

Kartlegging av forutsetningar for berekraftig oppgradering mot nullutsleppsområde, med fokus på sirkulære materialstraumar og klimagassrekneskap

Case: Sentralbygg 1 og 2 på Campus Gløshaugen, NTNU Trondheim

Mapping of Prerequisites for a Sustainable Upgrade Towards a Zero-Emission Neighbourhood, With Focus on Circular Material Flows and Greenhouse Gas Inventory

Case: Sentralbygg 1 and 2 at Campus Gløshaugen, NTNU Trondheim

Trondheim Mai 2022

Paulina Kristina Andersson
Marit Furset

Intern rettleiar:
Bozena Dorota Hrynyszyn

Medrettleiar:
David Bjelland

Prosjektnr:
2022 – 31

Rapporten er:
OPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Rapporten er OPEN

Problemdefinering, prosjektskildring og resultatmål

Prosjektet handlar om berekraftig oppgradering av fasaden til eksisterande bygg, spesifikt Sentralbygg 1 og 2 på campus Gløshaugen i Trondheim. Det skal sjåast på materialval og korleis dette verkar inn på eit klimagassrekneskap. For fasademateriala vil det særleg undersøkast kring moglegheitene for gjenbruk. Oppgraderinga skal bidra til energieffektivisering mot høgare energistandard. Rammeverket rundt prosjektarbeidet vil vere Zero Emission Building (ZEB), med Zero Emission Neighbourhood (ZEN) som overordna mål for campusområdet.

Arbeidet vil gå ut på å kartlegge den eksisterande situasjonen til fasademateriala og -komponentane. I tillegg skal det kartleggast material til oppgraderinga og funksjonane til desse. Gjennom klimagassrekneskapen og analyse av den kartlagde informasjonen er målet å finne berekraftige løysingar for oppgraderinga. Løysingane skal redusere klimagassutsleppa knytt til material og komponentar. Bacheloroppgåva vert og knytt til ei doktorgradsavhandling som vert skrive innom temaet ZEN.

Stikkord fra prosjektet:

Energioppgradering, berekraftig fasaderenovering, LCA og klimagassrekneskap, ZEB, ZEN.

Forord

Denne bacheloroppgåva tilsvara 20 studiepoeng, og er det avsluttande arbeidet på byggingeniørstudiet ved NTNU Trondheim, våren 2022. Inga finansiering har vore naudsynt i løpet av arbeidet med bacheloroppgåva. Saman med ei anna bacheloroppgåve er arbeidet tenkt som grunnlag for eit doktorarbeid av David Bjelland, som er i oppstartsfasen. Grunna den tidlege fasen stod vi veldig fritt til å velje utforming og fokus på oppgåva. Noko som var svært spennande, men som også baud på utfordringar når det kom til å avgrense oppgåva. Prosessen med å samle informasjon og material om bygningane har vore mykje meir tidkrevjande enn først antekte. Det å organisere og analysere den samla informasjon kravde også ein heil del arbeidstimar. Etter kvart har også løysingar og resultat vakse frem. Vi ser tilbake på arbeidsprosessen som lærerik, og er svært takksame for det gode samarbeidet vi har hatt heile vegen.

Vi ynsker å rette ein stort takk til Arne Mathias Selberg, som med sin betongekspertise har gitt oss grunnlag for å evaluere tilstanden på betongkonstruksjonane. Vidare vil vi takke andre fagfolk som har tatt seg tid til å dele av sin kunnskap med oss. Vi vil også takke bachelorgruppa som har arbeida parallelt med oss. Takk til Joachim Schjølberg Andersen, Einar Granli Hansen og Johan August Sundland for gode diskusjonar og deling av informasjon. Ein stort takk går også til familien Furset og vener, også kalla nynorskpatruljen, for korrekturlesing og innspel. Her går ei ekstra gullstjerne til storesøster Ragnhild Furset, som har lagt ned mange timar og stor entusiasme for å mogleggjere ei bacheloroppgåve på nynorsk. Noko som har vore utfordrande då bachelorgruppa er 50% svensktalande.

Den største takken vil vi rette til vår rettleiar Bozena D. Hrynyszyn og medrettleiar David Bjelland. Tusen takk for all støtte og verdifulle innspel under alle toppar og dalar i arbeidet.

Trondheim, 20. mai 2022


Paulina Kristina Andersson


Marit Furset

Samandrag

Denne rapporten er ei casestudie av to høgbygg frå 1960-åra på campus Gløshaugen ved Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet i Trondheim. Oppgåva undersøker korleis ein kan oppgradera fasadane til bygningane på ein berekraftig måte, med fokus på minimering av avfall og sirkulær materialflyt. Arbeidet er gjort gjennom kartlegging av konstruksjonsdetaljar og eksisterande material. Evalueringa av ein sannsynleg tilstand til materiala og den berande konstruksjonen er gjort gjennom ein kombinasjon av simuleringar, observasjonar, termografering, og innhenting av teoretisk informasjon frå diverse kjelder. Utrekningar av kuldebruer og diffusjon er presentert i resultata. Basert på denne informasjonen er konklusjonen å fjerne dei eksisterande fasadane på bygningane. Dette mogleggjer at ein kan beskytte det eksisterande beresystemet, og installere eit moderne og energieffektiv fasadesystem som understøtta ein sirkulær materialflyt. Det redusera også risikoen for kondens, noko det var funne risiko for i diffusjonsutrekningane. Ein fann ut at kuldebruene i bygningane har ein stor innverknad på energibruken i bygningane. Eit nytt fasadesystem gjer det også mogleg å bryte desse kuldebruene. Ein annan fordel er moglegheitene ein får til å auke stadskvalitetane til bygningane, både innandørs og utandørs. Avfallet som vert produsert ved demontering av dei eksisterande fasadane har høgt potensiale for resirkulering.

Abstract

This report is a case study of two high-rise buildings from the 1960's on campus Gløshaugen, at the Norwegian University of Science and Technology in Trondheim. The study investigates how to approach a sustainable upgrade of the façades of the buildings, with a focus on waste minimizing and circular material flows. This is done through mapping of the constructional details and existing materials. Likely condition of the materials and the load-bearing construction in the façade is assessed through a combination of simulation, observation, thermography, and theoretical information from various sources. From the results, calculations on thermal bridges and diffusion are presented. Based on this information the conclusion is to strip the buildings from the current façade system. This enables protection of the existing load-bearing construction, and the installation of a modern and energy-efficient facade system that supports circular material flows. It also reduces the risk of condensation that was found in the diffusion calculations. Thermal bridges were found to have a large impact on the energy use of the buildings. A new façade system also enables a more thorough disruption of these thermal bridges. Another advantage is the possibility to increase the spatial qualities of the buildings, both inside and outside. The waste produced from dismantling the old façade is considered to have high potential for recycling.

Forkortingar

BRA – bruksareal

DiBK – Direktoratet for byggkvalitet

EPD – Environmental Product Declaration

FME – Forskningssettene for miljøvennlig energi

FN – Dei sameinte nasjonane

FoU – Forsking og utvikling

KPIar – Key performance indicators

LCA – Life Cycle Assessment

NTNU – Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet

RF – Relativ fuktigheit

S1 – Sentralbygg 1

S2 – Sentralbygg 2

TEK17 – Byggteknisk forskrift

THERM – Programvare for todimensjonal varmetransportmodellering i bygningar

ZEB – Zero Emission Building

ZEN – Zero Emission Neighbourhood

Innhald

Forord.....	II
Samandrag.....	III
Abstract.....	IV
Forkortingar	V
Bileteliste	VIII
Tabelliste.....	VIII
1 Introduksjon	1
1.1 Motivasjon for oppgåva og ZEB.....	1
1.2 FME ZEN.....	2
1.3 Case Sentralbygg 1 og 2.....	4
1.4 Avgrensing av oppgåva.....	6
2 Metode	7
2.1 Organiseringa av arbeidet.....	7
2.2 Kartlegginga del 1	9
2.2.1 Arkivsenteret Dora.....	9
2.2.2 Intervju.....	9
2.2.3 Digital modell	10
2.3 Kartlegging del 2.....	10
2.3.1 Ekskursjon.....	10
2.3.2 Termografering	10
2.3.3 Programvare og simulering.....	10
2.4 Informasjonsbibliotek.....	11
2.5 Analysere eksisterande situasjon.....	12
2.5.1 Samanlikning av termografering og simuleringar	12

2.5.2	Materialvurdering	12
2.5.3	Utrekningar	12
3	Teori.....	14
3.1	Bygningsfysikk.....	14
3.2	Termografering.....	21
3.3	Materiale.....	21
3.4	LCA – Livslaupsanalyse	27
3.5	Energistandard.....	28
4	Resultat	29
4.1	Oppbygging og storleik.....	29
4.2	Bygningsfysisk tilstand	31
4.3	Materialteknisk tilstand	41
4.4	Klimagassrekneskap.....	44
5	Diskusjon	45
5.1	Usikkerheiter og feilkjelder.....	45
5.2	Resultatdrøfting	46
5.3	FoU-kapittel	50
6	Konklusjon.....	51
6.1	Forslag til oppgradering	51
6.2	Vegen vidare	52
	Referanseliste.....	53

Biletliste

Bilete 1: Oversikt over dei ulike nivåa ein kan oppnå i ZEB	2
Bilete 2: Campus sett overnfrå. Gamle Kjemi. Sentralbygg 2 og Sentralbygg 1 er midt i bilete. Markøren står på Gamle Kjemi.....	4
Bilete 3: Bilete av campus tatt frå avstand. S1 og S2 er godt synleg	5
Bilete 4: Oversikt over retningar.....	6
Bilete 5: Oversikt over livslaupsfasar og systemgrenser. Henta frå byggforskblad 470.102 (56) ..	27
Bilete 6: Utsnitt av bilde IMG_0744. Ein kan sjå gummilista på høgresida av søyla	29
Bilete 7: Storleikane på Sentralbygget. Dei svarte områda, grunnmur, mellombygg og tak, er ikkje med i oppgåva	29
Bilete 8: Illustrert oppbygging av søylevegg, sett utsida.....	30
Bilete 9: Illustrert oppbygging av søyleveggen, sett frå innsida.....	30
Bilete 10: Oppbygging av gavlveggane. Overgangen mellom 3. og 4. etg. Det mørke er plasstøypet betong, det lyse er porebetong.	31
Bilete 11: Termografi på sørleg fasade på S1	32
Bilete 12: Termografi på nordleg fasade på S1	33
Bilete 13: Termografi på austleg fasade på S1	34
Bilete 14: Termografi av nordleg fasade på S1	35
Bilete 15: Termografi på sørleg fasade på S1	35
Bilete 16: Termografi av austleg fasade på S2	36
Bilete 17: Simulert temperaturendring mellom søyler på langveggane.....	37
Bilete 18: Simulert temperaturendring i søyleveggen ved dekke	38
Bilete 19: Simulert temperaturendring i gavlveggen. Innervegg til venstre og dekket til høgre.....	39

Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over varmemotstand i ulike retningar og overflater.....	19
Tabell 2: Krav til U-verdiar og normalisert kuldebruverdi for ulike energistandardar	28
Tabell 3: Oversikt over U-verdi og kuldebruverdi for S1(blått) og S2(grønt)	40
Tabell 4: Den totale vekta av betongplatene på ei bygning	42

1 Introduksjon

Denne oppgåva er ein del av eit doktorarbeid knytt til forskingssenter FME ZEN. Doktorarbeidet fokuserer på eit av FME ZEN sine pilotprosjekt, nemleg NTNU campus Gløshaugen. Arbeidet ser på korleis ein kan oppgradera det sentrale strøket mot eit nullutsleppsområde. Her kjem denne rapport inn som ein del eit startskot i kartlegginga og moglegheitsstudie for framtidige oppgraderingsscenario. Dei påfølgande kapitla beskriv kvifor denne oppgåva vart valt, og sett den inn i ein større kontekst. Vidare vil casen for oppgåva og kva avgrensingar som vart sett verte presentert.

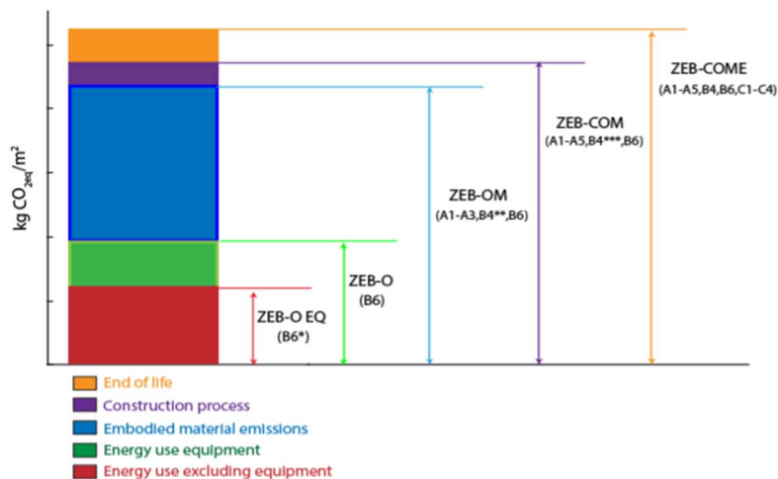
1.1 Motivasjon for oppgåva og ZEB

Byggenæringa vert ofte kalla 40%-næringa. Dette fordi næringa på globalt nivå står for 40% av klimagassutsleppet, av ressursbruket, og nesten 40% av energiforbruket i verda (1). Dersom Noreg skal oppnå klimamålet om å redusere klimagassutsleppa med 90-95% innan 2050¹(2), har byggenæringa i Norge eit stort ansvar. Grønn Byggallianse er ein non-profit medlemsforeining for bygg- og eigedomssektoren som arbeidar for å fremje miljø og berekraft i sektoren. Dei har laga ei liste over tiltak som skal bidra til å halvere utsleppa. Lista inneber; 1) rive mindre, 2) ombruka fleire material, 3) velje løysingar og byggevarer som gir eit lågare utslepp i eit livslausperspektiv, 4) ha 100% fossilfrie og snart heilt utsleppsfrie bygge- og anleggsplassar og 5) energieffektivisere eksisterande bygg (3). Eldre bygg er som regel dårlegare isolert, dei kan vere utette og inneha dårlege komponentar. Dette fører til høgare bruk av energi enn naudsynt og dermed eit større klimaavtrykk enn naudsynt.

Forskingssenteret ZEB definerer «Zero Emission Buildings» som bygningar som produserer fornybar energi for å kompensere for utsleppa av klimagassar som bygget har gjennom si levetid (4). Såkalla nullutsleppsbygningar. Det finst i dag ingen allment akseptert definisjon av nullutsleppsbygningar, verken i Norge eller internasjonalt (5). Ein kan oppnå ulike gradar av ZEB, avhengig av kor mykje av bygget si levetid som vert kompensert av produksjonen (4). Sjå bilete 1 for utfyllande beskriving. Visjonen til Forskingssenteret ZEB er å eliminere klimagassutsleppa

¹ 90-95% reduksjon frå referanseåret 1990.

som bygningar står for. Målet til Forskingssenteret er å utvikle konkurransedyktige produkt, kunnskap og løysingar for nye og eksisterande bygningar (6).



Bilete 1: Oversikt over dei ulike nivåa ein kan oppnå i ZEB

Dei ulike bokstavane bak ZEB refererer til ulike delar av bygget. M-en i dei tre øvste nivåa refererer til klimagassutsleppa i forbindelse med byggemateriala som vert nytta i bygget. Det vil seie produksjonen, bygginga, bruken og rivinga av materiala (4, s. 5). I denne oppgåva vil det bli sett

på materiala i fasadane på bygningane, og prosessane knytt til desse.

Gjennom å kompensere for utslepp ved å produsere energi er det lett å tenke at ein større produksjon av fornybar energi (til dømes med solceller) gir meir kompensasjon. Dette er ikkje alltid det beste alternativet i eit miljøperspektiv. Det er viktig å huske på at det mest miljøvennlege utsleppet er utsleppet ein ikkje har. Når det kjem til oppgradering av bygningar er det difor viktig å finne eit scenario som balanserer emisjonar frå oppgraderinga mot dei økonomiske, energisparande og energiproduserande aspekta.

1.2 FME ZEN

ZEN er vidareutviklinga av forskingsarbeidet rundt ZEB. Målet er å mogleggjere overgangen til eit lav-karbon samfunn gjennom å utvikle heile nabolag til nullutsleppsområder av klimagassar (7, s.8).

Eit område er definert som ei gruppe bygningar med ei forbindelse og felles infrastruktur, i eit geografisk avgrensa område. Målet for eit nullutsleppsområdet er å redusere både dei direkte og

indirekte klimagassutsleppa mot null. Det skal gjerast over ei bestemd analyseperiode, som oftast er 60 år (7, s.15).

For å lykkast med dette tek ein utgangspunkt i dei sju definerte hovudkategoriane:

- Klimagassutslepp
- Energi
- Effekt
- Mobilitet
- Økonomi
- Stads kvalitetar
- Innovasjon

For kvar av desse kategoriane er det definert vurderingskriterier som igjen er brote ned i målbare indikatorar, såkalla KPIar. Dei skal gi eit rammeverk på kva som skal målast og korleis det skal dokumenterast i dei forskjellige kategoriane. Til dømes er det definert to vurderingskriterier for kategorien klimagassutslepp. Dette er totalt klimagassutslepp og reduksjon av klimagassutslepp (7, s.25). Når det kjem til evaluering av utsleppsmengder av klimagassar er metoden frå ZEN å føretrekte då den i tillegg til kartlegging av emisjonar, også gir samanlikning av reduksjon i utsleppa. Noko som er nyttig ved avgjersler i planleggingsprosessen. Dette gjer ein ved å ta utgangspunkt i eit referanseprosjekt som ein evaluera alternative scenario mot for å sjå prosentueelt kva reduksjonar i utslepp det gir (7, s.34).

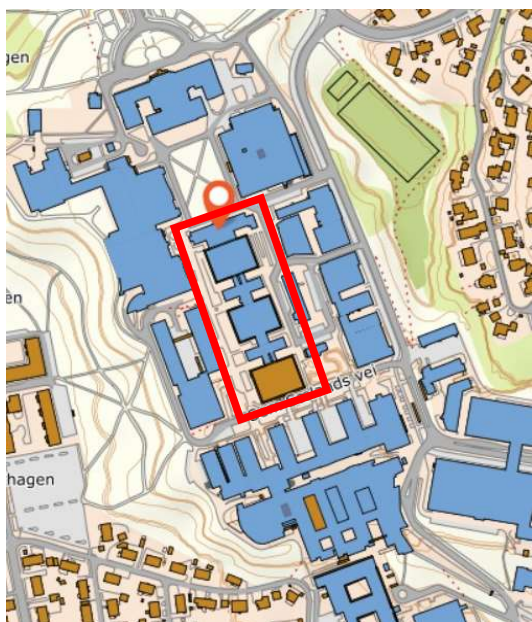
Det å sjå på bygningar i ZEN-perspektiv inneber å vurdere eit komplekst system med mange faktorar involvert. Løysingane skal vere berekraftige i sosiale, miljømessige og økonomiske kontekstar for heile området, noko dei sju hovudkategoriane spegla. Det å sjå på ei bygning i ZEB-perspektiv gir meir direkte og konkrete faktorar å vurdere, samtidig mistar ein konteksten og moglegheitene for å vurdere ei bygning som ein del av eit større område (8).

ZEN-prosjektet har ni pilotprosjekt der ein testa og forska på korleis ein kan nytte eit nabolag til å redusere klimagassutsleppa til null på nabolagsnivå. Eit av desse er «NTNU campus, Knowledge Axis i Trondheim». Av dei sju ZEN-kriteria ligger hovudfokus på klimagassutslepp, energi og stads kvalitetar i pilotprosjektet på NTNU Campus (9). Oppgåva kjem ikkje til å følgje arbeidsmetodane utarbeida for ZEN-områder, men kjem heller til å bruke hovudprinsippa som

grunnlag for diskusjon om korleis bygga spelar inn på campusområdet som heilheit. Det same gjelder for ZEB, men vurdering av tiltaka er preget av metodar og teori knytt til ZEB.

1.3 Case Sentralbygg 1 og 2

S1 og S2 er ein del av ei samling med bygningar i betong som står på Gløshaugen, eit av campusområda til NTNU i Trondheim. Det er arkitekt og professor Karl Grevstad som har teikna



Bilete 2: Campus sett overnfrå. Gamle Kjemi. Sentralbygg 2 og Sentralbygg 1 er midt i bilete. Markøren står på Gamle Kjemi.

bygningane (10). Ein gamal anbodsperm viser at S1 vart planlagt i 1959, medan teikningar over S2 viser at det var planlagt i 1965 (vedlegg 2). S1 og S2 er ei rekkje samankopla bygningar som er bygd saman med Gamle Kjemi på Gløshaugen, sjå bilete 2. Lengst nord-nordøst i denne rekkja ligg Gamle Kjemi, teikna av Bredo Greve og oppført i perioden 1905-1910 (11). Sør-sørøst for Gamle Kjemi ligg S2 som består av nordre lågblock, ei mellomblock, ei høgblock og endå ei mellomblock. Vidare sør-sørøst ligg S1 som består av midtre lågblock, ei høgblock, endå ei mellomblock og sørlege lågblock. Lågblockene og mellomblockene vart opphavleg bygd med to etasjar, men i ettertid har dei blitt bygd ut med ei etasje og har i dag derfor tre etasjar. I denne oppgåva vil berre høgblocka i S1 bli omtala som S1, det same gjeld S2. På Gløshaugen har dei fleste bygningane 4-5 etasjar og har fasadar i steingrå og fargar i ein jordfarga palett. Med 13 etasjar (pluss teknisk rom på taket) og hovudsakleg lysegrå fargar skil S1 og S2 seg ut på campus, og bygningane er godt synleg i bybilete når ein har utsikt mot campus.

bygningane (10). Ein gamal anbodsperm viser at S1 vart planlagt i 1959, medan teikningar over S2 viser at det var planlagt i 1965 (vedlegg 2). S1 og S2 er ei rekkje samankopla bygningar som er bygd saman med Gamle Kjemi på Gløshaugen, sjå bilete 2.

Lengst nord-nordøst i denne rekkja ligg Gamle Kjemi, teikna av Bredo Greve og oppført i perioden 1905-1910 (11). Sør-sørøst for Gamle Kjemi ligg S2 som består av nordre lågblock, ei mellomblock, ei høgblock og endå ei mellomblock. Vidare sør-sørøst ligg S1 som består av midtre lågblock, ei høgblock, endå ei mellomblock og sørlege lågblock.

Lågblockene og mellomblockene vart opphavleg bygd med to etasjar, men i ettertid har dei blitt bygd



Bilete 3: Bilete av campus tatt frå avstand. S1 og S2 er godt synleg

S1 ligg i Alfred Getz veg 3 og rommar i dag mellom anna Fakultetet for arkitektur og design, Institutt for industriell økonomi og teknologileiing, faggrupper, instituttadministrasjon og Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities – FME ZEN (vedlegg 7). Ut i frå teikningar tilsendt frå Arkivverket i Oslo (vedlegg 3) kan det verke som S1 opphavelg var tiltenkt byggingenørstudiet, med plass til fagområde som husbyggingsteknikk, betong, stål- og trekonstruksjon, statikk, geoteknikk og to heile etasjar med teiknesalar.

S2 ligg i Alfred Getz veg 1 og rommar i dag mellom anna Institutt for matematiske fag, Instituttet for industriell økonomi og teknologileiing og arbeidsplassar for studentar (vedlegg 7). Tidlegare romma bygget mellom anna mekanikk, ren og anvendt matematikk, psykologi, teiknesalar og ei kantine i øvste etasje. Ut i frå denne hovuddisposisjonen over etasjane frå 1965 ser det ut som det opphavelg var planlagt tre sentralbygg, desse planane vart ikkje gjennomført då det i dag står to sentralbygg på campus, sjå vedlegg 3.



Bilete 4: Oversikt over retningar

Fasadane på langsidenes er vendt mot nord-nordvest (heretter fasade nord) og sør-sørøst (heretter fasade sør). Veggane på kortsidene er vendt mot vest-sørvest (heretter fasade vest) og aust-nordøst (heretter fasade aust). Sjå bilete 4 for oversikt. Dei vert også referert til som gavlveggane i denne oppgåva.

1.4 Avgrensing av oppgåva

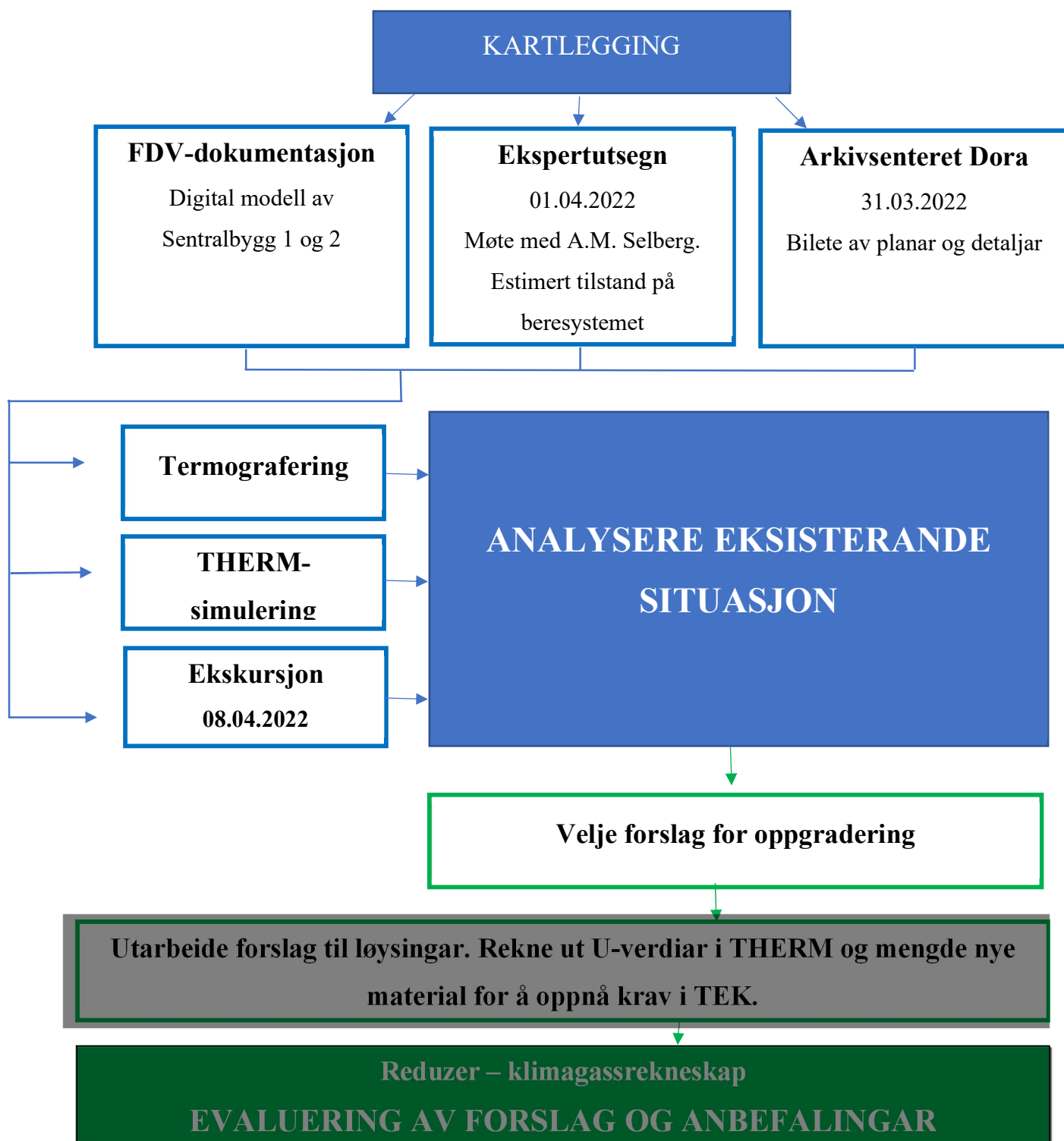
Denne oppgåva vert avgrensa til å sjå på fasadane til høgbyggane i Sentralbygga. Med andre ord vert ikkje mellombygga og lågbyggane inkludert. Med fasadane meinast blokkene sine fire ytterveggar, taket og kjellarveggane er ikkje inkludert. Det er heller ikkje gjort utrekningar som inkluderer vindauga i bygningane. Sjølv om oppgåva er knytt til FME ZEN, som tek for seg innverknaden av eit tiltak mot eit større område av bygningar, vil fokuset i denne oppgåva vere isolert til enkelbygningane S1 og S2. Når ein arbeidar med ZEN er eit av måla å redusere CO₂-avtrykket. Denne oppgåva har det same fokuset, men på bygningsnivå framfor nabolagsnivå. I oppgåva er fokuset å få S1 og S2 til å fungere som ein del av eit nullutsleppsområde etter rehabilitering.

2 Metode

Her vert framgangsmåten til arbeidet i oppgåva presentert. Både korleis det var planlagt frå starten og korleis arbeidet vart utført. I følgje Byggforsk er det viktig å kartlegge mellom anna den sjiktvis oppbygginga av veggane, beresystemet og elementinnfesting og isolasjonstjukkleiken innan ein sett i gong tiltak for etterisolering (12). Kartlegginga er delt inn i to delar. Den første delen gjekk ut på å samle inn teoretisk informasjon. Del to gjekk ut på å undersøke om denne teoretiske informasjonen stemte med den faktiske situasjonen.

2.1 Organiseringa av arbeidet

Det er utført ei teoretisk kartlegging av tilstanden til S1 og S2. Denne kartlegginga har bestått av å finne ut kva beresystem bygningane har, sjiktvis oppbygging av ytterveggen og om det er gjort oppgraderingar/endringar etter dei vart oppført. I tillegg er det forsøkt kartlagt kva eigenskapar materiala har/hadde då bygningane vart oppført. Der det ikkje er funne konkrete verdiar er det anteke verdiar eller gjort tilnærmingar. På neste side kan ein sjå flytskjemaet over arbeidsprosessen som vart utarbeida. Dei to siste rutene i skjemaet er markert mørkare då dei i utgangspunktet var ein del av den planlagde arbeidsprosessen, men dette vart utelata på grunn av for lite tid.



2.2 Kartlegginga del 1

Den første delen av kartlegginga gjekk ut på å verte kjent med kva som fantes i bygningane. Her vert den første delen av kartlegginga presentert. Denne er vist i flytskjemaet som Arkivsenteret Dora, ekspertutsegn og FDV-dokumentasjon.

2.2.1 Arkivsenteret Dora

Gjennom samarbeid med ei anna bachelorgruppe vart opphavlege teikningar av S1 og S2 og ein anbodsperm lokalisert hos Arkivsenteret Dora i Trondheim. Arkivsenteret oppbevarer arkiv som har gått ut av administrativ bruk (13). Der var det ulike teikningar av både S1 og S2. I desse arkivteikningane fanst mellom anna stegvis oppbygging av ytterveggen inkludert dimensjonar på dei ulike sjikta og bygningsdelane for S1. I tillegg vart det funne ein anbodsperm som omhandla S1, og som inneheldt beskrivingar av materiala og planlegginga av S1. Materialet vart digitalisert i ulike omgangar, noko av det ved hjelp frå tilsette ved Arkivsenteret. Dei fleste av teikningane var limt fast i ein perm, slik det ikkje var mogleg å digitalisere det ved hjelp av skanning. Desse teikningane vart digitalisert ved hjelp av mobilkamera.

Dei digitale utgåvene av teikningane og anbodspermen frå Arkivsenteret vart studert slik at det kunne opparbeidast ei forståing av korleis bygningane mest truleg vart oppført. Informasjonen vart organisert i rekneark slik at det var enkelt å få oversikt over oppbygginga og storleikane på bygningane, dette kan ein finne i vedlegg 4. Seinare fekk gruppa tilsendt digitale modellar av bygningane, noko som bekrefte storleikane. Teikningane og anbodspermen gjorde det mogleg å lage modellar av ytterveggane i THERM (14).

2.2.2 Intervju

For å kartlegge tilstanden til betongkonstruksjonane på bygningane i dag, vart sivilingeniør Arne Mathias Selberg intervjuet. I tillegg til å ha spesialisert seg innan konstruksjonsteknikk, er Selberg universitetslektor, fagansvarleg i konstruksjonsteknikk og betongfag, og sjølvverklært betongentusiast. Intervjua omhandla den generelle situasjonen til bygningane og tilstanden til materiala. Hovudfokuset i intervjuet var betongen då det er dette som er Selberg sitt fagfelt (15). I

intervjuet presiserte Selberg at ein kan aldri vite sikkert korleis tilstanden er før ein «opnar» veggen og får undersøkt den faktiske tilstanden. Intervjuet i si heilheit finst i vedlegg 5.

2.2.3 Digital modell

Medrettleiar fekk tilgang på digitale modellar av S1 og S2, desse vart delt med gruppa. Modellane er frå avdelinga for Forvaltning, Drift og Vedlikehald på campus. Desse modellane er enkle oppbyggingar av bygga og har stort sett vort brukt til å ta mål for diverse utrekningar.

2.3 Kartlegging del 2

I den andre delen av kartlegginga vart delar av informasjonen frå den første delen tatt i bruk for vidare kartlegging. Denne delen bestod av ekskursjon, termografering og simulering i programvarer.

2.3.1 Ekskursjon

For å undersøke om det eksisterande bygget stemmer overeins med informasjonen innhenta frå Arkivsenteret Dora vart det utført ekskursjonar. Det vart tatt mål av ytterveggen for å undersøke om oppbygginga på teikningane stemde. Generelle inntrykk av bygga vart samla og temperaturen innandørs vart målt. Utandørs vart ytterveggen inspisert og det vart tatt bilete for å dokumentere tilstanden. Der det har vore tvil kring funna har desse blitt diskutert med rettleiar og medrettleiar.

2.3.2 Termografering

Termograferinga vart utført ulike dagar for å kunne samanlikne resultata. Den vart utført på dagar og tidspunkt då bygningane ikkje var oppvarma av sola. I tillegg vart den utført på dagar med låg temperatur for å få størst kontrast mellom inne- og utetemperatur. Alle fasadane vart termografert og forholda samt tilhøyrande filer av bileta vart organisert i eit rekneark, dette kan ein sjå i (vedlegg 9).

2.3.3 Programvare og simulering

For å undersøke korleis temperaturen endra seg gjennom ytterveggen vart programmet THERM nytta. THERM oppgir ei teoretisk framstilling av temperaturendringa, U-verdiar og varmefluks (14). Framstillinga er basert på verdiar henta frå den innsamla informasjonen om

materialeigenskapane i fasadane, grenseføresetnadar og dei ytre forholda. Den teoretiske temperaturen ytterst i betongen burde difor vere tilnærma lik temperaturen bileta frå termofotograferinga.

Ved modelleringa vart det antatt at konstruksjonsdetaljane for S1 og S2 vart utført på same måte. For simuleringa vart innandørs temperatur antatt å vere 20°C. Verdiane som vart nytta vart dokumentert og kjeldevist i rekneark for respektive detaljar. Detaljane av oppbygginga av ytterveggen vart teikna i ein samlemodell i Autocad. Desse er teikna på bakgrunn av den innhenta informasjonen. Detaljane vart lagra kvar for seg i filformat slik at dei kunne brukast som underlag i THERM. Desse filene er tilgjengeleg på etterspørsel hos rettleiar. Vidare vart dei simulerte verdiane nytta til å samanlikne tilstanden med resultatata frå termograferinga og til enkle utrekningar for kuldebruverdiar og energibruk.

2.4 Informasjonsbibliotek

Arbeidet med oppgåva har omhandla store mengder informasjon som er kartlagt og behandla i forskjellige program og utrekningar. Alle filene er samla i eit informasjonsbibliotek. Der ligg originalfilene til resultatata som er presentert i oppgåva. Her ligg også innsamla informasjon som ikkje er brukt direkte i oppgåva, men som kan vere til nytte for vidare arbeid. Det må også leggest til at det finst store mengder informasjon kring byggeprosessen hos Arkivverket i Oslo. Nøyaktig kva denne består av er ikkje sikkert, då det ikkje vart tid til å gå gjennom dokumenta. Denne informasjonen er no digitalisert og ein kan få tilgang på førespurnad hos Arkivverket. Informasjonsbiblioteket til denne oppgåva er tilgjengeleg hos rettleiar og har følgjande hovudinnhald:

- Artiklar om oppgradering
- Kartlegging, material og storleikar
- Modell, simulering og utrekning
- Teikningar og dokument frå Dora
- Termografering
- Referat, 2022-04-01, Selberg, A.M.

Filnamn det er referert til i oppgåva er filer som finst i informasjonsbiblioteket. Dei er nemnt med spesifikke namn for at det skal vere enklare å finne dei, dersom det er av interesse.

2.5 Analysere eksisterande situasjon

Når den grunnleggande informasjonen om oppbygginga og den bygningsfysiske og materialtekniske tilstanden var kartlagt, kunne informasjonen analyserast. Det vart gjort som beskrive i dei neste delkapitla.

2.5.1 Samanlikning av termografering og simuleringar

Simuleringane som vart modellert frå teikningane ga ein teoretisk representasjon av den opphavlege tilstanden til bygningane. Ved å samanlikne bilete frå termograferinga og simuleringane vart vurderingane av noverande status utarbeida.

2.5.2 Materialvurdering

Under kartlegging av den eksisterande situasjonen vart det også arbeida med å undersøke korleis ein kan gjer oppgraderinga meir miljøvennleg. Dette vart gjort ved å undersøke kva ein kan gjere med materiala ein ser på som potensielt avfall ved oppgraderinga. Det har difor blitt kartlagt kvar i avfallshierarkiet ein kan handtere dei ulike materiala i ytterveggen dersom ein vel å ikkje behandle dei i veggen. Det vart søkt i Oria; biblioteket sin søketeneste med søkeord som «resirkulering», «recycle» og «recycling» saman med dei ulike materialnamna der det har vore aktuelt. Vidare vart informasjon innhenta frå mellom anna Byggforsk og ulike produsentar av material vart kontakta.

2.5.3 Utrekningar

I tillegg til simulerte verdiar vart det utført utrekningar for hand for å basere vurderingane på. Utrekningane er gjort på grovt forenkla modellar, og har blitt brukt som ein forsiktig peikepinn. Verdiar og føresetnadane som er lagt til grunn er dokumentert i reknearket til utrekningane. Dei kan ein sjå i (vedlegg 10-12).

Varmeutrekningane er basert på antaka at Sentralbygga er ein skalkonstruksjon utan kuldebruer, og at den får eit tilleggslag gjennom kuldebruene som bæresystemet utgjer. Kuldebruverdiar vart rekna separat på grunnlag av simuleringsverdiar frå THERM, U-verdiane til den feilfrie konstruksjonen kunne takast direkte frå simuleringa. Utrekninga av fukttransport og kondensrisiko er brukt til å vurdere konstruksjonens utgangspunkt. Også her er verdiar og føresetnadane dokumentert i rekneark, det finn ein i vedlegg 12.

For å rekne ut kor stort klimagassavtrykk ei eventuell rehabilitering av fasaden til Sentralbygga utgjer har dette blitt rekna på. Dette vart gjort ved at eit omtrentleg betongvolum for ei slik rehabilitering vart rekna ut, detaljane for denne kan ein sjå i vedlegg 13. Det vart rekna med fjerning av 5 cm for alle betongkonstruksjonane med klimapåkjenning og med antaka at all betongen må rehabiliterast. Deretter vart dette gjort om til CO₂-ekvivalentar ved hjelp av ein miljødeklarasjon. Resultatet finst i vedlegg 13, miljødeklarasjonen ligg i vedlegg 14.

3 Teori

I denne delen vert teori som er nytta til å forstå oppbygginga og tilstanden til Sentralbygga presentert. Dette gjeld teori om bygningsfysikk, om metodar som er nytta, om eigenskapane til materiala som ytterveggane er oppbygd av og om livslaupsanalyse.

3.1 Bygningsfysikk

Til dei byggt tekniske vurderingane er programvara THERM nytta for simuleringar og utrekningar, i tillegg er det utført utrekningar for hand. Saman med det innsamla informasjonsgrunnlaget er det varme-, luft- og fukttransport som er av størst interesse for å vurdere den byggt tekniske tilstanden på bygga. I dette kapitlet vert det gjennomgått teori for desse vurderingane og for verdiar nytta i THERM. Denne teorien er henta frå Jan Vincent Thue si bok Bygningsfysikk Grunnlag (16).

Varmetransport skjer via leiing, konveksjon og stråling. I tillegg kan ein få varmforskyving ved at fukt i porøse materiale endrar tilstand, noko som frigjer eller bind energi (16, s. 53). Drivkrafta til varmetransport er temperaturforskjell. Massar vert også transportert, og i bygningsfysiske samanhengar er det først og fremst luft- eller fukttransport som er av interesse. For massetransport skil ein mellom konvektiv transport (fluidstrøyming) og diffusjon. Mengda varme eller masse som transporterast gjennom eit material heiter fluks, q , per arealeining eller strøyming, Φ , gjennom eit gitt areal. For konvektiv massetransport er den primære drivkrafta trykkforskjellar, medan for diffusjon er det konsentrasjonsforskjellar. Diffusjon er ein utjammingsprosess som oppstår mellom to område med ulike kjemisk samansetning. Stoff diffunderer gjennom eit material i retning mot avtakande stoffkonsentrasjon. Transporten er avhengig av eigenskapane til materialet som stoffet diffunderer i. Den er i tillegg ein funksjon av drivkreftene og andre faktorar som er involvert i prosessen, til dømes temperatur (16, s. 78).

Konvektiv transport inneber volumforflytting av masse og dermed også av varmeenergi. Avhengig av tilstand og innhald kan ein straum av luft utveksle både energi med omgivnaden og transportere fukt. Transportmekanismane er som regel kombinert (16, s. 79). Ein skil mellom påtvinga konveksjon der ei ytre kraft driv strøyminga, og naturleg konveksjon som oppstår på grunn av temperaturforskjell og oppdrift (16, s. 58). Fuktkonveksjon kan førekome i spaltar, hol og porøse material. Naturleg konveksjon fører ofte til fukttransport mellom rom i bygningar. Påtvinga

konveksjon kan skape ein lufttrykksgradient over ein bygningsdel mot uteluft. Med høgast trykk innvendig (overtrykk) gir dette ein stor fukttransport. Særleg ved utettheiter i bygningskroppen, noko som er ein vanleg årsak til fuktskadar (16, s. 325-326).

Varmetransport ved konveksjon skjer i eit strøymande fluid (gass eller væske) når ein temperaturforskjell er tilstades. Fluidet forflytter seg med indre energi samtidig som det oppstår molekylær varmeleiing. Dette er ein kompleks type varmetransport og den vanskelegaste å rekne på. For bygningsfysikk ser ein som regel på konveksjon mellom overflate og luft. Då ser ein på eit teoretisk grensesjikt ved overflata der varmeleiing går over til konveksjon ved auka rørsele i fluidet. Dess kraftigare rørsele i fluidet, dess større vert varmeleiinga ved konveksjon og dess tynnare vert grensesjiktet. Dette og mange andre faktorar gir store variasjonar av transportkoeffisientar og ein må som regel bruke målte gjennomsnittsverdiar. Erfaringsvis er desse av rimeleg omfang (16, s.58-61, 203).

Elektromagnetisk stråling er noko alle stoff emitterer (sende ut) grunna rørsele i stoffa sine atom eller molekyl. Utstrålinga er avhengig av retning, bølgelengde og materialtype. For faste stoff skjer stråling hovudsakleg på overflata. I opake (ugjennomsiktige) stoff overførast ingen del av strålinga, og emisjon, transmisjon og absorpsjon av strålinga kan behandlast som overflatefenomen. Energifordeling over bølgelengder og retning til utstråling frå ei overflate er avhengig av overflateeigenskapane (16, s.63-64). Stråling kan absorberast (α), transmitterast (τ) eller reflekterast (ρ). Eit teoretisk helt svart objekt absorberer all stråling og har maksimal emisjon (ϵ) der strålinga er lik i alle retningar, såkalla diffus stråling. For vanlege bygningstekniske vurderingar er det tilstrekkeleg nøyaktig å anta at ein har diffus emisjon (16, s.65-68). Emissiviteten til ein del material kan ein finne i tabellar. For opake material ligg emissiviteten rundt 0,9, noko som er nytta som verdi ved simuleringane i THERM. Då strålingsleiinga for det meste skjer på overflata i opake stoff vil dette for det meste føregå mot luft innvendig og utvendig, variasjonane i emissiviteten for materiala i konstruksjonen er difor antatt å vere neglisjerbare for sluttresultatet.

Varmetransport med leiing føregjeng gjennom molekylrørsler som forplantar seg gjennom stoffet. Varmare molekyl har meir rørsele og overfører energi til dei kaldare og meir energifattige molekyla (16, s.53). Varmefluksen er proporsjonal med, og motsett retta av temperaturendringa gjennom eit

material med termisk konduktivitet (varmeleiingsevne), λ . Varme strøymer altså frå varm til kald side, og temperatur søkk i denne retning (16, s.54), til dømes søkk temperaturen gjennom ein yttervegg frå innandørs til utandørs. Termisk konduktivitet til eit material gitt i λ -verdi angir varmeleiingsevna til materialet i [W/mK].

Den totale fukttransporten i dampfasen vert uttrykt ved hjelp av vassdampspermeabilitet (δ), som angir eit material sin eigenskap til å sleppe gjennom vassdamp ved diffusjon. Verdien vert uttrykt ved dampkonsentrasjon- eller damptrykkgradient som drivkraft. For tynne materialsjikt nytta ein permeans (K) som dampleiingstall (16, s.324-326).

Fleire materialeigenskapar vert påverka av fuktinnhald. Dette gjeld særleg dei termiske og mekaniske eigenskapane, samt permeabiliteten. Som regel vil porøse materialar kunne halde på mykje vatn, og dermed verte sterkt påverka av fuktinnhald (16, s.352). Vatn har høgare varmeleiingsevne enn luft, og eit fukta material vil difor føre til redusert isolasjonsevne (eller høgare varmeleiingsevne). Is har høgare λ -verdi enn vatn slik at frysing av oppfukta materiale reduserer isoleringsevna ytterlegare (16, s.49). For både varmeleiing og diffusjon kan ein nytte «praktiske tall» som er målte verdiar på total leiingsevne. Då er det tatt høgde for dei samla transportmekanismene i materialet, ofte for eit intervall med bestemte ytre føresetnadar (16, s.326). I utrekningar er det vanleg å nytte slike verdiar på materialeigenskapane for å beskrive ein motstandsvariabel over et sjikt, mot strøyminga av varme, luft eller fukt.

Lufta sitt innhald av vassdamp kan ein angi som vassdampen sitt partialtrykk, p , eller som vassdampkonsentrasjon v . Vassdampinnhaldet i luft har til ein kvar temperatur ei øvre grense for vassinnhald som ein kalla mettingstrykk p_{sat} . Verdien for mettingstrykket aukar når temperaturen aukar. Verdiane på mettingskurva kan variere litt frå kjelde til kjelde då det er empirisk bestemte verdiar. Vanlegvis er $p < p_{\text{sat}}$. Lufta sitt fuktinnhald kan også verte angitt som RF, som er forholdet mellom partial- og mettingstrykket eller vassdampkonsentrasjonen (16, s.50-52).

Relativ fuktigheit:

$$\varphi = p/p_{\text{sat}} \approx v/v_{\text{sat}}$$

Når $p = p_{\text{sat}}$ er RF 100%, noko som vert kalla doggpunktet. Her kondenserer vassdampen i lufta om temperaturen fortsett å søkk, då vert mettingstrykket lågare og ein får utfelling av vatn. Når ein kjenner temperatur og RF kan ein vurdere om eller kvar mettingstrykket vert nådd, det såkalla doggpunktet.

Permeabilitet kan uttrykkast som δ_p [kg/m s Pa] eller δ_v [m²/s] avhengig om det vert nytta høvesvis partialtrykk eller vassdampkonsentrasjon. Vidare i oppgåva reknast det med partialtrykk.

Samanhengen mellom permeabilitet og permeans er gitt ved (16, s.326):

$$K = \delta/d$$

Som gir ein inversverdi, kalla vassdampmotstand:

$$Z = 1/K$$

Avhengig av situasjon og konstruksjon kan ein rekne på stasjonære og ikkje-stasjonære problem og dei kan vere både ein- eller fleirdimensjonale.

- For fleirdimensjonale situasjonar har ein ha varmestraumar i fleire retningar
- Ikkje-stasjonære situasjonar er tidsavhengige
- Stasjonære er tidsuavhengige – forholda endrar seg ikkje med tida
- Ikkje-stasjonære og fleirdimensjonale utrekningar vert som regel utført med dataprogram

For ein klimautsett bygningsdel har ein i tillegg samvirke mellom fukt-, varme-, og lufttransport (16, s.81).

- Fukttransport medfører energitransport
- Fukt- og varmetransport skjer både med luftstraumar og på grunn av temperaturforskjellar
- Kondensasjon/fordamping og frysing/smelting involverer energiomsetting
- Temperatur- og damptrykkforskjellar gir opphav til lufttransport

Det er forskjellige drivkrefter som verkar og som er tett kopla saman, noko som gjer reknestykka kompliserte og ikkje mogleg å utføre for hand. Forenkla stasjonære og eindimensjonale situasjonar er enkelt å regne for hand, men gir ikkje eit fullt bilete over den reelle situasjonen. Når ein forenkla reknemetodar og simuleringar må ein ta omsyn til at ein ikkje har det fulle bilete over situasjonen. Utrekningar for hand er basert på resultata i THERM, og tabellerte verdier er forutsett eit eindimensjonalt og stasjonært system. Samanfatta vert det rekna med følgande formlar og verdier som stamma frå teorien som er beskrive over.

Prefiks og nedsenka indeks:

i = indre
e = ytre
s = overflate
tot = total

k = kuldebru
ff = feilfri
sat = metta
 Δ = differanse

Variablar:

q = varmefluks [W/m^2]
h = varmeovergangstal [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]
d = materialtjukkeleik [m]
L = lengde [m]
A = areal [m^2]
T = temperatur i Kelvin [K]
p = partialtrykk vassdamp [Pa]
 δ = permeabilitet [$\text{kg}/\text{m s Pa}$]
K = permeans = δ / d [$\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s Pa}$]
 ε = emissivitet

Z = vassdampmotstand
= $1/K$ [$\text{m}^2 \text{ s Pa} / \text{kg}$]
 ϕ = RF = relativ fuktigheit = p / p_{sat}
 θ = temperatur i celsius [$^{\circ}\text{C}$]
 λ = varmekonduktivitet [W/mK]
R = varmemotstand = d/λ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
U = varmegjennomgangskoeffisient
= $1/R_{\text{tot}}$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
 ψ = lineær kuldebruverdi
= $(U_{\text{tot}} - U_{\text{ff}}) \cdot L$

Ved stasjonære, eindimensjonale tilstandar er varmegjennomgangen til ein sjiktdelt skivekonstruksjon temperaturdifferansen delt på den totale varmemotstanden til alle sjikt.

Differansen i temperatur finn ein ved å måle innvendig og utvendig temperatur:

$$q = \Delta T / R_{\text{tot}}$$

I grensesjiktet mellom material og luft har ein eit område med andre føresetnadar enn det er i materialet og omgivnadane. Forholda er avhengige av mange faktorar. Sjikta har ingen tjukkeleik og innverknaden på varmetransporten frå sjiktet vert uttrykt ved varmeovergangstalet h_s . Den inverse verdien av h_s er varmeovergangsmotstand R_s . For mange praktiske problem er det tilstrekkeleg nøyaktig å anta at varmestraumar frå ei overflate til omgivnadane er proporsjonal med temperaturdifferensen mellom overflata og lufta.

R_s vil i realiteten variere over tid og stad, men det er vanleg å forenkla med ein konstant gjennomsnittsverdi for heile flata (16, s.203). I tillegg er det ofte brukt erfaringsverdier ved meir generelle utrekningar. Desse er brukt i oppgåva og verdier er henta frå «Bygningsfysikk grunnlag» av Jan Vincent Thue (16) og er vist i tabellen under (16, s.203).

Overflate	Varmestrømsretning		
	Oppover	Horisontalt	Nedover
Innvendig, R_{si}	0,10	0,13	0,17
Utvendig, R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tabell 1: Oversikt over varmemotstand i ulike retningar og overflater

I THERM nyttar ein verdien h for definering av grensesjiktet og invers til dei tabellerte verdiane brukast.

$$h = 1/R_{si} \text{ eller } 1/R_{se}$$

Ved vurdering av overflatetemperaturar, som til dømes analyse av kondensfare, er R_s av avgjerande betydning. Kva verdi som då skal brukast må vurderast ut ifrå gitte forutsetningar og situasjonar.

Når λ -verdi og ε til dei enkelte materiala og grenseføresetnadane er satt for modellen i THERM, vert total U-verdi, varmefluks og temperaturendringane gjennom bygningsdelen utrekna. U-verdi er ein varmegjennomgangskoeffisient og vert nytta som verdi for varmeisolasjonsegenskapane til bygninga (16, s.214).

$$U = 1/R_{\text{tot}} = q \cdot (T_i - T_e) \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Frå U-verdiar kan ein rekne ut kuldebruverdiar manuelt. Ei kuldebru er et parti i en bygningsdel som har markant høgare U-verdi enn resten av konstruksjonen, noko som kan auke ei bygning sitt totale varmetap betydeleg. I tillegg kan kuldebruer skape kondensproblem. Det kan også føre til sprekkdanningar i monolittiske konstruksjonar grunna spenningskonsentrasjonar ved dei store temperatursvingingane. Kraftige kuldebruer kan også lede til ubehag for dei som oppheld seg i rommet (16, s.223). Ein skil mellom strukturelle og geometriske kuldebruer. Dei strukturelle oppstår på grunn av samansettinga i konstruksjonen, medan dei geometriske kuldebruene oppstår når oppvarmingsflata er mindre enn avkjølingsflata (til dømes eit hjørne). For strukturelle kuldebruer er det vanleg å sjå på lineære kuldebruer og punktkuldebruer, dei lineære har ei kontinuerleg utstrekking. Punktkuldebruene er små, konsentrerte areal der isolasjonssjiktet vert brote (16, s.222-228). Kuldebruverdien, ψ , definerast som det tilleggstapet som tilkjem ved kuldebruer. For lineære langstrakte kuldebruer vert eininga [W/mK] (16, s.225).

Totalt varmetap = tap gjennom ein feilfri konstruksjon + tilleggstap pga kuldebruer

Det kan skrivast om til:

$$\psi = (U_{\text{tot}} - U_{\text{feilfri}}) \cdot L$$

Det kan også reknast ut ein verdi som symboliserer den totala mengda kuldebruer, såkalla normalisert kuldebruverdi, ψ'' . Det er summen av alle kuldebruer delt på oppvarma golvareal til brukseininga (BRA, m²) (16, s.226).

$$\psi'' = (\sum \psi_k \cdot l_k) / A_{\text{BRA}} \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Ved manuell utrekning av diffusjon gjennom ein bygningsdel, kan ein bruke føresetningar om stasjonær eindimensjonal varmestraum og koplinga mellom dampmengde og temperatur i luft. Det

inneber ein lineær straum over materialsjikt proporsjonalt med deira relative motstandstall (16, s.332). Følgande formel kan brukast for å rekne temperaturfall over eit sjikt j:

$$\Delta T_j = R_j \cdot \Delta T / R_{\text{tot}}$$

Der ΔT_j vert akkumulert for kvart enkelt sjikt til den kjente temperaturen innandørs heilt til ein har rekna temperatur ved alle sjiktgrense. Mettingstrykk ved sjiktgrensene kan ein så finne i ein tabell. Damptrykkfallet over sjikta vart rekna ut, deretter også etter den lineære modellen ved:

$$\Delta p = (Z / Z_{\text{tot}}) \cdot \Delta p_{\text{tot}}$$

Ved hjelp av Δp og Δp_{tot} kan ein finne damptrykket ved sjiktgrensene og kontrollere om mettingstrykket vert overstige.

3.2 Termografering

Dess meir lufttett og varmeisolert eit bygg er, dess meir energi og kostnadar kan ein spare. I tillegg vil eit godt isolert og lufttett bygg gi betre innandørs komfort enn eit utett og dårleg isolert bygg. Termografering vert utført for å oppdage luftlekkasjar, dårleg/manglande isolasjon i bygningsdelar, fuktskadar og anna. Termograferingsutstyr kan oppfatte og registrere varmestrålane som materialar emitterer. Desse strålane er infraraude, og er ikkje synleg for det menneskelege auge. Intensiteten på strålane er avhengig av overflata til materialet sin emissivitet og temperatur. Varmetap gjennom ein bygningsdel vil vise som lyse eller raud, gule og kvite felt når målinga vert utført frå kald side av bygninga. Kald side vil i dette tilfelle seie utsida av bygget. Dei delane av bygninga som er godt isolert vil vere mørke felt. Det er viktig å vere observant på at mellom anna solstråling, nedbør og reflekterande overflater kan gi problem ved termografering (17).

3.3 Materiale

Avfallshandtering som gir lågast innverknad på miljøet er redusering av avfall, altså at ein ikkje kastar dersom det ikkje er strengt naudsynt. I aukande rekkjefølge med tanke på innverknad på miljøet etter redusering kjem ombruk, resirkulering, kompostering, brenning og til slutt deponering av avfall (18). Dette inneber at om ein kan unngå å produsere avfall vil det alltid vere meir miljøvenleg enn å skape avfall, uavhengig av graden av sirkularitet. Med andre ord er det viktig å sjå på moglegheitene for vedlikehald og reparasjon framfor å rive og bygge nytt. I dag er det eit

overforbruk av ikkje-fornybare ressursar i verda, noko som ikkje er berekraftig. FN har laga 17 berekraftsmål som verkar som ein arbeidsplan for å stoppe klimaendringane, utrydde fattigdom og kjempa mot ulikheiter innan 2030 (19). Berekraftsmål nr 12 er «Ansvarleg forbruk og produksjon». Dette målet skal sikre berekraftig forbruks- og produksjonsmønster. Eit av delmåla til mål 12 omhandlar å redusere avfallsmengda gjennom mellom anna materialgjenvinning og ombruk (19, 20). Med andre ord må det meir sirkulær økonomi til for at verda skal oppnå berekraftsmåla til FN. Sirkulær økonomi er å utnytte naturressursar og produkt i eit krinslaup så lenge som mogleg. Samtidig skal minst mogleg gå tapt (21). I dette kapittelet vil dei ulike materiala i dei eksisterande ytterveggane vert presentert. I tillegg er det undersøkt kvar i avfallshierarkiet dei ulike materiala kan handterast for at oppgraderinga av fasadane har minst mogleg påverknad på miljøet.

Betong

Betong er eit byggemateriale som består av sement, tilslag (sand og stein), vatn og tilsetjingsstoff. Betong finst i ulike former og kvalitetar, og eigenskapane kan variere mykje avhengig av forholdet mellom dei ulike delmateriala og tilsetjingsstoffa (22). Rekna i volum er betong det mest brukte byggematerialet i vår tid. Generelt sett har betong ein høg kapasitet for trykk, men svært låg kapasitet for strekk. Ein legg inn armering i form av stålstenger eller -nett i betongkonstruksjonar som vert utsett for strekkrefter (23, s. 39). Ifølgje Byggforsk vil betong med høg densitet ha ein dimensjonerande varmekonduktivitet på 2,0 W/(mK), dersom betongen er armert vil den vere 2,5 W/(mK) (24). Fuktig betong vil ha ein høgare varmekonduktivitet då auka fuktinnhald verkar direkte inn på materiale sitt lambda-verdi (16, s. 352).

Fukt er som regel ein komponent som inngår i dei naturlege nedbrytingsprosessane i material (16, s. 353-355). Vatn spelar mellom anna i rolle i karbonatiseringsprosessen i betong. Når tilstrekkeleg mengder med luft og vatn ($RF > 65\%$) reagerer med betong vil det senke pH-nivået i betongen. Dette kan føre til korrosjon av armeringsjernet, som føre til at jernet vert oppløyst (25, s. 20-23). Dette kan igjen føre til avskaling og riss då korrosjonsprodukta som vert danna er 2-7 gongar større enn volumet til stål. Dette vert kalla rustsprenging (26). Vatn kan også føre til frostsprenging, og oppstår når vassmetta betong vert utsett for kuldegrader. Vatn som frys ekspanderer med ca. 9% i volum, og føre til strekkspanningar i betongen. Dersom desse spanningane er større enn

strekfastleiken til betongen vil frostskeidar oppstå. Normalt vil flak av betongen skalle av i overflata først, og etter kvart vil nye avskalningar «ete» seg innover i betongen (25, s. 30).

Betong vert rekna for å vere ein «klimaversting». Det vert anslått at sementen ein nyttar i produksjonen kan stå for 7-8% av alle klimagassutsleppa på verdsbasis (27, s. 1675). Betong kan resirkulerast og nyttast som tilslag i mellom anna produksjonen av ny betong, ved vegbygging og jernbaneballast. Dette gjer ein ved at betongkonstruksjonar først vert knust til mindre fraksjonar, deretter vert armeringsjern og ureinheiter fjerna og til slutt vert betongfraksjonane sortert etter storleik. Ved behov kan det spylast for å fjerne partiklar med organisk materiale og finstoff. Når bruken av resirkulert tilslag aukar vil det redusere mengda deponert byggavfall og uttak av råmateriale (28).

Kork

Kork er produsert av barken på korkeikreet som hovudsakleg veks i Portugal, Spania og Nord-Afrika. Det er mogleg å hauste denne barken om lag kvart 9. år. Arkeologiske funn og skriftlege kjelder har vist at kork vart brukt mellom anna som isolasjon allereie i antikken (29, s. 7, 103, 133, 243). På same måte som andre tresortar driv korkeika fotosyntese når den veks, noko som gjer at den bind CO₂ og vert eit lager for karbon fram til treet vert bryte ned (30). Så sjølv om produksjonen gjev eit utslepp av CO₂, kan det totale utsleppet i produktfasen (A1-A3) vere negativt, som andre heiltreprodukt. På byggforsksbladet om varmeisolasjonsmateriale er ikkje kork oppført som eit alternativ (31). Det er heller ikkje oppgitt som isolasjonsmateriale på byggforsksbladet som omhandlar varmekonduktivitet og -motstand for bygningsmateriale (24). Det er med andre ord eit isolasjonsmateriale som ikkje er vanleg å nytte i tradisjonelle bygg i dag. Kork kan ha ein varmekonduktivitet på 0,040 – 0,050 W/(mK) (32). Kork er motstandsdyktig mot både fukt og råte, men kan mugne dersom det er i direkte kontakt med vatn over lang tid (33). Kork vart tidlegare nytta som isolering av betongkonstruksjonar. Då vart det som regel støypt eller limt fast i betongen (34).

Kork er eit biologisk materiale som kan brytast heilt ned i naturen (29). Det har dei siste åra vakse fram organisasjonar som arbeidar for å resirkulere kork. Organisasjonane fokuserer hovudsakleg på innsamling og resirkulering av korka nytta i vinflasker, men ein kan førestille seg at kork som tidlegare er nytta som isolasjon også kan nyttast (35, 36). I Trondheim kommune vert resirkulert

overskotsmateriale frå vinkorkproduksjon testa som fallunderlag i Ferista barnehage.

Overskotsmaterialet vert gjort om til granulat og erstattar gummigranulat som er mest vanleg å bruke. No skal kommunen vurdere korleis det fungerer over lenger tid (37). Om korken i fasadane kan resirkulerast kan desse alternativa vere nyttig å undersøke nærare.

Steinull

Steinull er mineralullisolasjon produsert av stein. Steinen vert smelta og slynga ut frå eit hjul eller ei skive og deretter omdanna til fibrar. Fibrane vert tilsett bindemiddel og andre stoff for å betre eigenskapane til steinulla (31). Den dimensjonerande varmekonduktiviteten til mineralull er i dag 0,032 – 0,042 W/(mK), dette gjeld for ein fuktbeskytta bygningsdel (24). Varmekonduktiviteten vil i praksis variere med mellom anna fuktinnhald, densitet og temperatur. For mineralull vert varmekonduktiviteten vesentleg redusert når fuktinnhaldet i materialet aukar, særleg dersom det vert kombinert med temperaturar under 0°. Varmekonduktiviteten til mineralull kan auke frå 0,037 W/(mK) til 0,055 W/(mK) når fuktinnhaldet går frå 0 volumprosent til 10 volumprosent (32, s. 2551). I følgje Byggforsk vil ikkje varmekonduktiviteten auke over tid når mineralulla eldast (31). Med andre ord skal mineralulla vere av like god kvalitet i dag som då den vart satt inn dersom den ikkje har vore utsett for fukt. Rundt 1959 var varmekonduktiviteten til steinull på om lag 0,039 W/(mK) i følgje Petter Tonstand, distriktssjef for Møre og Romsdal, Vestland nord hos ROCKWOOL (38). ROCKWOOL-konsernet er «verdens leiande leverandør av produkt og løysingar basert på steinull» (39).

Steinull kan materialgjenvinnast til ny steinull (31). Dette bekreftar Tronstad per e-post (vedlegg 6). I følgje Tronstad kan i utgangspunktet all steinull resirkulerast, både ny og gamal. Kriteria dei har er at steinulla må vere i reine fraksjonar og den må ikkje vere for fuktig. Vidare skriv Tonstad at det er vanskeleg å anslå mengda resirkulert steinull i produksjonen til ROCKWOOL, men han trur den ligg på om lag 3-7%. Teoretisk sett kan den vere opptil 30%. Dette omhandlar mangel på godt fungerande returordningar. Dei arbeidar med å betre returordninga for tida (19.04.22), og kjem til å lansere dette om kort tid i følgje distriktssjefen (38).

Porebetong

Porebetong (Siporex) er eit lettbetongprodukt som er framstilt av finmala kvartsitt, sement, aluminiumspulver (esemiddel) og vatn. Tidlegare vart det produsert porebetong i Norge, og det

vart levert både som blokker og element til veggar og dekker. I dag vert porebetong importert, og bruksområdet er mellom anna isolerande massivvegg (40). På grunn av porestrukturen har den ein mykje betre isoleringsevne enn vanleg betong. Lettbetong vart vanleg å nytte som isoleringsmateriale frå midten av 1950-åra. Det var mest vanleg å bruke lettbetongen som utvendig isolering med puss ytterst då porebetongen har gode absorpsjonsevner (34, 40). Porebetong med 150mm tjukkeleik har ein U-verdi lik $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Som med vanleg betong vil lambda-verdien til porebetongen auke dersom den vert fuktig, noko den lett vert på grunn av sine gode absorpsjonsevner (16).

På lik linje med vanleg betong kan porebetong resirkulerast. Ein kan knuse betongen og nytte den til fyllmassar og berelag i veg og anna. Betongen må vere utan forureining og ombruken må skje på godkjende byggeplassar, til godkjende mottak for materialgjenvinning eller på godkjende deponi (41). Det er verdt å nemne at i Sverige vart det oppdaga at porebetong laga av alunskifer og brend kalk inneheldt radongass. Når porebetongen vart nedbroten frigjorde den radioaktiv stråling. Produksjonen av porebetong med alunskifer tok slutt i 1975 i Sverige. Denne porebetongen har ein meir blåleg farge på overflata enn porebetongen utan alunskifer (42).

Stenderverk – impregnert tre

Trevirke kan impregnerast på ulike måtar, og dei vanlegaste typane inneheld helse- og miljøskadelege stoff (43). Impregnert trevirke er rekna som farleg avfall (44) og må handterast deretter. Impregnert trevirke må brennast i spesialanlegg då det gjev frå seg miljøfarlege stoff og oska er svært giftig (45). Varmekonduktivitet spesifikt for impregnert trevirke er ikkje funne, men furu med densitet på $450 \text{ kg}/\text{m}^3$ har varmekonduktivitet på $0,12 \text{ W}/(\text{mK})$ (24). Ifølgje Norsk Gjenvinning er ombruk av impregnert trevirke forbode (46).

Diffusjonstett papp / dampsperre

I følgje «Bygg og bevar» var det vanleg å nytte impregnert diffusjonstett veggpapp som dampsperre før 1960 (47). På teikningane av S1 kan ein sjå at det står diffusjonstett papp på oppbygginga av veggen (vedlegg 2). Då S1 og S2 er bygd omkring tidspunktet det var vanleg å gå over til plast, er det vanskeleg å seie om det vart nytta diffusjonstett papp som på teikningane, eller

om det vart bytta til plast i utføringa. Dersom det vart nytta papp er denne sannsynlegvis impregnert. Den einaste sikre måten å finne ut av dette på er å opne veggen å undersøke dette. Papp som er basert på cellulose er også potensielt god «mat» for mugg, og det kan føre til utvikling av eller forverring av symptom på allergiar og luftvegslidingar (48, 49).

Dersom det vart bytta til dampsperre laga av plast ved oppføringa av bygget, er denne sannsynlegvis mykje tynnare enn dagens dampsperre; 0,04-0,06mm mot dagens 0,15mm (47). Med ein så tynn plastfolie er det lettare at det går hol på den under oppføring, noko som kan føre til lufttransport og fuktgjennomgang i ytterveggen.

Gips

Gipsplater består av ei gipskjerne med kartong eller fibermatter på kvar side (50). Gips er eit mineralsk råmateriale som må brennast før det kan gjerast om til produksjon av plater. Platene består av vatn, papir (kan vere resirkulert), rågips og/eller resirkulert gips, avfallsprodukt frå reinsing av svovelgass og andre tilsetjingsstoff (51). Gipsplater med densitet på 700 kg/m^3 har ein dimensjonerande varmekonduktivitet på $0,21 \text{ W/(mK)}$, medan gipsplater med densitet på 900 kg/m^3 har ein dimensjonerande varmekonduktivitet på $0,25 \text{ W/(mK)}$. Varmekonduktiviteten kan variere mellom $0,21 - 0,25 \text{ W/(mK)}$ (24). I følgje «Bygg og bevar» kan gipsplater bestå av opptil 99% resirkulerte materialar og gips kan gjenvinnast i det uendelege. Levetida til gipsplater i bruk er 60 år og på slutten av levetida kan rundt 25% av gipsplatene bli om til nye plater (51).

I 2019 opna Den Sirkulære Gipsfabrikken i Holmestrand. Denne fabrikken gjer avfall frå byggeplassar og gipsproduksjonen om til pulver som går til produksjon av nye gipsplater (52). Gipsplateprodusenten Gyproc i Fredrikstad har også starta gjenvinning av gips i sin produksjon, og platene dei produserer består i dag av om lag 20% resirkulert gips (53). Prosjekttrådrivar Simen C. Lindgren hos Gyproc kan informera om at det er tilgang på gipsavfall, utstyr og kapasitet på fabrikken som hindrar dei i å bruke meir enn 25% resirkulert gips til produksjonen. Dette er noko dei arbeidar med for tida i forbindelse med ombygging av fabrikken. Fabrikken skal bli verdast første CO₂-frie gipsplatefabrikk, og planlagt produksjonsstart på den ombygde fabrikken er i februar 2023. Vidare informerte Lindgren om at all kartong dei nytta i produksjonen av gipsplater er resirkulerte kartong (54).

3.4 LCA – Livslaupsanalyse

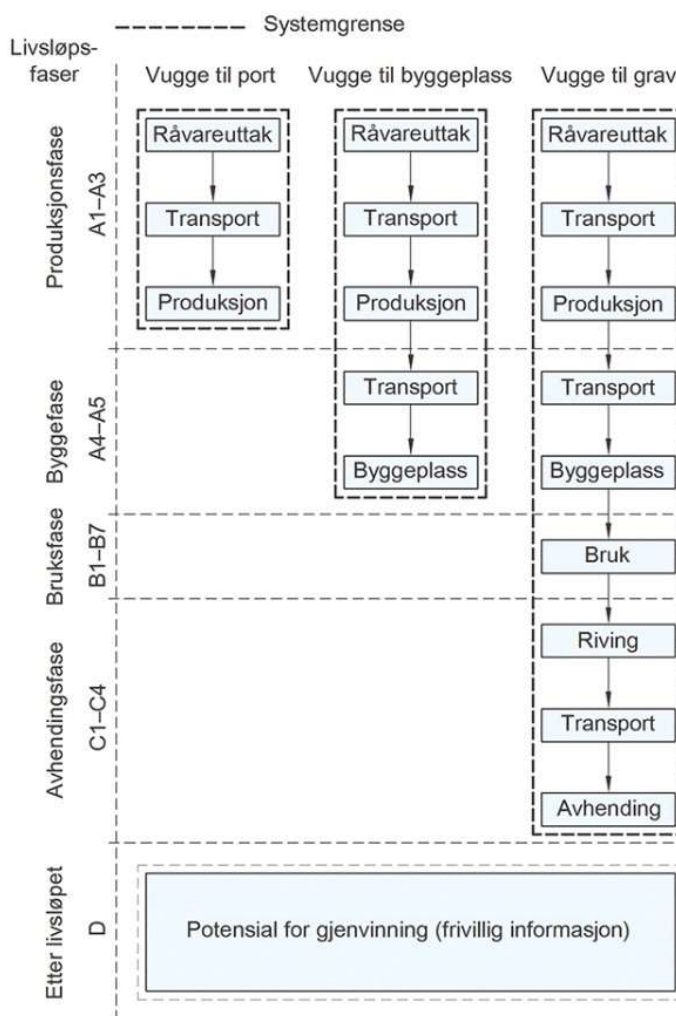
LCA er ein metode for å vurdere miljø- og ressurspåkjenninga til eit produkt eller ei teneste (55). I denne oppgåva vert det berre sett på produkt, så dette omgrepet vert brukt heretter. Ein kan til dømes vurdere belastninga spesifikke bygningsmateriale eller heile bygningar har på miljøet. Det er omfattande å vurdere heile bygningar, ein ser derfor ofte på ulike alternativ for delkonstruksjonar og samanliknar

desse. I slike tilfelle konsentrerer ein seg som regel om dei delane av bygningane som påverkar miljøet i størst grad (56).

Ei fullstendig vurdering tek for seg heile livslauget til produkta. Heilt frå utvinning av råvarene, via produksjon og til handtering av avfallet ved slutten av levetida (56). Ein ser til dømes ikkje berre på materialuttaket, men kva energikjelder som vert brukt til både produksjon, transport og vedlikehald. Det er viktig å avklare kva detaljnivå ein ynskjer å nytte for å få korrekte resultat med tanke på formålet. Det er vanleg å avgrense analyseomfanget, då kan ein til

dømes sjå på delar av livslaupsfasane. Ein deler

livslaupsfasane i kategoriane A-D. A1-A3 er produksjonsfasen, A4-A5 er byggefasen, B1-B7 er bruksfasen, C1-C4 er avhendingsfasen og D er etter livslauget. I utgangspunktet tek ein med alle fasane, bortsett frå livsfase D som er frivillig og inngår ikkje i rekneskapan (56).



Bilete 5: Oversikt over livslaupsfasar og systemgrenser. Henta frå byggforskblad 470.102 (56)

Avgrensinga omhandlar også fysiske systemgrenser (56). Til dømes om ein ser på delar av ei bygning, ei heil bygning eller eit heilt område. Referanselevetida er utrekningsperioden for LCA, for bygningar er denne 60 år (56).

Ei livsløpsanalyse for eit produkt vert samanfatta i ein miljødeklarasjon. Miljødeklarasjon vert omsett til EPD. Denne forkortinga vert nytta både på norsk og internasjonalt. Samanfattainga gjer at ein kan samanlikne ulike produkt og tenester med kvarandre (57). Den presenterer produkta på ein standardisert måte, og vert verifisert av ein uavhengig part (55, 57). Dette sikrar truverdigheit, objektivitet, samanliknbarheit og gir moglegheita til å legge saman verdiar frå fleire produkt (57). Klimapåkjeninga til produkta vert uttrykt med eininga CO₂-ekvivalentar. Ved samanlikning må produkta eller bygningsdelane oppfylle same funksjon. Til dømes må to ulike løysingar av ein yttervegg oppfylle same brannmotstand og U-verdi for å kunne samanliknast.

3.5 Energistandard

DiBK har laga TEK17. Dette er forskrifter ein må følgje for å oppføre bygg lovleg i Noreg (58). TEK17 set krav til at bygningar skal prosjekterast og utførast slik at det vert lagt til rette for forsvarleg energibruk. Desse krava gjeld for bygningane sitt oppvarma BRA. U-verdi skal reknast som gjennomsnittsverdi for dei ulike bygningsdelane (59). For å oppnå krav om passivhus og lågenergihus har Standard Norge laga krav til verdiar ein må oppnå (60). I tabellen under ser ein krava satt av DiBK og krava for passivhus og lågenergibygningar satt av Standard Norge.

Standard	U-verdi, yttervegg	Normalisert kuldebruverdi, ψ''
TEK17. Minstekrav	$\leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	-
Passivhus, yrkesbygg	$0,10 - 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Lågenergibygning, yrkesbygg	$0,15 - 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Tabell 2: Krav til U-verdiar og normalisert kuldebruverdi for ulike energistandardar

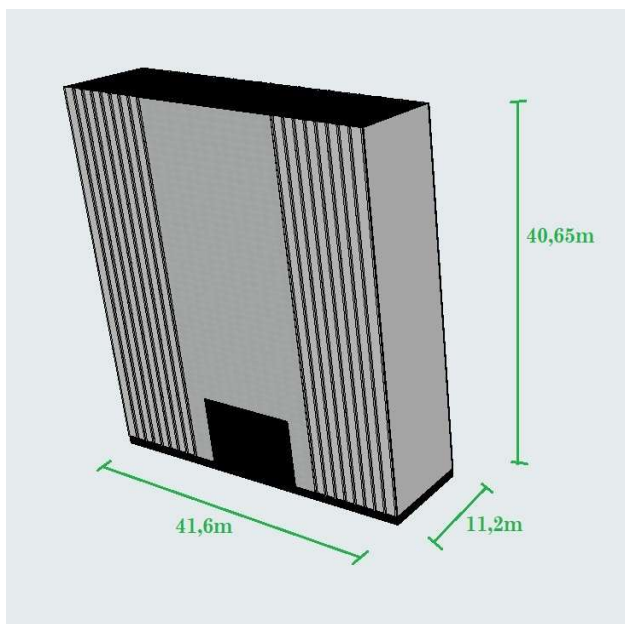
Minstekrava for passivhus og lågenergibygningar er henta frå NS 3701:2012 (61). Minstekrava er henta frå TEK17 (62, 63).

For ZEB og ZEN finst det ikkje standardar for energikrav, ein rekna i staden for på CO₂-ekvivalentar.

4 Resultat

Som det vart beskrive i flytskjemaet i metoddelen vart teori kopla saman med innsamla informasjon for å gi eit bilete av den eksisterande situasjonen til Sentralbygga. I dette kapitlet vert resultatata av dette presentert.

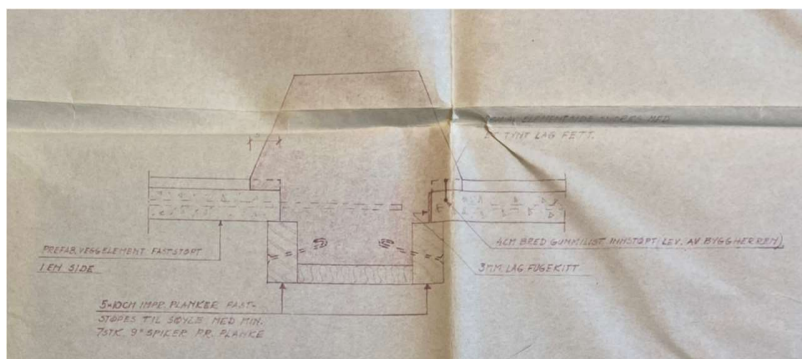
4.1 Oppbygging og storleik



Bilete 7: Storleikane på Sentralbygget. Dei svarte områda, grunnmur, mellombygg og tak, er ikkje med i oppgåva

Resultata frå kartlegginga av S1 og S2 er hovudsakleg basert på teikningar frå Arkivsenteret på Dora. Dei har blitt undersøkt opp mot Archicad-filene av bygga og mål som er tatt på ekskursjon. Informasjon om storleikar og oppbygging vart notert i rekneark og kan finnast i vedlegg 4. Ekskursjonen i si heilheit kan ein lese om i vedlegg 7. Som skrivne i innleiinga er S1 og S2 betongbygningar. Hovudberesystemet består av plasstøpte armerte søyler, massive betongveggar og dekkjer i betong. Desse er støypt saman og dannar skjelettet i bygningane. I tillegg er dekkja, dei ytre massive betongveggane på gavlveggane og den eine langsida støypt saman med innvendige betongveggar. Det er dei massive veggpartia på gavlveggane og den eine langveggen som stiva av bygningane. Desse veggane tek opp store spenningar, særleg gavlveggane. Begge Sentralbygga er 41,60 meter lange og 11,20 meter breie. Frå toppen av grunnmuren til toppen av parapeten er det 40,65m, dette er fordelt på 13 etasjar. Dette er illustrert på bilete 7. Søylene langs langveggane står c/c 140cm og mellom desse er det vindaug og

Resultata frå kartlegginga av S1 og S2 er hovudsakleg basert på teikningar frå Arkivsenteret på Dora. Dei har blitt undersøkt opp mot Archicad-filene av bygga og mål som er tatt på ekskursjon. Informasjon om storleikar og oppbygging vart notert i rekneark og kan finnast i vedlegg 4. Ekskursjonen i si heilheit kan ein lese om i vedlegg 7. Som skrivne i innleiinga er S1 og S2 betongbygningar. Hovudberesystemet består av plasstøpte armerte søyler, massive betongveggar og dekkjer i betong. Desse er støypt saman og dannar skjelettet i bygningane. I tillegg er dekkja, dei ytre massive betongveggane på

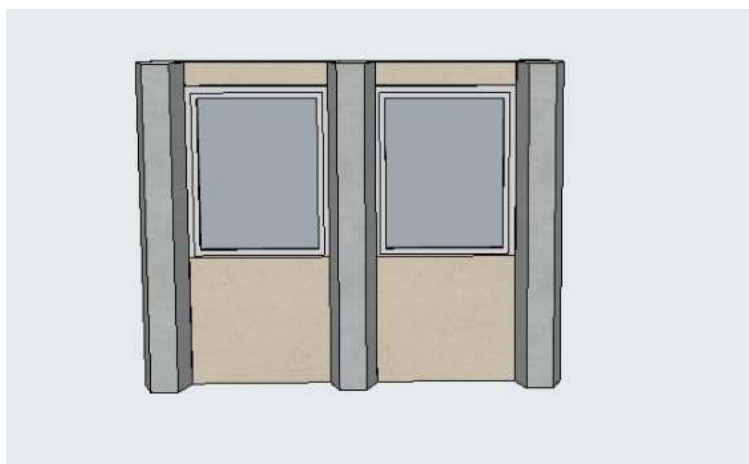


Bilete 6: Utsnitt av bilete IMG_0744. Ein kan sjå gummilista på høgresida av søyla

prefabrikkerte betongplater. Det er ei gummilist for tetting ved fasadeelement, sjå bilete 6 (utklipp frå bilete i vedlegg 1). Denne kan ha smuldra opp og dermed gjort overgangen utett.

Nordleg og sørleg fasade

Både søylene og platene er malt for å beskytte betongen betre. Innanfor platene (over og under vindauga) er det stenderar av impregnert trevirke. Mellom stenderane er det isolert med 10cm

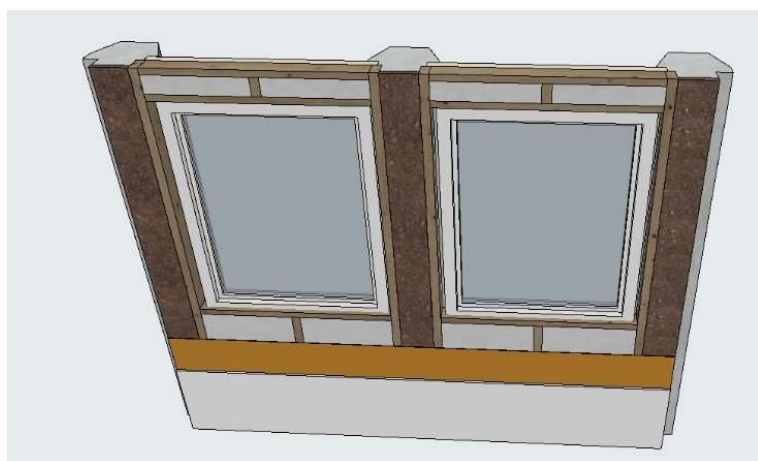


Bilete 8: Illustrert oppbygging av søylevegg, sett utsida

steinull. Søylene er isolert innvendig med 3,0 cm ekspandert kork.

Innanfor søylene og stenderveggen med steinull er det diffusjonstett papp etterfølgt av ei gipsplate som er 1,3 cm tjukk. Mellom søylene er det porebetong i overgangen mellom dekk og fasadeplatene i betong.

Oppbygginga av denne søyleveggen er illustrert på bilete 8 og 9.



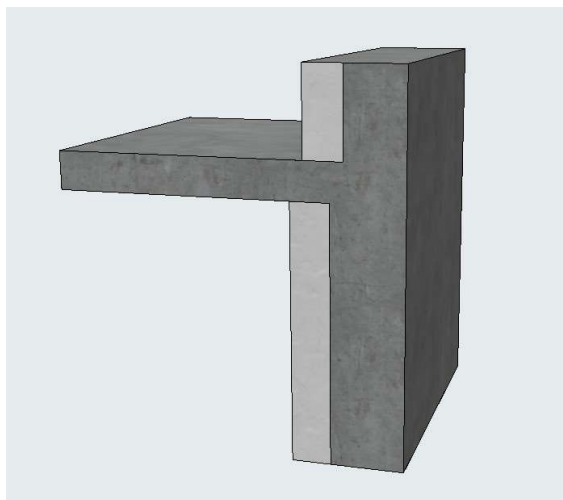
Bilete 9: Illustrert oppbygging av søyleveggen, sett frå innsida

Delar av nordleg fasade på S1 og sørleg fasade på S2 består av den massive betongveggar. Vindauga som er på S1 og S2 i dag er ikkje dei same som då bygget vart oppført, dette vart oppdaga på ekskursjon (vedlegg 7). Det står årstal i karmen på vindauga som seier når dei vart produsert. Det er berre nokre få vindauge som vart inspisert, men aldersteikn har begynte å vise seg på

vindauge produsert i 2004 i sørleg retning på S1, medan dei nyare vindauga ser ut til å vere i god stand.

Vestleg og austleg fasade

Desse veggane består av plasstøypd massiv armert betong og innvendig isolering i form av 15cm porebetong. Betongveggane varierer i tjukkeleik, kjellarveggen er 38 cm, 1. etg er 33cm, 2. og 3. etg. er 28 cm. 4. – 6. etg. er 23 cm og 7. – 13. etg. har 13cm tjukk betongvegg. På bilete 10 ser ein korleis vestleg og austleg fasade er bygd opp når betongveggen endrar tjukkeleik. Bilete er ein illustrasjon av overgangen mellom 3. og 4. etasje.



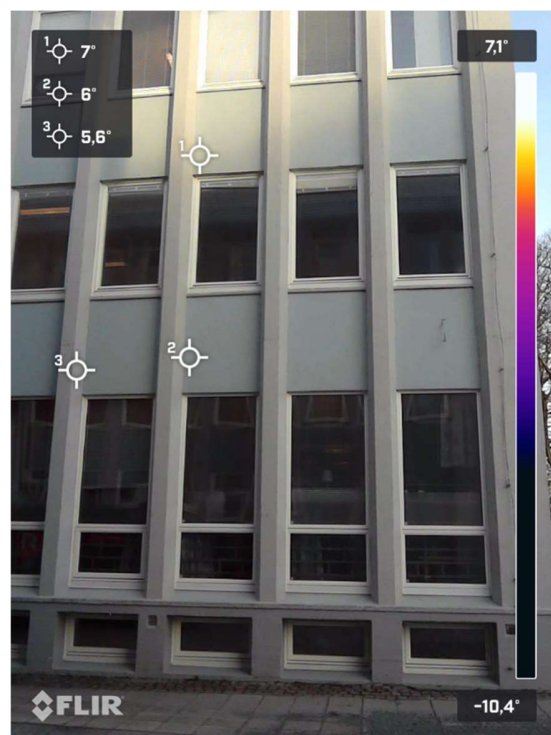
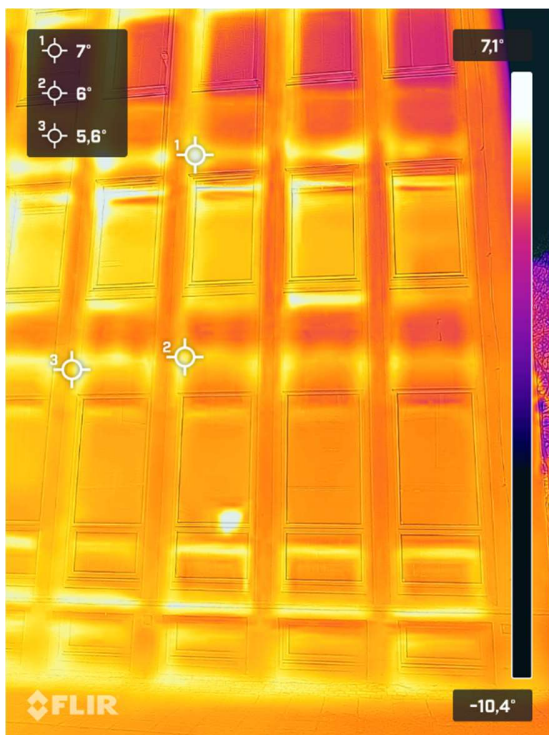
Bilete 10: Oppbygging av gavlveggane. Overgangen mellom 3. og 4. etg. Det mørke er plasstøypd betong, det lyse er porebetong.

4.2 Bygningsfysisk tilstand

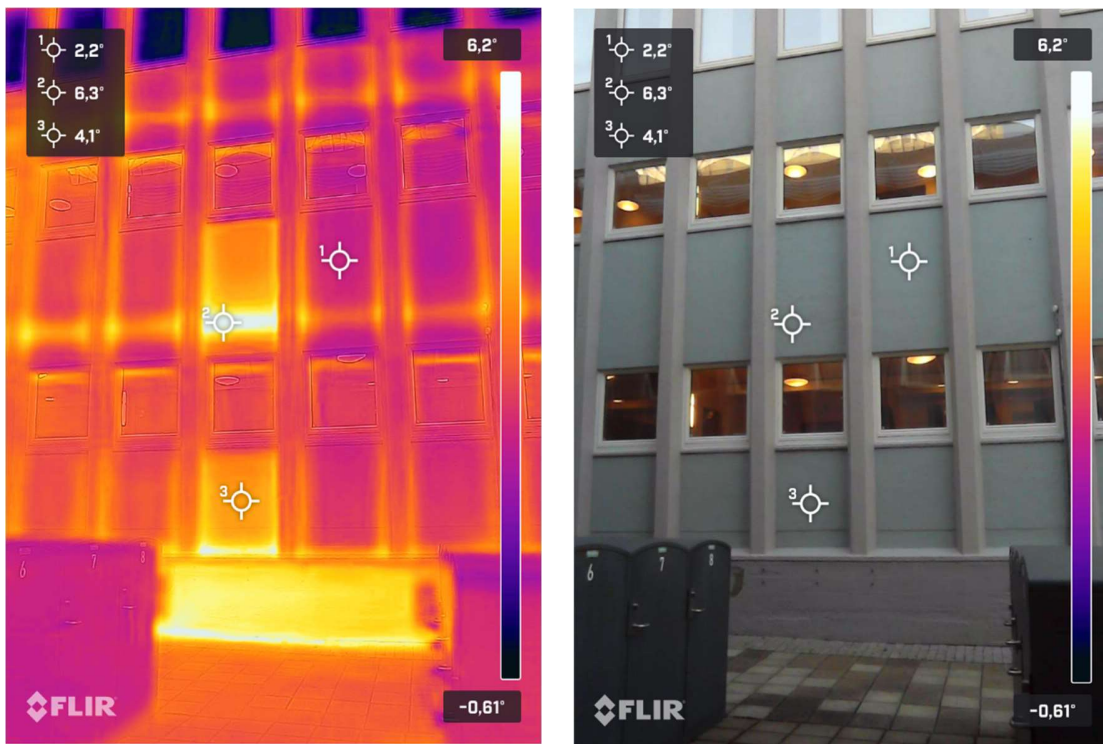
Med utgangspunkt i oppbygginga av S1 og S2 kunne den bygningsfysiske tilstanden verte dokumentert gjennom resultat frå termograferinga, simuleringa og utrekningane av varmegjennomgang og fuktrisiko. Videre kjem ein oppsummerande presentasjon av resultata.

Termografering

Fredag 4. mars På den sørlege fasaden til S1 ved inngangen mot aust kan ein tydeleg sjå kvar dekkka møter ytterveggen. Det er dei lyse stripene der markørane 1, 2 og 3 står, sjå bilete 11. Spesielt på kvar side av søylene kan ein sjå at det er varmare område. Rundt vindauga er det òg tydeleg varmare enn dei delane av veggen der steinulla er. Det same gjeld for den nordlege fasaden på vestsida av bygget. Dekket er godt synleg som ei lys stripe horisontalt på bilete 12. Temperaturen på kvar side av søylene er tydeleg høgare og rundt vindauga er det òg lysare områder. Ved markør 2 er det spesielt varmt samanlikna med temperaturen utandørs på same tidspunkt (6,3°C mot -2°C), sjå bilete 12. Dette tydar på eit spesielt stort varmetap. Det kan til dømes vere porebetongen som har blitt fuktig og dermed har ein mykje høgare varmekonduktivitet og auka varmetapet. Porebetongen er i dette tilfellet det einaste isolerande materialet mellom betongfasadeplata og betongdekket, og om den vert fuktig aukar varmetapet. I overgangen mot søylene kan det sjå ut som det er meir enn berre fuktig porebetong som er problemet. Dei øvste vindauga på bilete ser ut til å vere -0,61°C om ein samanliknar fargen med skalaen til høgre i bilete.



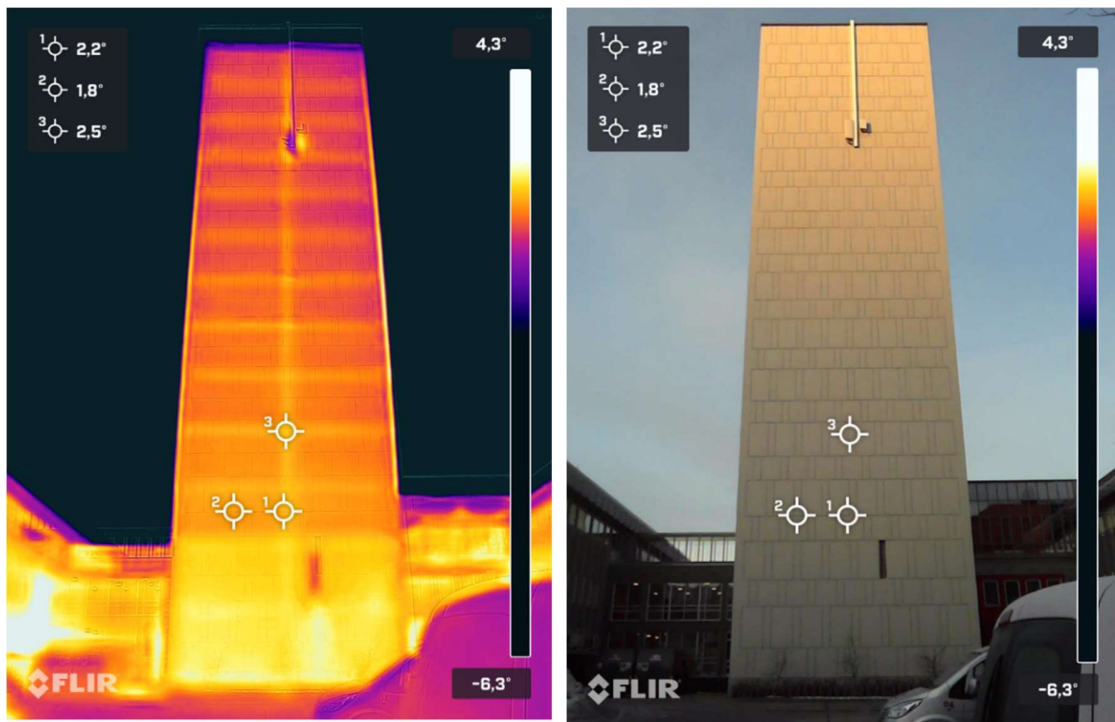
Bilete 11: Termografi på sørleg fasade på S1



Bilete 12: Termografi på nordleg fasade på S1

Desse vindauga reflekterer himmelen, og det er usikkert kva temperaturen som vert fanga opp av kameraet her. Dette er antatt på bakgrunn av at vindauga nedanfor har ein svært anna temperatur og dette fenomenet er gjentakande på fleire bilete.

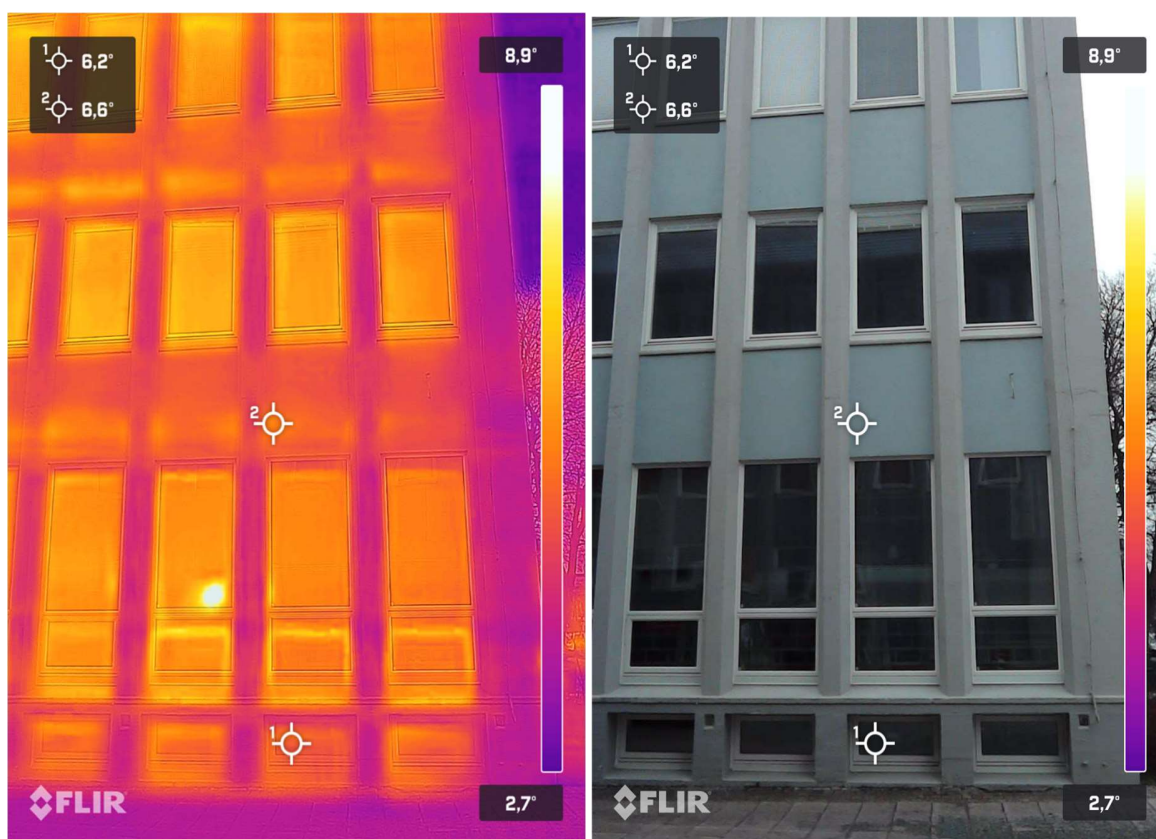
Den austlege fasaden har ikkje like stor kontrast mellom overflatetemperaturen og temperaturen utandørs. Ein kan likevel tydeleg sjå kvar dekka går på grunn av den auka temperaturen, sjå bilete 13. På denne fasaden kan ein òg sjå at temperaturen minkar med høgda på S1. Dette kan til dømes handle om at bygninga vert utsett for meir vind dess høgare på bygget ein ser, medan 1. og 2. etasje er beskytta frå vind av omliggande bygningar på campusområdet. Det kan også handle om forskjellige temperaturar innandørs, då større temperaturforskjell er ein pådrivar for varmetransport.



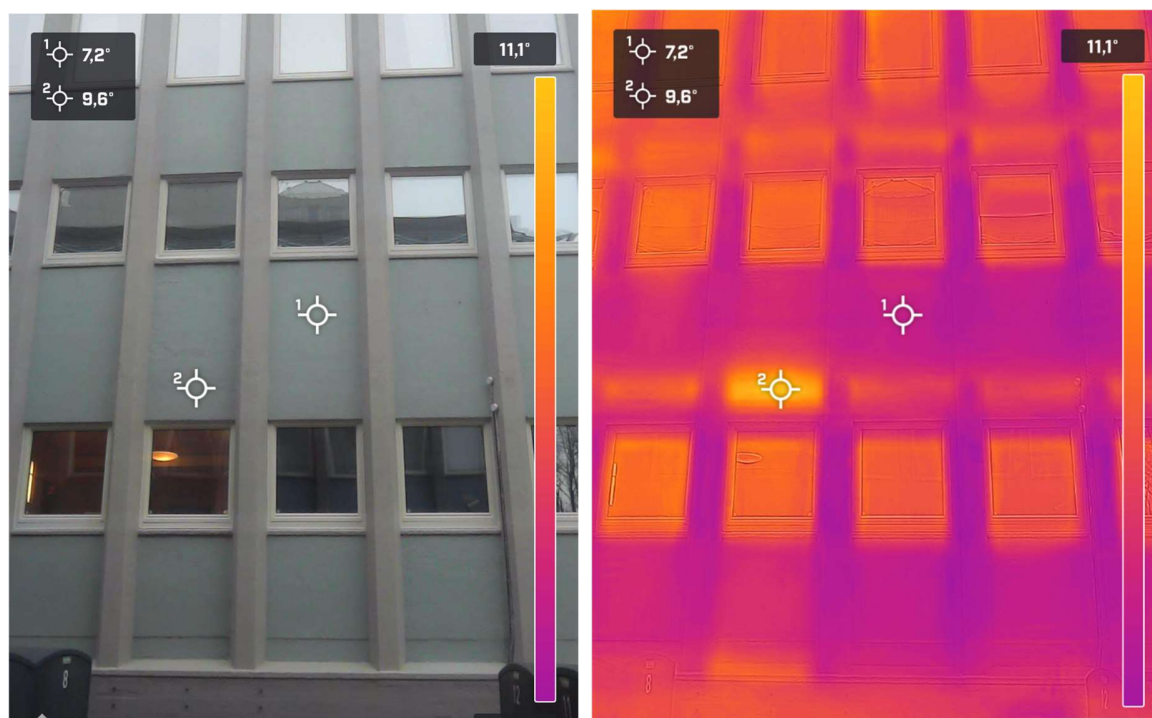
Bilete 13: Termografi på austleg fasade på S1

Laurdag 5. mars

Denne dagen er overflatetemperaturen på dei opake bygningsdelane ein del høgare enn dei var dagen før. Bileta denne dagen var tatt seinare på dagen, så det finst ein moglegheit for at bygget er meir oppvarma enn dagen før. Det kan også vere fordi det var fire grader varmare denne dagen. Dei fleste overflatetemperaturane denne dagen ligg mellom 5°C og 10°C. Ved denne termograferinga kan ein òg tydeleg sjå kvar dekka går i bygninga, sjå bilete 14 og 15.



Bilete 15: Termografi på sørleg fasade på S1



Bilete 14: Termografi av nordleg fasade på S1

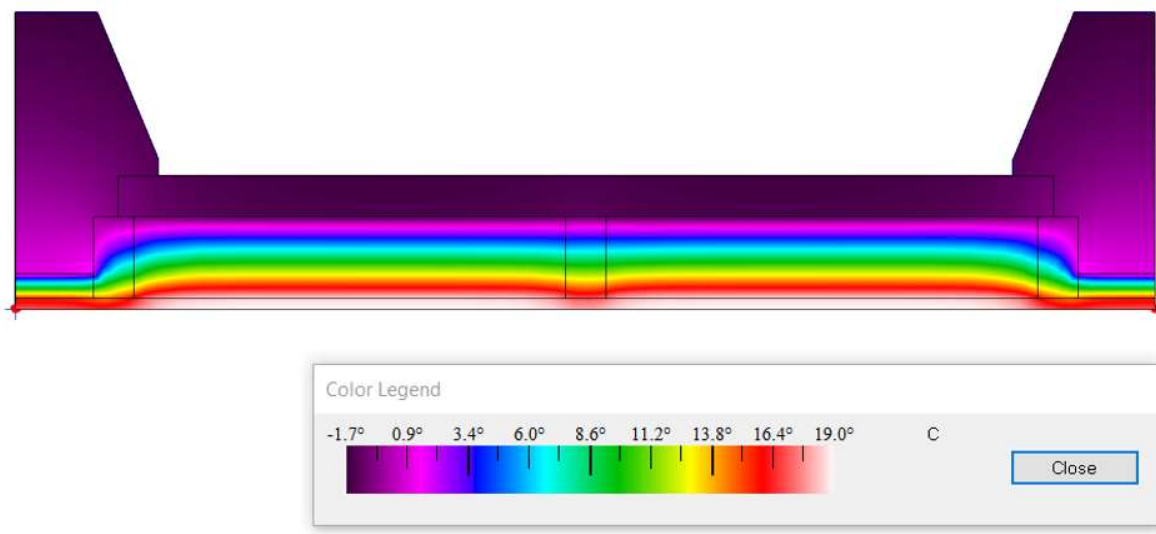
På den austlege fasaden til S2 ser ein svært tydeleg kvar dekkka går, sjå bilete 16.
Her er temperaturen på fasaden 9°C, ein stor kontrast frå dei 2°C det var i lufta.



Bilete 16: Termografi av austleg fasade på S2

Simulering

Simuleringa vart utført på detaljane der det er kryssingspunkt av berekonstruksjonen i ytterveggen. For å samanlikne med termografiane vart det valt ein dag frå termograferinga, og omtrent dei same vêrforholda vart nytta i simuleringa. Det er mykje i dei ytre og indre omgivnadane som verkar inn



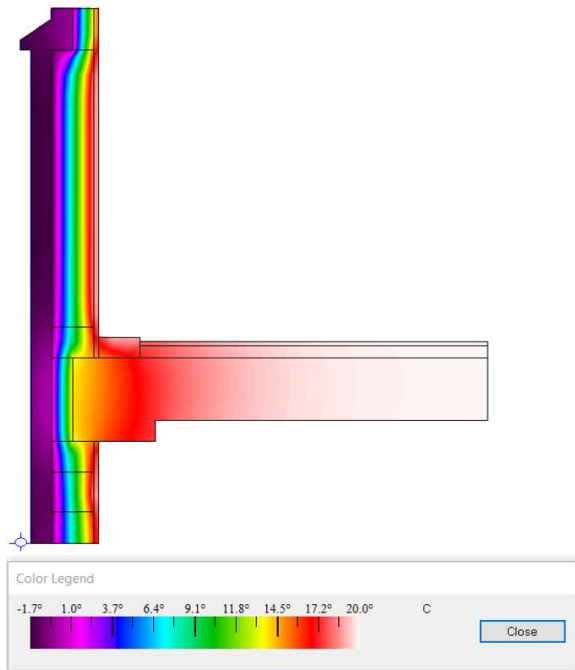
Bilete 17: Simulert temperaturendring mellom søyler på langveggane

på resultatet. Likevel burde store forskjellar på simulering og reell situasjon kunne vise på avvik. Fredag den 4. mars vart brukt vidare, då det var dagen med kaldast utetemperatur og dermed størst temperaturforskjell over ytterveggen. Verdiane som er brukt er basert på samla informasjon og er dokumentert i rekneark til kvar enkelt detalj. Dette er samla vedlegg 10. Alle resultat frå simuleringa kan ein sjå i vedlegg 8. Her ser ein også tilhøyrande U-verdiane og varmefluks for detaljane.

Når ein ser på resultatet frå simuleringa i overgang søyle/veggelement, er overflatetemperaturen litt høgare enn i lufta, ca. $-1,7$ mot -2 grader, sjå bilete 17. Den ser også ut til å vere ganske jamn. Medan på detaljen for overgang dekke/veggelement ser ein forskjell i overflatetemperatur på veggelementet. Ved dekkekant ca. 1 C° og ved botn av vindusinnsetting ca. $0,5\text{ C}^{\circ}$ mot $-1,7\text{ C}^{\circ}$ på resten av overflata, sjå bilde 18.

Det er ein markant forskjell frå temperaturane som vart registrert ved termograferinga. Her er det

derfor mistenkt tilleggslag av varme. Ved samanlikning med bileta frå termograferinga, sjå bilete 12, kan ein sjå at det i overgangen mellom søyle og veggelement ser ut til å vere større



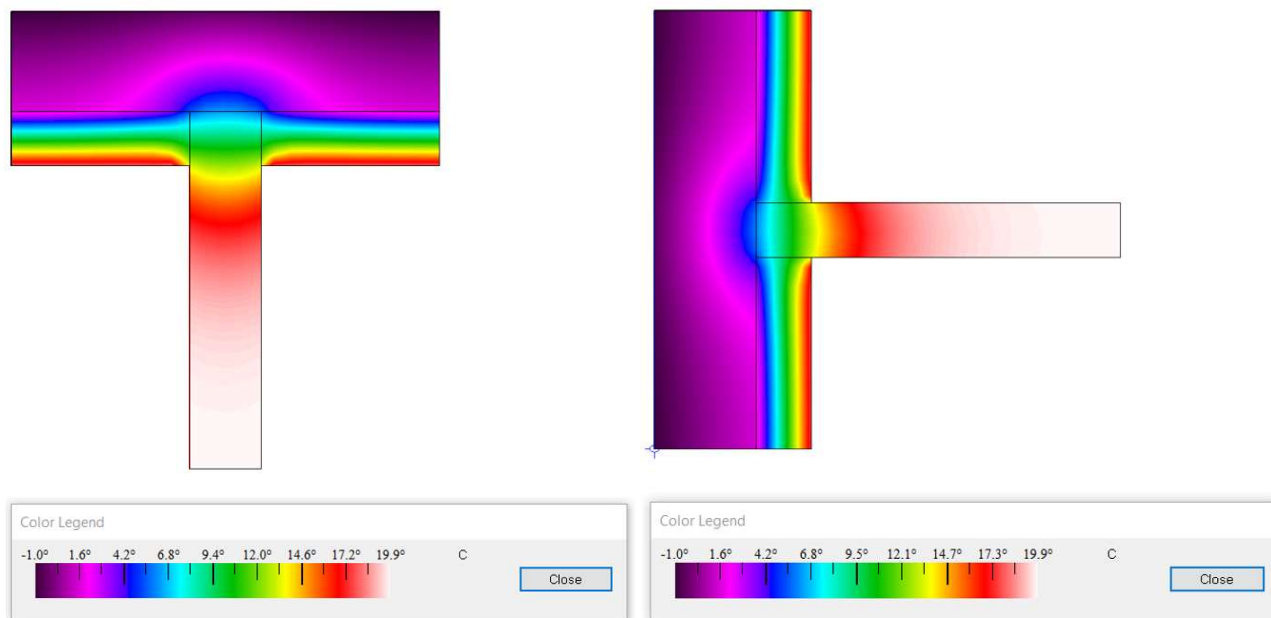
Bilete 18: Simulert temperaturendring i søyleveggen ved dekke

overflatetemperatur enn ved simulering, kan også ha med faktorar som involverer ein meir kompleks varmetransport spesifikt ved overflata.

Vidare vert det sett på simulering av detalj ved gavlvegg. Her er eit tydeleg varmetap ved innerveggen i betong. I kryssingspunktet er temperaturen ca. $-1,6\text{ C}^{\circ}$, medan resten av ytterveggen er ca. $0,5\text{ C}^{\circ}$. Ved dekket vert same situasjon observert, det kan ein sjå på simuleringsbileta, sjå bilete 19. Ved samanlikning med termografiane var det ein forskjell i overflatetemperatur mellom simuleringa og termografiane. På termografia er overflatetemperaturen på ca. $2,5\text{ C}^{\circ}$ ved innerveggen og dekket. På veggpartiet ligg temperaturen på ca. $1,8\text{-}1,2\text{ C}^{\circ}$, her varierer den med høgda. Sjø bilete 13. Differansen i kryssingspunktet mellom veggpartiet og dekket/innerveggen er om lag 1 C° . Dette gjelder både simuleringa og termograferinga, men temperaturen på termograferinga ligg om lag 2 C° høgare enn på simuleringa. Denne forskjellen kan til dømes forklarast med ein oppfukta konstruksjon, noko som gjer at veggen har jamt mindre

varmestraum enn ved simulering, særleg i nærområdet til dekkeforkanten. Det er også ein markant større varmestraum der dekket går bak veggelementet og ved kanten mot vindaugget. Her er det altså observert avvik i temperatur og intensitet/konsentrasjon av varmestraum. Ei forklaring kan vere at materiala har ein høgare varmegjennomgang enn dei verdiane som var antatt, på grunn av til dømes oppfukning. I tillegg kan konstruksjonen vere utett og ha luftlekkasjar noko som kan medføre stor varmetransport, og er vanleg i overgangar mellom material og bygningsdelar. Også aldning og degradering av materiala i form av sig i isolasjonen, og riss i betongen, kan vere moglege forklaringar. At heile bygningane i termografiane ligg på ein høgare

varmemotstand. Det kan også være at gavlveggane er relativt lik utgangsscenario og at temperaturforskjellen kan forklarast ved at overflateforholda er forenkla.



Bilete 19: Simulert temperaturendring i gavlveggen. Innervegg til venstre og dekket til høgre

Termografering av detaljane på massiveggane på langsiden var utfordrande då mellombygga ga avgrensa vinkel frå bakkenivå. Resultata frå simuleringa av desse detaljane vert difor vanskeleg å samanlikne og dermed ikkje beskrive nærare her.

Utrekingar

På grunnlag av U-verdiane simulert i THERM, sjå vedlegg 8, vart lineær kuldebruverdi utrekna for dekka, søylene og dei massive innerveggane. Utrekingane vart utført i reknearket «simuleringsverdier 2022.05.03.xlsx» for kvar detalj, og kan sjåast i vedlegg 10. For å få oversikt over varmegjennomgangen i bygningane vart U-verdiar og kuldebruer samla i ei oversikt. Saman med areala og lengdene for begge bygningane var målet å sjå kva delar som hadde størst innverknad på varmetapet. Det ville fortelje kva bygningsdel som burde prioriterast ved ei oppgradering av fasadane. Då dei utrekna kuldebruene er kontinuerlege langs heile veggene, har kuldebruverdien blitt addert til U-verdi for konstruksjon utan kuldebruer for å kunne evaluere dei forskjellige kuldebruene si innverknad på det totale varmetapet.

Utrekningane vart utført i reknearket «Kuldebro og U-verdi.xlsx» og resultatane kan ein sjå i Vedlegg 11. Gjennomsnittleg vektet U-verdi, normalisert kuldebruverdi og totalt varmetap gjennom ytterveggen vart rekna ut for både S1 og S2. Eit utklipp av resultatane kan sjåast i tabell 2 under. Verdiane for S1 er markert i blått og for S2 er dei markert i grønt.

Normalisert kuldebruverdi ψ'' :		0,274			0,277		
Gjennomsnittlig vektet U-verdi:	0,511			0,511			
Total U-verdi:	0,785			0,788			
Totalvarmetap (U+ ψ tot):				2998,64			3012,41

Tabell 3: Oversikt over U-verdi og kuldebruverdi for S1(blått) og S2(grønt)

Forskjellen i verdiane er på grunn av ein forskjell på mellom anna kuldebruer i gavlveggene. På gavlveggen i S2 er det to sjakter kontinuerleg opp langs heile bygget. Dekkelengda for kvar etasje vert difor kortare, og talet innervegger som er kopla saman med gavlveggen er dubla. I verkelegheita er sjaktbreidda varierende, på same måte som tjukkeleiken på innerveggene. Dette er forenkla til ei konstant sjaktbreidda på 2,3 m og tjukkeleiken på innerveggane er lik den simulerte detaljen for å sjå om det utgjorde ein stor forskjell mellom bygningane. Det er i tillegg forskjell i arealet som mellombygga tek opp på langsiden. Til slutt viser dette seg som ein marginal forskjell.

Kuldebruene utgjør ein stor del av varmetapet. Dei utgjør over en tredjedel av varmetapet i veggane. Ved totalrenovering må ein som nemnt tidlegare oppfylle krava i TEK17. Her er minstekravet til U-verdi i veggane 0,22 W/m²K og varmetapet må reduserast vesentleg for å oppnå dette. Då kuldebruene utgjør ein så stor del av varmetapet er dei ein viktig del å tenke på ved eventuell oppgradering. Ved nærare gransking av utrekningane på vedlegg 11 viser dei også at kuldebruene med høgast verdi er dekkja og innerveggane av betong med verdiane mellom 0,61- 0,97 W/mK. Søylen har lågast verdi på 0,28 W/mK.

For å kunne vurdere fuktrisikoen grundigare vart det utført diffusjonsutrekningar av dei simulerte detaljane. Utrekningane er utført i reknearket «diffusjonsberegning.xlsx» der alle verdiane og resultatane kan sjåast i vedlegg 12. Dei er utført med utgangspunkt i materialeegenskapane frå kartlegginga i vedlegg 4 og tabellerte verdiane og diagram for permeans og vassdamptrykk frå

«Bygningsfysikk Grunnlag» av Jan Vincent Thue (16, s.291,292,330). Det vart tatt utgangspunkt i ein innadørs temperatur på 20 C° med RF 40%, og ein utetemperatur på -22 C° med RF 90%. Dette er verdiar som motsvarer ugunstige, men ikkje usannsynlege, forhold i løpet av kalde vintermånadar. Resultatet var at det i utgangspunktet eksisterer risiko for kondens. Er det i tillegg utettheter der ein får luftstrøyming, aukar denne risikoen. Noko, som tidlegare nemnt, kan vere sannsynleg basert på samanlikning mellom simuleringa og termografiane.

4.3 Materialteknisk tilstand

Den materialtekniske tilstanden for materiala i ytterveggane er eit resultat av miljøet dei står i. Ulike material reagerer forskjellig på nedbrytingsmekanismer, men ein fellesnemnar for materiala er at dei får redusert varmemotstand når dei vert utsett for fukt. Dei organiske materiala kan saman med fukt bli angripte av mugg, sopp og råte.

Betong

Under intervju med sivilingeniør Selberg (vedlegg 5), vart det kjent at betongrehabilitering har blitt utført på begge Sentralbygga på grunn av problem med avskaling. Når tid og kor omfattande den vart utført er ikkje funne dokumentasjon på. Ifølgje Selberg treng betongen rehabilitering, særleg betongplatene. Han meiner at betongplatene ikkje kan bli ståande som dei er i bygget på grunn av alder og utfordringar med å rehabiliterer dei. Området ved innfestinga til fasadeplatene meiner Selberg kan vere utsett for fukt og korrosjon. Frå eit miljøperspektiv hadde det derimot vore mest gunstig å behalde dei eller la dei gå til ombruk som dei er i eit anna bygg (18). Dette fordi det reduserer mengda avfall. Ifølgje Selberg kan betongplatene ikkje brukast til eit formål der dei ber last, sidan dei treng rehabilitering. Ved rehabilitering vil ein fjerne om lag 5cm betong og tilføre ny (vedlegg 5). Då betongplatene er 5cm tjukke (vedlegg 1) vil det ikkje vere mogleg å rehabiliterer desse på denne måten. Det vil då ikkje vere mogleg å redusere dette avfallet frå fasadane.

Det neste alternativet i avfallshierarkiet er resirkulering, og betong kan resirkulerast. Det vil spare både uttak av råmateriale og redusere klimagassutslepp knytt til oppgraderinga. Økonomisk sett har det vist seg å vere lønsamt (28, 64, 65). Eventuelt kan betongplatene brukast til eit formål der dei ikkje ber last (vedlegg 5). Betongsøylene er ein del av hovudberesystemet i bygningane, så desse kan berre bli fjerna dersom bygningane skal rivast. Det kan derimot vere behov for rehabilitering på lik linje med betongplatene. Ifølgje Selberg vil det vere mogleg å rehabilitere betongsøylene (vedlegg 5). I tillegg er det sterkt behov for å kle dei inn slik at dei vert meir

Egenvekt armert betong:		2500 [kg/m ³]		
Elementtype	Antall	Mål [m ³]	Masse [kg]	Vekt [kN]
A	14	0,083	2898	2,90
B	16	0,118	4715	4,72
C	56	0,083	11673	11,67
D	450	0,072	80859	80,86
sum:			100145	100,14

Tabell 4: Den totale vekten av betongplatene på ei bygning

betongelementa rekna ut. Dette gir eit mål på kva vekt den nye fasadeløysinga kan ha for å ikkje utsette bygningen for tilleggskrefter. Dette gjeld dersom massesenteret til ny fasadeløysing vert plassert på same plass som den eksisterande.

Kork

I arbeidet med denne oppgåva er det ikkje utført utrekningar på kva det vil ha å seie om ein lar korken bak søylene bli i fasaden. Dette hadde vore det beste alternativet med tanke på innverknad på miljøet, men det må også vurderast opp mot den totale varmekonduktiviteten og fuktrisikoen i ytterveggen. Om ein skal la korken bli att i ytterveggen er også avhengig av tilstanden på korken. Sjølv om kork er motstandsdyktig mot fukt vil den som nemnt mugne om den er i kontakt med vatn over lengre tid. Den kan ein ikkje seie noko sikkert om før ein opnar veggen.

Steinull

Om steinulla er i god nok stand, kan ein velje å behalde den. I så fall kan ein spare store mengder avfall. På termografiane kan ein sjå at overflata på bygningane er varmare enn temperaturen i lufta, dette kan tyde på for lite eller for dårleg isolasjon. Steinulla kan til dømes ha sige saman dersom

beskytta mot vêr og vind.

Fasadeelementa i betong vart

vurdert til at dei mest truleg burde

fjernast dersom ein ynskjer ei

langsiktig oppgradering av

bygningane. For å halde omtrent

same vekt før og etter oppgradering

er den samla vekten som vert

tilgjengeleggjort på grunn av

den har blitt fuktig. Dette kjem også an på korleis ein vel å oppgradera fasadane. Dersom ein vel å behalde den må ein vurdere kva ein skal gjere med trestendarane som omgir den. Den eksisterande steinulla har noko høgare varmekonduktivitet enn steinull som vert produsert i dag. Steinulla er med andre ord kanskje ikkje like attraktiv for å brukast igjen som den er, då ein kan få betre isolasjonsevne med same volum med nyare steinull. Om ein vel å fjerne all steinulla så kan den gå til resirkulering og verte til ny steinull med lågare varmekonduktivitet.

Porebetong

Igjen vil det vere avhengig av kva type oppgradering ein går for om ein vil behalde porebetongen i bygningane. I dei vestlege og austlege fasadane må ein betre isoleringa, men det er ikkje dermed sagt at porebetongen må ut av veggen. Då porebetongen er støypt fast, kan det verte krevjande å demontere den på ein måte som gjer at den kan brukast igjen som den er. Om den vert fjerna frå bygget og ombruk ikkje er mogleg, så kan porebetongen resirkulerast saman med den vanlege betongen. Om ein finn det gunstig å fjerne porebetongen, vil det på same måte som fasadeelementa frigjere vekt til ei ny fasadeløysing. Porebetongen på nordleg og sørleg fasade (mellom dekkja og området mellom søylene) leia mykje varme ut av bygget, det ser ein tydeleg på termograferinga. Nokre dømer på dette er bilete 11 og bilete 12, i førre kapittel om bygningsfysisk tilstand. Avviket mellom teoretisk og faktisk tilstand kan vere fordi porebetongen har ein høgare λ -verdi enn antatt. Det kan til dømes vere på grunn av fukt. Det kan med fordel utførast målingar av radongass av porebetongen innan ein bestemmer kva som skal skje med den med tanke på oppdagingane av radongass i porebetong i Sverige.

Stenderane

Om impregneringa i stenderane viser seg å vere helseskadeleg og dei må ut av ytterveggen, vil det ikkje vere eit alternativ å redusere dette avfallet. Då det finst ei lov om at impregnering må brennast, så er dette det einaste alternativet for dette avfallet. Om impregneringa ikkje er helseskadeleg vil tilstanden til treverket og val av eventuell oppgraderingsmetode vere med på å avgjere kva ein burde gjere med dei. Det vil mest truleg vere enklare å få til ein god byggteknisk detalj om dei vert fjerna.

Diffusjonstett papp/dampsperre

Dersom dampsperra er laga av impregnert diffusjonstett papp er det ikkje usannsynleg at denne er helse- og miljøskadeleg. Dette vert i så tilfelle rekna som farleg avfall og kan verken gå til ombruk eller resirkulering. Då det ikkje er funne informasjon som fortel kva den eventuelle impregneringa inneheld, kan ein heller ikkje seie korleis pappen eventuelt kan påverke helsa. Dersom pappen er impregnert med helseskadelege stoff er det sannsynlegvis best for brukarane av bygningane at ein fjernar pappen når ein oppgraderar fasaden. I tillegg vart det dokumentert kondensfare i utrekningane. Då pappen er eit organisk materiale kan den vere utsett for mugg. Det vil i så fall også vere helseskadeleg for brukarane av bygningane.

Gips

Dersom gipsplatene skal ut av ytterveggen og kan demonterast utan å bli skada, kan dei i utgangspunktet brukast om igjen som dei er. Dette gjeld dersom dei oppfyller same krav som dagens gipsplater. Dersom platene vert skada ved demontering så kan dei leverast til resirkulering.

4.4 Klimagassrekneskap

Klimagassrekneskap vart ikkje utført i den grad det var planlagt frå starten, då kartlegginga tok mykje lengre tid enn venta. For å gi eit inntrykk av kor viktig betongen sin innverknad på klimagassrekneskapet er, vart det rekna ut kor stor klimagassavtrykk ei rehabilitering av hovudberesystemet kan gi. Dette omfattar søylene, massivveggane og gavlveggane. Resultatet vart om lag 128 300,2 kg CO₂-ekvivalentar. For å få ei forståing kva dette tilsvara i andre material, vart klimagassutslepp også utført på steinull og gips. Ein vil få eit like stor klimagassavtrykk ved å isolere ein av gavlveggane med 19,4 meter tjukt lag glasull eller 1,53 m tjukt lag med gips. Sjå vedlegg 13 for utrekningar. Då ein teknisk sett kan rehabilitere betong om og om igjen ved behov, vil dette vere eit gjentakande utslepp. På lang sikt kan det derfor vere gunstig å minimere dette behovet, eller erstatte det med eit mindre. Noko som kunne vore interessant å rekna vidare på.

5 Diskusjon

Resultata som vart presentert i førre kapittel, vert drøfta vidare med omsyn på klimagassutslepp, energi og stadskvalitetar. Det vert også drøfta korleis samverknadane av dei ulike drivkreftene bak resultata påverka klimagassutslepp, energi og stadskvalitetar. I tillegg er det ein gjennomgang av usikkerheiter og eventuelle feilkjelder.

5.1 Usikkerheiter og feilkjelder

Då informasjon om S1 og S2 ikkje er fullstendig finst det noko usikkerheiter omkring oppbygginga. Desse er forsøkt minimert ved at informasjonen er henta frå ulike kjelder og sjekka opp mot kvarandre. Utforming av detaljer, samanføyingar og materialtypar kan likevel vere annleis. Då detaljar over S2 ikkje vart funne i arkivet på Dora vart det anteke same utforming som S1, men den kan i realiteten skilje seg frå S1. Særleg når det kjem til materialbruk. Noko ein veit er forskjellig i S1 og S2 er talet på innerveggar mellom trappesjaktene. Dette er ikkje tatt høgde for i utrekningane, då det usikkerheit kring eksakt utforming. Det er rekna med fem veggjar i begge bygningane i kvar etasje. På grunn av manglande termografiar på denne delen finst det ikkje dokumentasjon som kan understøtte dette. Det er altså gjort ein del forenklingar, trass dette har det mest truleg ikkje så mykje å seie for resultatet og konklusjonen, då kuldebruverdiane er så store. Kva som er utført av reovering og rehabilitering på bygningane har det heller ikkje blitt funne informasjon om. Det kan ha stor innverknad på det som er anteke om oppbygging som oppgåva er basert på.

Materialverdiar som varmekonduktivitet og permeans høyrer til spesifikke material. Desse verdiane kan ha store avvik frå den faktisk situasjonen og vere heilt feil dersom det er andre material enn anteke i konstruksjonen. Som følgje av dette får utrekningane store usikkerheiter ved seg. Dei er i tillegg basert på grovt forenkla metodar og dermed ikkje direkte samanliknbare med den verkelege situasjonen. Det vil derimot kunne gi ein peikepinn ved store avvik og det er derfor forsøkt å bruke resultata med forsiktighet.

Til termograferinga vart ikkje den faktiske temperaturen og RF målt på campus. Det vart heller ikkje temperaturen innandørs. Sjølv om det vart opplevd svært lite vind på campus desse dagane, så er dette på bakkenivå. Ein kan ikkje utelukka at det blåste høgare oppe. Det kan då vere stor

forskjell frå bakkenivå til 13. etasje på Sentralbygga. Det vart heller ikkje utført termografering innandørs for å samanlikne med bileta som vart tatt utvendige. Noko ein burde gjer for å styrke det som vart anteke og forklare eventuelle avvik. Tidspunkta var også noko ugunstig. På morgon er det høgare risiko for danning av fukt, og det kan forstyrre termograferinga.

5.2 Resultatdrøfting

Generelt sett er S1 og S2 dårleg isolerte bygg, som er langt unna å oppfylle dagens krav i TEK17. Det kan ein sjå både på teikningane som viser oppbygginga av veggane, termografiane og på dei teoretisk utrekna U-verdiane. Basert på den innsamla informasjonen ser det ut til at materiala ikkje er skifta ut sidan oppføringa av bygningane. Grunna den høge alderen kan materiala ha blitt brote ned over tid og tapt seg i funksjon. Dette kan vere ein av grunnane til at bygningane har større varmetap enn det teoretisk burde ha. Varmetapet vert spesielt påverka av kuldebruene i bygningane. I tillegg er det risiko for kondens inne i veggkonstruksjonen, som kan føre til at fukt vert liggande over tid om konstruksjonen ikkje vert tilstrekkeleg uttørka. Størst risiko for dette er på dei nordlege fasadane, der ein har minst sollys. Luftlekkasjar kan også vere til stades og gi dei same effektane. Ein oppgradert yttervegg med auka isolasjonsevne og tettleik vil bidra til å redusere energibehovet og dermed redusere klimaavtrykket til bygningane. Det vil også kunne redusere risikoen for fukt som er bra for både material og inneklima.

Konstruksjonen har generelt sett mange kuldebruer, og dei har svært stor innverknad på varmetapet. Desse kuldebruene kan påverke betongen i berekonstruksjonen. For gavlveggane vil dette auke spenningane i ein allereie spenningsutsett konstruksjonsdel. Noko som kan føre til auka oppriss og dermed hyppigare behov for vedlikehald av betongen. På lang sikt kan dette gi eit stort klimaavtrykk på grunn av emisjonar knytt til betongproduksjon. Samtidig er det viktig å ivareta berekonstruksjonen, slik denne får så lang levetid som mogleg. Dette då det vil innebere store mengder avfall og eit stort klimagassavtrykk om ein skal bygge heilt nye bygningar.

Klimagassavtrykket frå ei eventuell oppgradering må vegast opp mot det ein sparar i utslepp knytt til energi i tråd med metode for ZEB-bygningar. Lykkast ein i tillegg med å redusere behovet for betongrehabilitering ved å beskytte den, kan ein på sikt redusere utsleppa ytterlegare. Dette kan vere særst viktig for gavlveggane, då dei er utsett for så store spenningar. Då både klimagassutslepp og energi er fokusområde for det overordna prosjektet er denne avveginga viktig.

Etter utrekningane utført i arbeidet med denne oppgåva er kuldebruene som oppstår ved dekkene og innerveggene i plasstøpt betong dei verste. Størst verdi har dei ved massivveggane på langsiden. Det kan forklarast ved at desse veggane er innvendig isolert med mineralull som har mykje lågare λ -verdi enn betongen. Da varmen tek den enklaste vegen, vert intensiteten av varmestraumen høgare her enn ved gavlveggen som er innvendig isolert med porebetong. Noko som også kan observerast på bileta med varmefluksvektorar på vedlegg 8. Utvendig isolering av gavlveggane, massivveggane og mellom søylene vil utgjere ein stor forskjell i varmetapet. Med nok isolasjon vil ein eliminere kuldebruene, samtidig vil det auke isolasjonsevna til veggane. Ynskjer ein derimot å oppnå ein høgare energistandard, som passivhus, kan det bli naudsynt med god etterisolering av søylene også. Dette fordi ein har krav til at normalisert kuldebruverdi er $\leq 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Innfestinga av betongelementa ser ut til å vere områder som kan vere utsett for høg varmetransport og fuktdanning, noko ein kan sjå på termografiane og Selberg antek er sannsynleg. Då desse ikkje har same potensialet for rehabilitering, og dei har nådd ein høg alder kan det vere på tide og naudsynt å demontere dei. Dette vil også lette arbeidet med etterisolering mellom søylene og installering av nytt fasadesystem som er enklare å ivareta. Vidare vil ei fjerning av elementa avlaste bygga i stor grad på grunn av vekta dei tilfører. Ein annan fordel er at det kan gjer arbeidet med å rehabiliterare søylene enklare og grundigare. Om det har lege fukt her over tid vil det vere høg risiko for korrosjon, noko som auka behovet for rehabilitering av søylene. Om ein demonterer veggelementa har ein også moglegheit til å fjerne porebetongen i framkant av dekkane. Porebetongen kan då erstattast av betre isolasjonsmateriale. Dette kan også frigjere volum og litt vekt som gjer moglegheitene for ulike oppgraderingssystem meir fleksible.

Når det kjem til porebetongen i gavlveggane er det sett teikn til fuktrisiko, i tillegg har den dårleg isolasjonsevne. Å redusere avfall er første prioritet og ved ei utvendig etterisolering er det mogleg at porebetongen kan stå att reint byggtknisk. Det må reknast vidare på. Her er spørsmålet om den derimot kan gjere meir nytte dersom den demonterast, til trass for dei ekstra emisjonane det inneber. Dette då det finst ein liten risiko for innhald av radon, det vil frigjere meir plass innvendig om den vert fjerna og det vil i tillegg avlaste bygningane for vekt. Samtidig vil ein liten mengde ny

isolasjon kunne erstatte tilsvarande varmemotstand som porebetongen gir, grunna den høge varmeleiingsevna den ser ut til å ha.

Ytterveggane påverkar også miljøet innandørs i bygningane. Ei oppgradering kan redusere temperaturforskjellar og dermed bidra til å betre den termiske komforten. Om temperaturforskjellar er merkbar av brukarane i bygningane i dag, er ikkje undersøkt. Under ekskursjonen vart det oppdaga problem med blanding innvendig på sørleg side. Dette var løyst ved innvendig eller mellomliggande solskjerming, med forskjellige gardiner og persienner. Dette ga ei oppleving av redusert utsikt og romkjensla. Her finst det moglegheit for å implementere utvendig, smart solskjerming. Ulempa med ei smart solskjerming framfor ei fast solskjerming, er at den kanskje vil krevje meir vedlikehald. Noko som vil vere utfordrande på eit bygg med 13 etasjar. Samtidig gir ei smart solskjerming større moglegheiter for tilpassing og er meir fleksibelt med tanke på andre funksjonar i tillegg til skjerming. Dei fleste vindauga i seg sjølv er ikkje særleg gamle. Dette gjer at det burde reknast nærare på om ein skal behalde dei eller ikkje. Om ein ikkje skal behalde dei i bygningane, kan dei truleg nyttast i eit anna bygning som dei er. Dei impregnerte byggemateriala kan påverke miljøet innandørs utan at det merkast, det kan likevel ha skadeleg innverknad på helsa til brukarane av bygningane. Er det helseskadelege stoff i veggene burde dei fjernast.

Stadsoppleving av bygningane er ein viktig del av å sjå bygningane i eit ZEN-perspektiv, då det er eit av hovudfokusa i det overordna prosjektet. I tillegg til miljøet innandørs har bygningane ei stor innflyting på miljøet utandørs på grunn av si sentrale plassering og formidable storleik. For å mogleggjere forbetringar til det utvendige og innvendige miljøet med omsyn på dette, kan ei totalrenovering av fasadane vere naudsynt. Dersom ei totalrenovering også hadde omfatta innvendig areal vert også mykje material tilgjengeleg her, og ein kan sjå på moglegheitene for direkte ombruk/gjenbruk i vidare arbeid.

Vindauga må ein også ta ein avgjersle om. Dei på sørleg fasade på S1 er frå 2004 og begynner så smått å vise aldringsteikn. Dei har likevel truleg nokre år igjen innan dei burde skiftast. Resten av vindauga er frå 2014 eller 2016, og viser ingen visuelle aldringsteikn. Dersom ein fjerna fasadeplatene i betong må også vindauga demonterast. I kva grad vindauga då kan brukast vidare i det nye fasadesystemet må avgjerast med omsyn på levetid og emisjonar. Dei burde brukast einkvanstad om det vurderast at det ikkje er mogleg å behalde dei i Sentralbygga.

Eit alternativ til ei meir omfattande oppgradering er innvendig etterisolering. Då kan ein behalde den opphavlege konstruksjonen utvendig og rehabilitere denne ved behov. Her er det moglegheit for å erstatte isolasjonen med betre materiale, såkalla superisolasjon, for å minske arealtapet. Det vert enklare arbeidsoperasjonar då det kan gjerast innvendig, ein treng mindre material og det er mest truleg eit billigare alternativ grunna innspara arbeidstid og rigg av byggeplass. Ein mistar derimot moglegheitene til å bryte kuldebruene og avgrensa energieffektiviseringa. Det inneber truleg også at fuktrisiko består og berekonstruksjonen framleis vert utsett for vær og vind. Denne løysinga held til veggelementa har blitt så brote ned at dei må fjernast. Noko som i følge Selberg er innan eit relativt kort tidsrom (vedlegg 5). På lengre sikt kan dette mest truleg leie til meir klimagassutslepp, men på kort sikt er det moglegvis betre. Dette må ein i så tilfelle undersøke nærare.

Betongen på Sentralbygga har blitt rehabilitert, men når tid dette vart utført er ikkje funne dokumentasjon på. Er rehabilitering nyleg utført, og gavl- og massivveggane er i så god stand at dei kan etterisolerast utvendig direkte, kan ein sparte store mengder betong og utslepp. Det krev eigne undersøkingar. Det er gjort eit anslag over klimagassutsleppet ein må rekne med dersom ein må rehabilitere all betongen i den berande konstruksjonen. Då er det berre tatt med produksjon av betong og transport til byggeplassen (A1-A4). Ein må altså rekne med eit høgare utslepp då montering og avfallshandtering også vil bidra til avtrykket. Hovudprinsippa for å redusere utslepp i byggefasen er dei same som i avfallshandteringa; redusere og minimere. Det har ikkje blitt rekna på kor stort avtrykket hadde blitt om ein hadde brukt lågkarbonbetong. Dette er også ei moglegheit for å redusere CO₂-avtrykket. Ein anna moglegheit for å gjere vesentlege kutt i klimaavtrykket til ei oppgradering, er å nyttegjere seg av ombruk av demonterte material frå andre bygningar og konstruksjonar. Modulbaserte bygningar som mogleggjer enkel demontering og utskifting av bygningsdelar, er også relevant. Det aukar sirkularitet til materiala i bygningane.

5.3 FoU-kapittel

I arbeidet med denne oppgåva vart det lagt ned tid på å kartlegge handtering av eit eventuelt avfall frå ei oppgradering av ytterveggene. Målet var at materialet skulle handterast så høgt opp som mogleg i avfallshierarkiet, for å ha minst mogleg negativ innverknad på miljøet. Inntrykket er at dette ikkje vert lagt vekt på i bransjen, mellom anna på grunn av manglande kapasitet og returordningar som gjer det alt for økonomisk ugunstig. Så trass i at det finst teknologi, så stoppar det likevel opp einkvan stad. Om byggebransjen skal lykkast med å bli kvitt stempelet som 40%-næringa, burde det gjerast meir forskning på å finne årsaker og løysingar til dette.

Det er lagt ned eit omstendeleg og grundig arbeid med dokumentasjon og organisering av innsamla informasjon i denne oppgåva. Mykje av dette kan brukast som grunnlag for vidare forskning. Delar av informasjonen vil kunne nyttast i doktorgradsarbeidet til Bjelland og forskinga han utfører på berekraftige oppgraderingar av eksisterande bygningar mot ZEN. Bjelland er ein av 27 doktorgradsstudentar som høyrer til FME ZEN. Saman med 34 forskarar arbeida FME ZEN på å finne løysingar på korleis ein kan bygge nullutsleppsnetlag. Dei har ni pilotprosjekt der dei samarbeider med fleire kommunar, NTNU, SINTEF og fleire bedrifter i privat sektor som høyrer til byggesektoren. Med andre ord så skjer det mykje forskning på dette området, som denne oppgåva fohåpentligvis kan bidrage til.

6 Konklusjon

Gjennom kartlegging og vurdering av tilstand på bygningane og dei enkelte materiala er det kome fram til ein konklusjon.

6.1 Forslag til oppgradering

På bakgrunn av funna i denne oppgåva og ambisjonane til forskingsprosjektet, vert det konkludert med at det er naudsynt med ei totalrenovering av fasadane til Sentralbygga. Dette bør ein gjere ved å demontere betongelementa og beskytte den berande betongkonstruksjonen med etterisolering. Ved utvendig etterisolering kan ein bryte dei omfattande kuldebruene som har stor innverknad på varmetapet og materialtilstandar. Sjikta bak betongelementa må mest truleg også demonterast, noko som skapar større moglegheiter for eit nytt og smart fasadesystem. Fleire av sjikta her kan vere heilt naudsynt å fjerne om dei inneheld helseskadelege stoff. Av desse sjikta har steinullisolasjonen størst potensiale for å kunne brukast om, medan betongelementa har ein avgrensa funksjonsevne og kan mest truleg ikkje brukast om der dei ber last. Samla sett har materiala eit høgt potensiale for resirkulering, dessverre manglar det returordningar som gjer at ein kan nå dette potensialet.

For å få eit klart bilde over tilstand må innerveggene opnast frå innsida og inspiserast. Om ein skal la porebetongen i gavlveggane stå att, eller om den må fjernast med tanke på fuktrisiko, må reknast nærare på. Frå eit reint avfallssynspunkt burde den stå att, medan det vil frigjere meir areal og vekt dersom ein fjernar den. Det å fjerne porebetongen ved framkanten av dekket gir betre moglegheiter for fasadeoppgraderinga. Kva type porebetong som er installert må kartleggast for å med sikkerheit kunne sjå bort frå ein risiko for radon. Tilstand på betongen er avgjerande for rehabiliteringsbehovet, og må kartleggast meir nøye, men ved å minimere behovet for rehabilitering kan ein mest truleg spare store mengder emisjonar.

Ei totalrenovering kan medføre større moglegheiter for å kombinere smarte løysingar, ombruksløysingar og optimalisering av bygningane mot området. I tillegg finst det moglegheiter for energiproduksjon på fasadane. Kva energistandard ein ynskjer å oppnå må koplast til emisjonane det medfører i material, og vegast mot mogleg energiproduksjon og alternative oppgraderingsscenario. Men det finst store moglegheiter for å spare energi ved å oppgradera

fasadane, og det finst mange moglegheiter for å halde emisjonane nede ved ei oppgradering. Her kan ein sjå på ombruk, moderne teknologi, lavemisjonsmaterial og moglegheiter for karbonlagring. Her finst også ei stor moglegheit for å legge til rette for dei framtidige utsleppa til bygningane. Til dømes kan ein bruke installasjonsmetodar som mogleggjer enkel og rask demontering, ombruk og rehabilitering av element. Det å ta med S1 og S2 inn i neste generasjon av bygningsteknologi og lavemisjonskonstruksjonar vil reflektere NTNU sitt motto «Kunnskap for ei betre verd» på ein god måte. Samtidig vil det spegle ei viktig og naudsynt utvikling av samfunnet.

6.2 Veggen vidare

I arbeidet med denne oppgåva er det kartlagt fleire områder som kunne vore interessant å sjå nærare på. Forhåpentleg kan denne oppgåva brukast som grunnlag for vidare arbeid på dette området, både på bachelor- og masternivå. Det vart mellom anna utført ein idé-verkstad der det vart utveksla idear saman med ei anna bachelorgruppe, medretteleiar og rettleiar. I tillegg har det blitt lest og funne informasjon om fleire spanande material og tekniske løysingar. Blant desse kan grønne fasadar, superisolerande puss med aerogel, bygningsintegrerte solceller med smart solskjerming og klikk-baserte fasadeløysingar som «plug-and-play» nemnast som spesielt interessante (66-69). Korleis slike smarte, og innovative løysingar verkar inn på klimagassrekneskapet, og trivselen til brukarane av bygga, er også noko det kan vere interessant å sjå på. Til dette arbeidet kan ein til dømes nytte Reduzer (70), noko som i utgangspunktet var planen i denne oppgåva. Reduzer er kopla direkte opp mot EPD-ar og gir god oversikt over klimagassrekneskapen (70). Spesielt om ein ynskjer å samanlikne ulike løysingar og material.

Referanseliste

1. Framsikt 2050. Oslo: SINTEF; 2020.
2. Lov om klimamål (klimaloven), (2017).
3. Klimakur for bygg og eiendom: Grønn Byggallianse; [henta 03. mai 2022]. Tilgjengeleg frå:
<https://byggalliansen.no/kunnskapscenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/#1610543297119-2891ab52-ad8a>.
4. Fufa SM, Schlanbusch RD, Sørnes K, Inman MR, Andresen I. A Norwegian ZEB Definition Guideline. SINTEF Academic Press; 2016.
5. Nullutslippsbygninger (ZEB). Retningslinjer og beregningsmetoder: SINTEF; 2017 [oppdatert August 2017; henta 08. mai 2022]. Tilgjengeleg frå:
https://www.byggforsk.no/dokument/5177/nullutslippsbygninger_zeb_retningslinjer_og_beregning_smetoder.
6. ZEB. Om ZEB [Tilgjengeleg frå: <http://www.zeb.no/index.php/no/om-zeb/about-the-zeb-centre>].
7. Marianne WK, Selamawit FM, Daniela B, Igor S, Inger A. ZEN Report No. 11- THE ZEN DEFINITION - A GUIDELINE FOR THE ZEN PILOT AREAS. VERSION 1.0. 2018. Rapport nr.: 11.
8. Hamdy M. ZEB vs ZEN 2021 [oppdatert 17. november 2021; henta 13. mai 2022]. Forelesning]. Tilgjengeleg frå: https://ntnu.blackboard.com/bbcswebdav/pid-1564409-dt-content-rid-42561345_1/xid-42561345_1.
9. NTNU Campus, Knowledge Axis Trondheim: FME, NTNU, SINTEF; [henta 12. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://fmezen.no/knowledge-axis-trondheim/>.
10. Strinda H. Karl Grevstad: Strinda Historielag; 2015 [oppdatert 06. oktober 2020]. Tilgjengeleg frå: https://www.strindahistorielag.no/wiki/index.php/Karl_Grevstad.
11. Gløshaugen Trondheim, Stat. Vedlegg 13 (21.06.2011, 2011).
12. Etterisolering av betongvegger: SINTEF; 2014 [oppdatert Desember 2014; henta 15. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: https://www.byggforsk.no/dokument/678/etterisolering_av_betongvegger.
13. Om oss: Arkivsenteret dora; 2018 [oppdatert 2018; henta 02. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.arkivsenteret.no/om-oss/>.

14. THERM: U.S. Department of Energy; 2019 [henta 9. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://windows.lbl.gov/software/therm>.
15. Ansatte: NTNU; [henta 02. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.ntnu.no/ansatte/arne.m.selberg>.
16. Thue JV. Bygningsfysikk : grunnlag. Bergen: Fagbokforl.; 2016.
17. Jelle BP, Grynning S, Relander T-O, Dalehaug A. Unngå byggskader vedtermografering av bygninger. Byggaktuel. 2010(11):46-7.
18. Peng C-L, Scorpio DE, Kibert CJ. Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. Construction Management and Economics. 1997;15(1):49-58.
19. FNs berekraftsmål: FN-Sambandet; 2022 [oppdatert 18. mars 2022; henta 02. mars 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal?lang=nno-NO>.
20. 12 Ansvarlig forbruk og produksjon: FN-Sambandet; 2022 [oppdatert 23. februar 2022; henta 02. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon?lang=nno-NO>.
21. Nilsen HR. sirkulær økonomi 2020 [oppdatert 3. mai 2021; henta 10. mai 2022]. Digital versjon av snl]. Tilgjengeleg frå: https://snl.no/sirkul%C3%A6r_%C3%B8konomi.
22. Betong. Typer, egenskaper og bruksområder: SINTEF; 2016 [oppdatert Mars 2016; henta 12. april 2022]. Tilgjengeleg frå: https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader.
23. Sandaker BN, Sandvik M, Vik B. Materialkunnskap. Lillestrøm: Byggenæringens forl.; 2003.
24. Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer: SINTEF; 2020 [oppdatert September 2020; henta 12. april 2022]. Tilgjengeleg frå: https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer.
25. Lindland J, Helgedagsrud T. Betongrehabilitering : reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll. 2. utg. utg. Oslo: Norsk forening for betongrehabilitering; 2017.
26. Nedbrytningsmekanismer i betongkonstruksjoner: SINTEF; 2021 [oppdatert September 2021; henta 13. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: https://www.byggforsk.no/dokument/6237/nedbrytningsmekanismer_i_betongkonstruksjoner.
27. Andrew RM. Global CO2 emissions from cement production, 1928–2018. Earth System Science Data. 2019;11(4):1675-710.

28. Resirkulert tilslag av tegl og betong: SINTEF; 2015 [oppdatert Mars 2015; henta 12. april 2022]. Tilgjengeleg frå:
https://www.byggforsk.no/dokument/3162/resirkulert_tilslag_av_tegl_og_betong.
29. Pereira H. Cork : biology, production and uses. Amsterdam ;,London: Elsevier; 2007.
30. Bartlett J, Rusch GM, Kyrkjeeide MO, Sandvik H, Nordén J. Carbon storage in Norwegian ecosystems (revised edition). Norwegian Institute for Nature Research; 2020.
31. Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper: SINTEF; 2020 [oppdatert September 2020; henta 12. april 2022]. Tilgjengeleg frå:
https://www.byggforsk.no/dokument/604/varmeisolasjonsmaterialer_typer_og_egenskaper.
32. Jelle B. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. Energy and Buildings. 2011;43(10):2549-63.
33. Bokalders V. Isolasjonsmaterialer A - Å: Bygg og bevar; 2020 [oppdatert 09. september 2020; henta 27. april 2022]. Tilgjengeleg frå:
<https://www.byggogbevar.no/enock/artikler/isolasjonsmaterialer-a-%C3%A5>.
34. Eldre yttervegger av mur og betong. Metoder og materialer: SINTEF; 2017 [oppdatert Februar 2017; henta 27. april 2022]. Tilgjengeleg frå:
https://www.byggforsk.no/dokument/677/eldre_yttervegger_av_mur_og_betong_metoder_og_materialer#i33.
35. GREEN PROJETO DE RECICLAGEM: Green Cork Project; 2014 [henta 27. april 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.greencork.org/>.
36. Recork: ReCORK; 2022 [henta 27. april 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://recork.com/us/>.
37. Kvarme-Joakimsen G. Ferista barnehage tester underlag av kork: Trondheim Kommune; 2021 [oppdatert 9. mars 2021; henta 27. april 2022]. Tilgjengeleg frå:
<https://trondheim2030.no/2021/03/09/ferista-barnehage-tester-underlag-av-kork/>.
38. Tonstad P. Resirkulering av steinull. I: Furset M, red. 2022.
39. ROCKWOOL. Om oss: AS ROCKWOOL; 2022 [Tilgjengeleg frå:
<https://www.rockwool.com/no/om-oss/>.
40. Murverk. Materialer, typer og egenskaper: SINTEF; 2011 [oppdatert Desember 2011; henta 11. april 2022]. Tilgjengeleg frå:
https://www.byggforsk.no/dokument/574/murverk_materialer_typer_og_egenskaper.
41. Avfallshåndtering på byggeplass. I: anleggsavfall Nhfb-o, red. 2016.

42. Burström PG. Byggnadsmaterial : oppbyggnad, tillverkning och egenskaper. 2. [korr.] uppl. utg. Lund: Studentlitteratur; 2018.
43. Miljøkartlegging og miljøsanering ved riving og ombygging: SINTEF; 2021 [oppdatert Mai 2021; henta 26. april 2022]. Tilgjengeleg frå:
https://www.byggforsk.no/dokument/644/miljoekartlegging_og_miljoesanering_ved_riving_og_ombygging#i6.
44. Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften), (2004).
45. Impregnert trevirke: Avfall Sør; [henta 26. april 2022]. Tilgjengeleg frå:
<https://avfallsor.no/avfallstype/impregnert-trevirke/#:~:text=Impregnert%20trevirke%20g%C3%A5r%20til%20forbrenning,sikres%20mot%20utslipp%20av%20milj%C3%B8gifter>.
46. Olsen KH. Norsk Gjenvinning. 2022 08. mars 2022. [2022]. Tilgjengeleg frå:
<https://blogg.norskgjenvinning.no/er-impregnert-treverk-farlig-avfall#:~:text=Det%20er%20forbudt%20%C3%A5%20gj%C3%A6nnytte,behandlet%20i%20henhold%20til%20regelverket>.
47. Stenby OC. Hva finnes i veggen? : Bygg og bevar; 2022 [oppdatert 01. mars 2022; henta 26. april 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.byggogbevar.no/enok/artikler/hva-finnes-i-veggen>.
48. Geving S. Konstruksjoner under grunnen - kjelleryttervegger [henta 10. mai 2022]. Forelesning].
49. Fukt, fuktskader og muggsopp: Norsk helsenett; 2019 [oppdatert 04. mars 2019; henta 03. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.helsenorge.no/helse-og-miljo/fukt-fuktskader-og-muggsopp/#:~:text=fuktskader%20i%20boliger%3F-%C3%98kt%20risiko%20for%20allergier%20og%20luftveislidelser,hoste>.
50. Gipsplater. Typer og egenskaper: SINTEF; 2021 [oppdatert November 2021; henta 26. april 2022]. Tilgjengeleg frå:
https://www.byggforsk.no/dokument/570/gipsplater_typer_og_egenskaper.
51. Gipsplater: Bygg og bevar; 2019 [oppdatert 14. mars 2019; henta 26. april 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.byggogbevar.no/enok/groenne-materialvalg/bygningsplater/gipsplater>.
52. Offisiell åpning av Den Sirkulære Gipsfabrikken [pressemelding]. 13. august 2019 2019.
53. GLAVA. Gipsproduksjonen i Fredrikstad [Tilgjengeleg frå:
<https://www.glava.no/aktuelt/gipsproduksjonen-i-fredrikstad>.

54. Lindgren SC. Spørsmål om gips til bacheloroppgåve. I: Marit F, red. 2022.
55. Om livsløpsvurdering - LCA (Life Cycle Assessment): NORSUS - Norsk institutt for bærekraftsforskning; [henta 08. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://norsus.no/om-livslopsvurdering/>.
56. Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurdering (LCA): SINTEF; 2015 [oppdatert Juni 2015; henta 05. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: https://www.byggforsk.no/dokument/4144/metodiske_valg_og_problestillinger_ved_livslopsvurdering_lca.
57. Hva er en EPD? : epd-norge; [henta 08. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>.
58. Veiledning om tekniske krav til byggverk: Direktoratet for byggkvalitet; 2017 [oppdatert 15. september 2017; henta 8. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
59. Kapittel 14 Energi. § 14-1. Generelle krav: Direktoratet for byggkvalitet; 2017 [oppdatert 15. september 2017; henta 8. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-1/>.
60. Om oss: Standard Norge; 2020 [oppdatert 16. desember 2020; henta 8. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.standard.no/toppvalg/om-oss/>.
61. Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Yrkesbygninger Standard Norge; 2012.
62. Kapittel 14 Energi. § 14-2. Krav til energieffektivitet: Direktoratet for byggkvalitet; 2020 [oppdatert 1. oktober 2020; henta 8. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/>.
63. Kapittel 14 Energi. § 14-3. Minimumskrav til energieffektivitet: Direktoratet for byggkvalitet; 2018 [oppdatert 1. januar 2018; henta 8. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3/>.
64. Tam VWY. Economic comparison of concrete recycling: A case study approach. Resources, Conservation and Recycling. 2008;52(5):821-8.
65. Dinh T. Potensial for reduksjon av livssyklus klimagassutslipp ved gjenbruk og resirkulering av betong. Narvik: Universitetet i Tromsø - Norges arktiske universitet; 2021.
66. Klanten R, Stuhler E. Evergreen Architecture : Overgrown Buildings and Greener Living. 1. Auflage. utg. Berlin: Die Gestalten Verlag; 2021.

67. Herzog T, Krippner R, Lang W, Institut für internationale A-D. Facade Construction Manual. 2nd rev. and ex. utg. Munich: DETAIL Business Information GmbH; 2017.
68. Torres J, Garay-Martinez R, Oregi X, Torrens-Galdiz JI, Uriarte-Arrien A, Pracucci A, et al. Plug and play modular façade construction system for renovation for residential buildings. Buildings (Basel). 2021;11(9):419.
69. Miljøvennlig isolering av verneverdig bygg: Futurebuilt; 2021 [oppdatert 10. september 2021; henta 15. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://www.futurebuilt.no/Nyheter?page=4#!/Nyheter/Miljoevennlig-isolering-av-verneverdig-bygg>.
70. Reduzer [henta 13. mai 2022]. Tilgjengeleg frå: <https://reduzer.com/home>.