, som vist i Figur . EPS avfall utgjør da rundt en tredjedel av pellets som går på markedet, og etterspørselen etter resirkulerte materialer for produksjon av EPS og XPS kan de facto ikke oppfylles per i dag. Thermomur befinner seg under "Insulation plates and concrete forms", som er største kilde for EPS avfall. I 2020 var det 18370 tonn avfall av isolasjonsplater og betong former fra EPS og XPS. Det er vanskelig å få tall på antall som gikk til gjenvinning, forbrenning og deponi, og en splitt av 50%/50% er derfor antatt².

¹ <https://www.epd-norge.no/isolasjon/jackopor-80-eps-insulation-boards-article3238-321.html>

² <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2022/januar/reduced-littering-from-expanded-plastics-mapping-and-evaluation-of-measures/>



Figur 13: Behandling av EPS fra kasserte produkter, materialer og emballasje i Norge i 2020, basert på estimater av produkter, materialer og emballasje³

Scenariene er blitt utviklet for å beskrive dagens situasjon, og beskrive mulige framtidige utviklinger som tar hensyn til en økt bruk av rensemetode, bedre materialseparering, gjenbruk, og komprimering av EPS avfall før det fraktes.

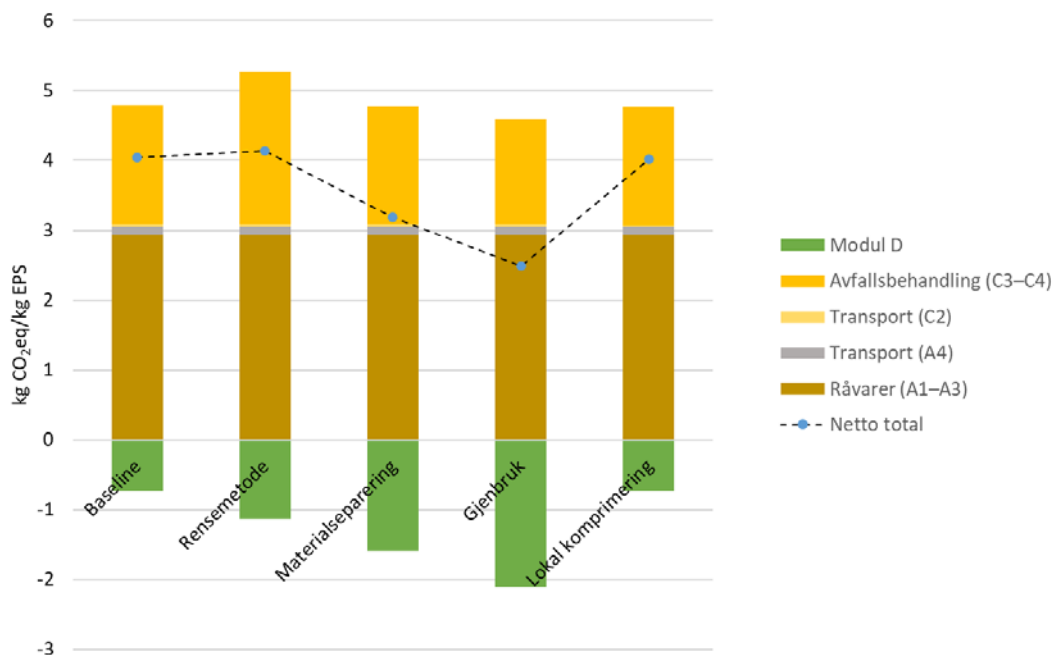
Tabell 3 Scenario for ulike livsløp for EPS fra bygg og anlegg

Scenario		Avfallshåndtering				Transport	
Navn	Beskrivelse	Gjenvinning	Forbrenning	Deponi	Gjenbruk	A4	C2
Baseline	Dagens situasjon	2 %	49 %	49 %	0 %	300 km	100 km
Rensemetode	Bedre rensemetode fører til mindre EPS fra byggeplass som går til deponi.	10 %	60 %	30 %	0 %		
Materialseparering	Bedre materialseparering fører til mer EPS som kan gå til gjenvinning	40 %	30 %	30 %	0 %		
Gjenbruk	Mulighetene for å skjære ut en veggskive. Levetiden til EPS og betong er lang selv om overflaten har kortere levetid.	40 %	25 %	15 %	20 %		
Lokal komprimering	Komprimering på byggeplass fører til bedre utnyttelse av lastebil	2 %	49 %	49 %	0 %		

Disse utslippsintensitet er brukt for de forskjellige avfallshåndtering prosesser; 1.7 kg CO₂eq/kg_{EPS} for gjenvinning, 3.3 kg CO₂eq/kg_{EPS} for forbrenning og 0.01 kg CO₂eq/kg_{EPS} for deponi.

³ <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2022/januar/reduced-littering-from-expanded-plastics-mapping-and-evaluation-of-measures/>

Resultatene for de ulike scenarioene er vist i Figur 14. Delene som ligger på den positive siden av y-aksen tilsvarer produksjonsstadiet av råvarer (A1–A3), transport av EPS til byggeplass (A4), transport av brukt EPS fra byggeplass til avfallsbehandling (C2) og avfallsbehandling (C3–C4). Delen som ligger på den negative siden av y-aksen tilsvarer miljøgevinst ved ombruk, gjenvinning eller energiutnyttelse, summert opp i modul D. Netto resultater er summen av miljøbidrag (positive siden av y-akse), minus miljøgevinst modul D (negative siden av y-akse).



Figur14: Scenario resultatene for klimagassutslipp for EPS gjennom livsløpet

Først skal resultater tolkes på miljøbidrag (positive siden av y-aksen). Baseline scenario scorer med 4.79 kg CO₂eq/kg_{EPS}. Rensemethode går opp med 10% for en score på 5.27 kg CO₂eq/kg_{EPS}. Økningen skyldes at mer EPS er sendt til forbrenning i stedet for deponi. I deponi er fossilt karbon ikke oksidert som det ville blitt i forbrenning, og dermed har deponi mindre klimabidrag i våre beregninger. Dette er på et kortsiktig perspektiv, og det tas ikke hensyn til andre miljøproblemer som EPS i deponi kan medføre i et langsiktig perspektiv.

Materialeseparering scorer med 4.78 kg CO₂eq/kg_{EPS} veldig likt baseline scenario. Vi ser en liten nedgang på 4% for Gjenbruk som scorer på 4.60 kg CO₂eq/kg_{EPS}, og en veldig lik score på 4.76 kg CO₂eq/kg_{EPS} for Lokal komprimering.

Forskjellene mellom scenarioene er større når man ser på netto resultatene. Dette fordi man nå tar hensyn til materialer som er spart når man gjenvinner EPS, bruker EPS om eller når man forbrenner EPS med energiutnyttelse. Sammenlignet med Baseline ser man først en liten økning av 2% for Rensemethode etterfulgt av en nedgang på -21% for Materialeseparering og av -38% for Gjenbruk. Å komprimere EPS lokal gir en liten miljøgevinst på -1%.

Usikkerhet i beregningene er knyttet til:

- I kvaliteten av de forskjellige EPS avfall strømmene. Hva er reelt potensiale for å bruke EPS avfallsstrømmene for å lage resirkulert EPS? Hvor mye av disse avfallsstrømmene går til forbrenning eller deponi på grunn av for høy forurensingsgrad?
- Antagelsen at resirkulert EPS erstatter jomfru EPS. 1:1 tilnærming kan videre undersøkes og nyanseres.

I denne studien er det blitt utforsket scenario som tilsvarer mer sirkulært forrningsmodeller. Resultater viser at scenarioene som kommer best ut er scenariene hvor EPS er ombruket eller gjenvunnet framfor å sende EPS til forbrenning med energiutnyttelse.

6.7 Riving og sortering

Prosjektet har ikke lyktes med å finne riveprosjekter som inkluderer Thermomur. Thermomur byggesystem ble først introdusert i markedet på 1990-tallet. For å kunne utvikle prosedyrer for riving og optimal resirkulering eller gjenbruk av EPS i Thermomur-elementene, er det en fordel å kunne ha realistiske case. Den sirkulærøkonomiske analysen viste at det er særlig logistikk og transport som vil være avgjørende for å lykkes med å få brukt EPS tilbake til fabrikk for resirkulering. Dette er årsaken til at prosjektet valgte å få utviklet en prototype for separering av materialene som inngår i Thermomur heller enn å utvikle prosedyrer for riving.

En løsning og en prototype for fluidbasert separasjon av plaststeg og EPS i Thermomur er utviklet i en bacheloroppgave ved Høgskolen i Østfold [20]. En demonstrasjon av prototypen viste at konseptet fungerte. EPS og plaststeg ble skilt ut som egne fraksjoner.

Referanser

- [1] Standard Norge, *NS-EN 14135:2004 Kledninger - Bestemmelse av evne til brannbeskyttelse*, 2004.
- [2] SP Technical Research Institute of Sweden, *SP FIRE 105*, 1994.
- [3] Standard Norge, *NS-EN 1366-3:2009 Prøving av brannmotstanden til tekniske installasjoner - Del 3: Gjennomføringstetninger.*, 2009.
- [4] Standard Norge, *NS 3901:2012 Krav til risikovurdering av branni byggverk*, 2012.
- [5] SINTEF Byggforsk, «321.051 Brannenergi i bygninger. Beregninger og statistiske verdier,» 2013.
- [6] SP Technical Research Institute of Sweden, «SP Fire 105. External wall assemblies and facade claddings. Reaction to fire.,» SP Technical Research Institute of Sweden, 1994.
- [7] Standard Norge, «NS-EN 14135:2004 Kledninger - bestemmelse av evne til brannbeskyttelse,» Standard Norge, Oslo, 2004.
- [8] K. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd, R. McDermott og M. Vanella, «Fire Dynamics Simulator Users Guide. NIST Special Publication 1019. Sixth Edition.,» NIST (National Institute of Standards and Technology), 2019.
- [9] Standard Norge, «EN 13501-2:2016. Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 2: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer.,» Standard Norge, 2016.
- [10] B. Risholt, S. T. Kolstad, H. Hyndøy og T. Myrland, «Retningslinjer for SINTEF Teknisk Godkjenning. EPS byggsystem, isolasjon og forskalingssystem. Vedlegg for bruk i BKL inntil 4 etasjer (under arbeid- fortrolig),» 2022.
- [11] E. O. R. E. Svein Tore Larsen, «Thermomur byggesystem Rådalsåsen,» (ikke åpent tilgjengelig), 2022.
- [12] DiBk, «Byggeteknisk forskrift,» Direktoratet for byggkvalitet, 2017.
- [13] S. T. Larsen, «Thermomur - kostnadssammenlikning av byggesystemer. Kostnader,» (ikke åpent tilgjengelig), 2022.
- [14] T. C. Lie, «Thermomur byggesystem brannklasse 2,» ikke åpent tilgjengelig, 2022.
- [15] S. B. Stub, «Etablering av full verdikjede for innsamling av brukt EPS (isopor) i Norge.,» Stiftelsen Zero, 2021.
- [16] EC, «A European Strategy for plastics in a circular economy,» 2018. [Internett]. Available: <https://www.euoparc.org/wp-content/uploads/2018/01/Eu-plastics-strategy-brochure.pdf>.
- [17] Regjeringen, «Noregs plaststrategi,» 10 8 2021. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/noregs-plaststrategi/id2867004/>.
- [18] Miljøverndepartementet, «Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall,» 1 11 2021. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-930>.
- [19] Miljødirektoratet, «Veileder for emballasje,» 31 5 2021. [Internett]. Available: <https://produsentansvar.miljodirektoratet.no/>.
- [20] C. Lausset, «Thermomur byggesystem - LCA,» ikke åpent tilgjengelig, 2022.
- [21] A. Johansen og S. Hilder, «Resirkulering av Jackon Thermomur,» Høgskolen i Østfold, 2022.
- [22] A.-M. Haukø, «Rapport. H1 Metodikk. Kravspesifikasjon Thermomur byggesystem,» SINTEF Community, Trondheim, 2020.

[23] Standard Norge, «EN 1366-3:2021.Prøving av brannmotstanden til tekniske installasjoner. Del 3: Gjennomføringstetninger,» Standard Norge, 2021.