

Prefabrikkerte fasadeelementer av tre til rehabilitering av bygninger - Eksempelstudie av Nordal Bruns gate

Mette Slind

Bygg- og miljøteknikk (2 årig)

Innlevert: Juni 2013

Hovedveileder: Stig Geving, BAT

Medveileder: Berit Time, SINTEF

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Prefabrikkerte fasadeelementer av tre til rehabilitering av bygninger - Eksempelstudie av Nordahl Bruns gate	Dato: 04.06.2013		
	Antall sider (inkl. bilag): 208		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Mette Slind			
Faglærer/veileder: Stig Geving			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Berit Time, SINTEF Byggforsk			

Ekstrakt:

Det er stort potensial for energieffektivisering av eksisterende bygninger i Norge. Enkle løsninger som kan forbedre varmeisolasjonen i eksisterende bygg er ettertraktet. smartTES prosjektet har som mål å fremstille prefabrikkerte elementer i tre som kan bidra til forbedring av energieffektiviteten i bygninger, og er derfor veldig aktuell.

Gjennom masteroppgaven er muligheter, fordeler og ulemper i forbindelse med bruk av prefabrikkerte fasadeelementer ved rehabilitering av boligblokker undersøkt og kartlagt. I tillegg er muligheten til å integrere tekniske installasjoner i elementene undersøkt. Et reelt rehabiliteringsprosjekt, Nordahl Bruns gate, benyttes som utgangspunkt for utforming av elementer. Videre er det utført WUFI beregninger for analyse ved bruk av OSB-plater i elementene, og analyse av fuktrisiko ved bruk av ventilasjonskanaler i elementene.

TES Energy Facade er et rehabiliteringssystem som forlenger brukstiden til en eksisterende bygning, og forbedrer de tekniske og funksjonelle egenskapene. Det estetiske inntrykket av bygningen kan oppgraderes i tillegg til at bygningen oppgraderes i forhold til energieffektivitet og tekniske løsninger. Ved å bruke TES elementer kan bygningen få ekstra etasjer, horisontale utvidelser, fortetting av bygningsvolumene og utskifting eller tillegg i fasaden. I forhold til rehabilitering med prefabrikkerte treelementer er det en del utfordringer. Som utforming av elementer i forhold til størrelse, vekt, transport, montering, lastbæring, sammenføyning, bygningsfysikk, brannsikkerhet og integrering av tekniske installasjoner. Disse er tatt hensyn til ved utforming av elementene.

Resultatene viser at prefabrikkerte fasadeelementer av tre er praktisk for rehabilitering av eldre boligblokker på grunn av rask montering, og gode muligheter for utvidelse og oppgradering av boligblokken. Alle metodene og detaljene som er presentert er mulig å bruke, selv om andre løsninger kan være bedre. I forhold til WUFI beregninger med bruk av OSB-plater i elementene, er det startfuktnivået i den eksisterende fasaden som har størst påvirkning på fuktproblematikken. Selv om simuleringene viser tilfeller med og uten fuktproblematikk i elementene, er det mulig å benytte OSB-plate som både vindspærre og dampbrems i elementet. Mens høy lufthastighet i kanalen er den eneste beregningen som skapte fuktproblemer for ventilasjonskanal i elementet.

Stikkord:

1. Prefabrikkerte fasadeelementer av tre
2. Rehabilitering
3. smartTES
4. TES Energy Facade

(sign.)

Forord

Denne rapporten er utarbeidet som en besvarelse av masteroppgaven i emnet *TBA 4905 – Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave* våren 2013.

Masteroppgaven er den avsluttende oppgaven av masterstudiet ved NTNU, med oppstart i begynnelsen av det tiende semesteret. I forkant av dette blir oppgaven definert av veileder i samarbeid med studenten. Arbeidet med masteroppgaven skal gjennomføres i løpet av 20 uker. I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i relevante problemstillinger innenfor prosjektet smartTES. Prosjektet jobber med å utvikle prefabrikkerte elementer av tre som kan benyttes til å bedre energieffektiviteten i eksisterende bygninger. Tema for oppgaven er utarbeidet i samarbeid med SINTEF Byggforsk, ut i fra aktuelle tema for prosjektet og studentens interesser. Oppgaven ble valgt på bakgrunn av at jeg syntes smartTES prosjektet virket interessant, og ville gjerne jobbe med en oppgave tilknyttet reelle problemstillinger.

Tittel på masteroppgaven er ”Prefabrikkerte fasadeelementer av tre til rehabilitering av bygninger – eksempelstudie av Nordahl Bruns gate”. Oppgaven går ut på å undersøke muligheter, og velge aktuelle løsninger for rehabilitering av Nordahl Bruns gate med bruk av prefabrikkerte fasadeelementer av tre. De valgte løsningene ble utredet med hensyn til utvalgte utfordringer og problemer.

Jeg ønsker å takke min hovedveileder, Stig Geving, som har bidratt med hjelp og veiledning i masterarbeidet. I tillegg vil jeg takke veileder hos SINTEF Byggforsk, Berit Time, og Lars Gullbrekken hos SINTEF Byggforsk for hjelp i forbindelse med masteroppgaven. Det rettes også en stor takk til Runar Bekkhus fra Norges Eiendom AS, Rune Klemetsen ved Solskjermingsgruppen, Kathinka Leikanger Friquin ved SINTEF Byggforsk, Harald Landrø ved Tresentret/NTNU, Geir Jensen ved COWI og Holger Halstedt ved SINTEF Byggforsk, da disse har bidratt med hjelp og råd til tekniske spørsmål i forbindelse med rapporten.

Selbu, 4. juni 2013

Mette Slind

Sammendrag

Potensialet innenfor energieffektivisering av bygninger i Norge er stort, og de største mulighetene finnes innenfor forbedring av energibruken i den eksisterende bygningsmassen. Rehabilitering av eksisterende bygninger til en mer bærekraftig energibruk kan gi store besparelser innenfor energi. Det er derfor viktig å utvikle løsninger som kan forbedre varmeisolasjonen i eksisterende bygninger på en effektiv måte. Bruk av prefabrikkerte fasadeelementer av tre er en mulig løsning. I den forbindelse er smartTES prosjektet aktuelt. Prosjektet har som mål å fremstille prefabrikkerte elementer i tre, som kan bidra til å forbedre energieffektiviteten i bygninger.

Oppgaven går ut på å undersøke og kartlegge muligheter, fordeler og utfordringer knyttet til bruk av prefabrikkerte fasadeelementer ved rehabilitering av boligblokker. I tillegg er muligheten for integrering av tekniske installasjoner i prefabrikkerte fasadeelementer undersøkt. Det er tatt utgangspunkt i et reelt rehabiliteringsprosjekt, Nordahl Bruns gate, som skal rehabiliteres til passivhusnivå. I oppgaven er rehabiliteringsløsninger for dette bygget valgt og utredet. I tillegg er det utført bygningsfysiske vurderinger for utvalgte problemstillinger tilknyttet selve elementet eller integrerte installasjoner, ved hjelp av WUFI beregninger. Dette gjelder analyse av bruk av OSB-plater i elementene, og analyse av fuktrisiko ved bruk av ventilasjonskanaler i elementene. Rapporten er en komplett besvarelse av masteroppgaven i emnet *TBA 4905 – Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave*, og utgjør 30 studiepoeng. Oppgaven er avgrenset til å omhandle kun de valgte utfordringene for fasadeelementene. Det finnes utrolig mange utfordringer i forbindelse med rehabilitering med prefabrikkerte elementer, men på grunn av tidsbegrensning ble bare noen utfordringer undersøkt. Statistiske beregninger for bæring av elementene og branndokumentasjon inngår ikke som en del av oppgaven, da dette er utenfor studentens hovedemne.

I denne rapporten er det benyttet litteratursøk, samtaler/diskusjoner med fagfolk og datasimuleringer i WUFI, for å få tilgang på tilstrekkelig med informasjon for å løse problemstillingen. Litteratursøket ga tilgang på en mengde nyttig informasjon som ble benyttet til å skaffe en god oversikt over temaet, og til å utforme et godt bakgrunnskapittel. Siden studenten ikke har tilstrekkelig med erfaring på emnet, og litteraturen ikke dekker alle utfordringene, var det nødvendig å kontakte fagpersoner med kompetanse og erfaringer innenfor elementbygging og tekniske installasjoner. Beregninger i WUFI ga grunnlag for å teste bruken av OSB-plater og ventilasjonskanaler i elementet. Ut i fra resultatene var det mulig å anslå konklusjoner angående fuktproblematikk i elementet, som følge av bruk av OSB-plate eller ventilasjonskanal. Alt av informasjonsgrunnlag anses som veldig nyttig og nødvendig for å kunne komme frem til et resultat i oppgaven. Det ble funnet veldig mye god informasjon, og mange kunnskapsrike personer var villige til å bidra. Dessuten ga WUFI beregningene de nødvendige resultatene for å kunne redegjøre for problemstillingen, og for å kunne komme frem til en konklusjon angående bygningsfysiske vurdering av elementene.

TES Energy Facade er et rehabiliteringssystem som forlenger brukstiden til en eksisterende bygning, og forbedrer de tekniske og funksjonelle egenskapene. Systemet baseres på en systematisert metode for montering av eksterne prefabrikkerte fasadeelementer i tre. Elementene kan også ha vinduer, dører og tekniske installasjoner integrert før montering, og henges enten i front av en eksisterende konstruksjon eller monteres som nye yttervegger i den eksisterende konstruksjonen. I tillegg til å oppgradere bygningen i forhold til energieffektivitet og tekniske løsninger, kan også det estetiske inntrykket oppgraderes. Bruk av TES elementer kan gi ekstra etasjer, horisontale utvidelser, fortetting av bygningsvolumene og utskifting eller tillegg i bygningsfasaden.

Utfordringer i forhold til rehabilitering i form av prefabrikkerte elementer i tre, ligger i utforming av elementene med tanke på størrelse, vekt, transport, montering, lastbæring, sammenføring, bygningsfysikk, brannsikkerhet og integrering av tekniske installasjoner. Disse faktorene er tatt hensyn til ved utforming av elementene. Tekniske installasjoner er en viktig del av en moderne bygning, og derfor gunstig å integrere i fasadeelementene. I denne oppgaven er det utarbeidet en løsning for integrering av solskjerming, mens fuktproblematikk i forhold til integrerte ventilasjonskanaler i elementet er undersøkt. For integrering av solskjermingen er det aktuelt å benytte et persiennesystem som reduserer kuldebroer og varmetap i elementet. På den måten er det mulig å tilfredsstille passivhuskravet.

I elementet er det vanlig å benytte dampbremsere i form av OSB-plater. Det påstås at OSB-plate som både dampbrems og vindsperre i samme konstruksjon er ugunstig. Dette gjelder i forhold til å tilfredsstille kravene til uttørking av elementet. Denne teorien var ønskelig å teste i form av WUFI beregninger, hvor fuktsituasjonen på baksiden av vindsperren og dampbremsen i elementet med forskjellige parametervariasjoner ble kartlagt.

Resultatene viser at prefabrikkerte fasadeelementer i tre er praktisk for rehabilitering av en eldre boligblokk som Nordahl Bruns gate. Rask montering og gode muligheter for utvidelse og oppgradering av boligblokken er klare fordeler. Det finnes mange måter å utføre elementene på, og i denne oppgaven presenteres ett forslag for utforming av elementer til sørfasaden i Nordahl Bruns gate. Lastbæringsmetoden som er valgt er antagelig ikke den beste for konstruksjonen, men metoden er mulig å benytte og sørger for en enkel lastsituasjon. En ingeniør med elementerfaring ville nok sett andre løsninger. Likevel er metodene og detaljene mulig å bruke.

WUFI beregninger med bruk av OSB-plate i elementene, viser at det er startfuktnivået i den eksisterende konstruksjonen som har størst påvirkning på fuktforholdet i elementet. Resultatene for denne beregningen synliggjør stor fare for fuktproblematikk i konstruksjonen. Simuleringene viser at det finnes tilfeller både med og uten fuktproblematikk i forbindelse med bruk av OSB-plate som vindsperre og dampbrems i elementet. Derfor er det viktig å kartlegge forholdene før OSB-plate benyttes som vindsperre og dampbrems i elementene. Flere beregninger vil være nødvendig for å kunne trekke noen endelig konklusjon her, men ut i fra resultatene er det fullt mulig å ha vindsperre og dampbrems av OSB-plate i enkelte tilfeller. Den eneste beregningen som kan skape problemer i forhold til integrering av ventilasjonskanal, er høy lufthastighet i kanalen, altså lav temperatur. Ellers viser beregningene ingen fare for fuktskader i forhold til integrering av ventilasjonskanaler i elementet. Fremdeles er det mange muligheter for videre arbeid innenfor dette temaet. Det er mange områder som kan utforskes videre for å underbygge funnene og konklusjonene i denne rapporten, og for å presentere en fullstendig løsning for rehabilitering av Nordahl Bruns gate.

Summary

The energy efficiency potential for buildings in Norway is large. The utmost opportunities lie in the development of energy use in existing buildings. Rehabilitation of existing buildings towards a more sustainable energy use can provide significant energy savings. Therefore, it is important to develop solutions which can improve the thermal insulation in existing buildings in an efficient manner. One possible solution is using prefabricated elements of wood. This is where the smartTES project enters. The project aims to produce prefabricated elements of wood, which can improve the energy efficiency in buildings.

The task is to examine and identify opportunities, benefits and challenges associated with the use of prefabricated façade elements in rehabilitation of apartment buildings. The possibility of integration of technical installations in prefabricated façade elements is also examined. A real rehabilitation project, Nordahl Bruns gate, which will be renovated to passive house standard, is the starting point. Solutions for the building is selected and evaluated through the master thesis. Building physical assessments for selected issues associated with the element or the integrated installations is carried out by using WUFI calculations. This applies to the analysis of the use of Oriented Strand Board in the elements, and the analysis of moisture risks of ventilation ducts in the elements. The report is a complete assignment of the master thesis in the topic *TBA 4905 – Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave*, and accounts for 30 credits. The task is defined to dealing only with the selected challenges for façade elements. There are an incredible number of challenges for rehabilitation with prefabricated elements, but because of the time constraints, only some challenges are investigated. Static calculations for load bearing elements and fire documentation are not included as a part of the task, as it is beyond the students' major subject.

Literature searches, interviews/discussions with professionals and computer simulations in WUFI, are used to gain access to sufficient information to solve the task. The literature search gave a great amount of valuable information, which was used to get a good overview of the topic, and to design a good background section. Contacting professionals with expertise and experience in element constructions and technical installations was necessary, since the student does not have enough experience on the subject, and the literature does not cover all the challenges. WUFI calculations provided the basis for testing the use of Oriented Strand Board and ventilation ducts in the element. According to the results, it was possible to estimate conclusions regarding moisture problems in the element resulting from the use of Oriented Strand Board or ventilation duct. All of the information is considered very useful and necessary to reach a result of the problem as presented. Much useful information was found, and many knowledgeable people were willing to help. The WUFI estimates also gave the required results to explain the problem, and to arrive at a conclusion.

TES Energy Façade is a rehabilitation system that extends the service life of an existing building, improving the technical and functional characteristics. The system is based on a systematic method for mounting external prefabricated façade elements in wood. The elements can also have windows, doors and technical installations integrated before mounting. They either hang in the front of the existing façade, or are mounted as new exterior walls of the existing structure. In addition to upgrading the building in terms of energy efficiency and technical solutions, the aesthetics are also upgraded. Use of TES elements can provide additional floors, horizontal extensions, infill building volumes and replacement or addition of the building façade.

Challenges regarding rehabilitation in form of prefabricated elements of wood, lies in the design of the elements, in terms of size, weight, transportation, assembly, load carrying, joining, building physics, fire protection and integration of technical systems. These factors are taken into account in the design of the elements. Technical installations are an essential part of a modern building, and therefore beneficial to integrate in the façade elements. In this thesis it is provided a solution for the integration of solar shading, and moisture problems in relation to integrated ventilation ducts in the element are examined. For integrating solar shading, it is appropriate to use a blind system that reduces thermal bridges and heat loss in the element. This makes it possible to satisfy the passive requirement.

It is common to use Oriented Strand Board as a vapour retarder in the element. It is claimed that the Oriented Strand Board as both vapour retarder and wind barrier in the same structure is unfavourable. This applies in relation to meet the requirements of drying of the element. These theories were desirable to test in form of WUFI calculations, where the moisture situation at the back of the wind barrier and of the vapour barrier in the element with different parameter variations was mapped.

Results show that prefabricated façade elements in wood are convenient for the rehabilitation of an older apartment building such as Nordahl Bruns gate. Fast mounting and good opportunities for expansion and upgrading of the apartment building are clear advantages. There are many ways to perform elements, and this study presents one proposal for the design of elements to the south façade of Nordahl Bruns gate. The chosen load carrying method is probably not the best option, but the method is possible to use and provides a simple load situation. An engineer with experience from elements would probably have seen other solutions. Nevertheless, the methods and details are possible to use.

WUFI calculations using Oriented Strand Board in the elements, shows that it is the starting moisture level in the existing structure that has the greatest influence on moisture ratio of the element. The results of this calculation confirm a great risk of moisture problems in the construction. The simulations show that there are cases with and without moisture problems in relation with the use of a Oriented Strand Board as both wind barrier and vapour retarder in the element. Therefore, it is important to identify the conditions before using a Oriented Strand Board as wind barrier and vapour retarder in the elements. Additional calculations will be necessary to draw a final conclusion here, but the results show that it is possible to have wind barrier and vapour retarder of Oriented Strand Board in some cases. The only factor that can cause problems in terms of integration of the ventilation ducts, are high air velocity in the channel, thus low temperature. Otherwise, the calculations show no risk of moisture damage in relation to the integration of ventilation ducts in the element. There are still many opportunities for further work on this subject. There are many areas that can be explored further to substantiate findings and conclusions in this report, and to present a complete solution for the rehabilitation of Nordahl Bruns gate.

Innholdsfortegnelse

Forord	iii
Sammendrag	v
Summary	vii
Innholdsfortegnelse	ix
Figurliste.....	xiii
Tabelliste	xv
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål	1
1.3 Omfang.....	2
1.4 Begrensninger.....	2
1.5 Rapportens oppbygning.....	3
1.6 Forklaring av betegnelser	3
2 Metode.....	5
2.1 Datakilder	5
2.1.1 Generelt	5
2.1.2 Litteraturstudium	5
2.1.3 WUFI.....	6
2.1.4 Samtaler/diskusjoner med fagfolk.....	8
2.2 Analyse.....	8
2.3 Feilkilder	9
2.4 Hva kunne vært gjort annerledes?	9
3 Rehabilitering med fasadeelementer	11
3.1 Prefabrikkerte elementer	11
3.1.1 Oppbygging av elementer	11
3.1.2 Åpne og lukkede fasadeelementer.....	12
3.1.3 Fordeler og ulemper med prefabrikkerte elementer	12
3.2 smartTES	12
3.3 TES Energy Facade	13
3.3.1 Oppbygning av TES elementet	13
3.3.2 Bæresystem i eksisterende bygning	16
3.3.3 TES metoden	17
3.3.4 Ny arkitektonisk fremstilling	17
3.3.5 Utforming av elementer	18
3.3.6 Parametre og begrensninger for elementer.....	19
3.3.7 Lastbæring	20
3.3.8 Forankring	20
3.3.9 Sammenføyning av elementer	22
3.3.10 Bygningsfysikk.....	23
3.3.11 Brannsikkerhet	24
3.4 OSB-plate	25
4 Integrering av tekniske installasjoner.....	27
4.1 Generelt	27
4.2 Solskjerming.....	28
4.2.1 Varmeabsorberende glass.....	28
4.2.2 Smarte vinduer	29
4.2.3 Regulerbare solskjermingsprodukter.....	29
4.2.4 Screen	29

4.2.5	Persienner	30
4.2.6	Persienne vindussystemer	31
4.3	Ventilasjonsanlegg	31
5	Nordahl Bruns gate.....	33
6	Fasadeelement for Nordahl Bruns gate	35
6.1	Utforming av elementer	35
6.2	Lastbæring.....	37
6.3	Forankring av elementer.....	37
6.4	Sammenføyning av elementer.....	39
6.5	Bygningsfysikk.....	40
6.6	Brannsikkerhet	40
6.7	Solskjerming.....	46
7	Utforming av fasadelement	49
7.1	Inndeling av fasaden.....	49
7.2	Innfesting av element i bunn	50
7.3	Overgang bunnkarm/vegg	53
7.4	Overgang toppkarm/vegg og detalj solskjerming	54
7.5	Innfesting i etasjeskiller	56
7.6	Overgang mellom fasadelement direkte på fasaden og frittstående element, vertikalt.....	57
7.7	Overgang mellom fasadelementer, horisontalsnitt	60
7.8	Overgang hjørnet.....	61
7.9	Kledning	63
8	WUFI beregninger.....	65
8.1	Bruk av OSB-plater i elementene.....	65
8.1.1	Standardkonstruksjon	65
8.1.2	Startbetingelser.....	66
8.1.3	Materialparametre	68
8.1.4	Parametervariasjoner	68
8.1.5	Betingelser for beregning	70
8.2	Fuktrisiko ved bruk av ventilasjonskanaler i elementene.	70
8.2.1	Standardkonstruksjon	70
8.2.2	Startbetingelser.....	71
8.2.3	Parametervariasjoner	72
9	Resultater av WUFI beregninger.....	75
9.1	Resultater for bruk av OSB-plater i elementene	75
9.1.1	Sammenligning av standardkonstruksjonene	75
9.1.2	Høyt startfuktnivå.....	76
9.1.3	Variasjon i fuktklasse	78
9.1.4	Orientering av fasaden	78
9.1.5	Uteklima	79
9.2	Resultater for fuktrisiko ved bruk av ventilasjonskanaler i elementene	80
9.2.1	Standardkonstruksjon med og uten ventilasjonskanal	81
9.2.2	Variasjon i vindsperrerematerial	82
9.2.3	Temperatur i ventilasjonskanal	83
9.2.4	Startfuktnivå på eksisterende vegg.....	85
9.2.5	Støttestendere	86
9.2.6	Overdekning	88
10	Diskusjon.....	91
11	Konklusjon	107

12	Videre arbeid	109
	Referanseliste	111
	Personlig kommunikasjon	117
	Vedlegg	119
	Vedlegg 1 – Oppgavetekst	
	Vedlegg 2 – Beregning av U-verdier	
	Vedlegg 3 – Produktdatablad med monteringsanvisning for FB Hulromsventil	
	Vedlegg 4 – Monteringsanvisning for integrert solskjerming	
	Vedlegg 5 – Detaljtegninger	
	Vedlegg 6 – WUFI beregninger for simulering av startfuktnivå på teglsteinsfasade	
	Vedlegg 7 – Resultater fra WUFI beregninger med OSB-plate	
	Vedlegg 8 – Resultater fra WUFI beregninger med ventilasjonskanal	

Figurliste

Figur 1. Eksempel på oppriss av bindingsverk i fasadeelementer (SINTEF Byggforsk, 2010).	11
Figur 2. Vanlig element sammensatt av bindingsverk i tre fylt med isolasjon og kledning. Vindu er integrert på figuren til høyre (Ott & Winter, 2010a).....	14
Figur 3. TES element (Lattke et al. 2009).....	15
Figur 4. Utjevningssjikt av isolasjon (Lattke et al. 2009).	16
Figur 5. Bæresystem i eksisterende bygninger: 1: bærende fasade, 2: skjelettstruktur (søyler og dekker), 3: bokhullestruktur (søyler og skillevegger) (Lattke et al. 2009).	16
Figur 6. TES Energy Facade metode (Lattke et al. 2009).....	17
Figur 7. Muligheter for arkitektonisk oppgradering av eksisterende bygninger (Lattke et al. 2009).....	18
Figur 8. Retning på TES element (Lattke et al. 2009).	19
Figur 9. Metoder for lastbæring: A) Hengende, B) Etasjevis, C) Stående, D) Stående etasjevis (Lattke et al. 2009).	20
Figur 10. Prinsipp for innfesting av TES elementer: i bunnen tar innfestingen opp horisontal last og all vertikal last. I toppen tar innfestingen opp horisontal last (Time, 2013).....	21
Figur 11. Utvendig innfesting av fasadeelement (Time, 2013).....	22
Figur 12. Metoder for sammenføring av elementer (Lattke et al. 2009).	23
Figur 13. Inndeling med brannstopper, 1) rundt vinduene, 2) horisontalt etasjevis, 3) vertikalt mellom funksjonelle enheter, 4) alle konstruksjonene sammen for vertikal TES Energy Facade montering (Lattke et al. 2009).....	25
Figur 14. Uttøringsmuligheter både innover og utover i konstruksjonen (Geving et al. 2010).	25
Figur 15. Integrert i element (Lattke et al. 2009).....	27
Figur 16. Montert på fasade (Lattke et al. 2009).....	28
Figur 17. Egenskaper screen duk (Norsol AS, udatert).....	30
Figur 18. Aktiverte persienner (Kjells markiser, udatert).	30
Figur 19. Persiennesystemer integrert i fasaden (Warema Renkhoff SE, udatert).	31
Figur 20. Illustrasjon av Nordahl Bruns gate etter rehabilitering (Nordahl Bruns, 2012).	33
Figur 21. Versjon av utforming av sørfasaden på Nordahl Bruns (Nordahl Bruns, 2012).	35
Figur 22. Snitt av element som monteres på eksisterende fasade.	36
Figur 23. Snitt av frittstående element.	37
Figur 24. Innfesting av TES elementet til eksisterende fasade i etasjeskiller (Lattke et al. 2009).....	38
Figur 25. Innfesting av TES element i bunnen av bygget (Lattke et al. 2009).	38
Figur 26. Sammenføring av elementer.	39
Figur 27. Angivelse av bygningsdelers aktuelle ytelser knyttet til brannmotstand (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011).....	41
Figur 28. Eksempler på brannstopper i utvendige hulrom. Øverst: Brannfordrøyende brannstopper av metall eller tre. Nederst: Massivtre, brannsvellende lister, perforert plate, smale spalter, metallnett med brannsvellende materiale (Östman, 2012).....	44
Figur 29. FB Hulromsventil (Securo AS, 2013).	45
Figur 30. Monteringsmetode i utlektet horisontal kledning (Securo AS, 2013).....	45
Figur 31. Oversikt over persienne vindussystemet (Warema Renkhoff SE, 2012).	47
Figur 32. Oversikt over plassering av detaljer.	49
Figur 33. Inndeling av sørfasaden til Nordahl Bruns gate.	50
Figur 34. Betonggrunnmur med tykkelse 200 mm, innvendig isolert med treullsementplate (Mørk, 2012).	51

Figur 35. Innfesting av element i bunn.	52
Figur 36. Vindu plassert et stykke inne i isolasjonslaget i veggen, og med ekstra fuktsikring under karm og vannbrettbeslag (SINTEF Byggforsk, 2012).	53
Figur 37. Overgang bunnkarm/vegg.	54
Figur 38. Overgang toppkarm/vegg og integrert solskjerming.	55
Figur 39. Detaljert tegning av solskjermingssystemet (Warema Renkhof SE, 2013).	56
Figur 40. Innfesting i etasjeskiller.	57
Figur 41. Eksempel på horisontalskjøt foran dekkeforkant av betong (Noreng & Geving, 2008).	58
Figur 42. Overgang mellom elementer, vertikalt.	58
Figur 43. Detalj for klemming av vindsperre i vertikalsnitt.	59
Figur 44. Eksempel på vertikalskjøt med stålsøyle (Noreng & Geving, 2008).	60
Figur 45. Detalj for klemming av vindsperre i horisontalsnitt.	60
Figur 46. Overgang mellom fasadeelementer, horisontalsnitt.	61
Figur 47. Overgang hjørnet.	62
Figur 48. Forslag til løsning for ettermontering av kledning på elementene.	63
Figur 49. Standardkonstruksjon for simulering med OSB-plate.	66
Figur 50. Standardkonstruksjon for simulering med ventilasjonskanaler.	71
Figur 51. Støttestendere i elementet med ventilasjonskanal.	73
Figur 52. Element med 50 mm isolasjonsoverdekning foran kanalen.	73
Figur 53. Totalt vanninnhold i standardkonstruksjonene.	75
Figur 54. RF og temperatur bak vindsperrsjiktet i standardkonstruksjonene.	76
Figur 55. RF og temperatur på baksiden av vindsperrsjiktet med høyt startfuktnivå.	77
Figur 56. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med høyt startfuktnivå.	77
Figur 57. RF og temperatur bak vindsperreren i konstruksjoner med fuktklasse 3.	78
Figur 58. RF og temperatur på baksiden av vindsperreren i konstruksjonen med sørvendt orientering.	79
Figur 59. RF og temperatur på baksiden av vindsperreren med variasjon i uteklima og bruk av GU-plate.	80
Figur 60. RF og temperatur på baksiden av vindsperreren med variasjon i uteklima og bruk av OSB-plate.	80
Figur 61. RF og temperatur på GU-plata med og uten ventilasjonskanal i elementet.	81
Figur 62. Punkter for simulering av RF og temperatur rundt ventilasjonskanalen.	82
Figur 63. RF og temperatur på vindsperreren med bruk av GU-plate og OSB-plate.	83
Figur 64. RF og temperatur i punkt D med bruk av GU-plate og OSB-plate.	83
Figur 65. RF og temperatur på GU-plate med høy lufthastighet i ventilasjonskanalen.	84
Figur 66. RF og temperatur i punkt B og D ved ventilasjonskanal med høy lufthastighet i ventilasjonskanalen.	85
Figur 67. RF og temperatur på GU-plate med høyt startfuktnivå i eksisterende konstruksjon.	85
Figur 68. RF og temperatur i punkt D ved ventilasjonskanalen med høyt startfuktnivå i eksisterende konstruksjon.	86
Figur 69. RF og temperatur på GU-platen med bruk av støttestendere i konstruksjonen.	87
Figur 70. RF og temperatur i punkt D ved ventilasjonskanal med støttestender i konstruksjonen.	87
Figur 71. RF og temperatur ved støttestender.	88
Figur 72. RF og temperatur på GU-platen med 50 mm overdekning.	88
Figur 73. RF og temperatur i punkt D ved ventilasjonskanal med 50 mm overdekning.	89

Tabelliste

Tabell 1. Bærende bygningsdelers brannmotstand avhengig av brannklasse (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011).....	42
Tabell 2. Ytelser til overflater og kledninger for risikoklasse 1-5 (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011).	43
Tabell 3. Startbetingelser i WUFI beregningen.	67
Tabell 4. Resultater på startfuktnivå for teglfasaden.....	67
Tabell 5. Egenskaper for Nordbord Sterling OSB 3 (Stig Geving, e-post, 16. april 2013).	68
Tabell 6. Parametervariasjon for WUFI beregninger.....	69
Tabell 7. Startbetingelser for beregning av fuktrisiko i forbindelse med ventilasjonskanaler i element.	71
Tabell 8. Parametervariasjoner for beregning med ventilasjonskanaler i fasadeelementene...	74

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Drift av bygninger i Norge bruker 80 TWh årlig. Dette utgjør 40 % av netto innenlands sluttforbruk av energi. Det er anslått at en energieffektivisering av bygninger kan bidra til store og raske klimareduksjoner. Her er potensialet i Norge stort, men det vil kreve en betydelig større innsats innen energieffektivisering av bygg. På den måten vil byggesektoren utgjøre landets viktigste energisektor (SINTEF Byggforsk, 2011).

Det største potensialet for å forbedre energibruken i bygningsmassen ligger i de eksisterende bygningene. Omtrent 80 % av dagens bygningsmasse vil fortsatt stå i 2050 (Kommunal- og regionaldepartementet, 2009). Derfor må tiltakene iverksettes her. Rehabilitering av eksisterende boligmasse til en mer bærekraftig energibruk kan gi store energibesparelser (Bjaanes, 2010). Derfor må det utvikles løsninger som på en effektiv måte kan forbedre varmeisolasjonen i vegger og tak i eksisterende bygninger (Time, 2013). En mulig løsning er rehabilitering ved bruk av prefabrikkerte fasadeelementer av tre.

smartTES prosjektet (Innovation in timber construction of the modernisation of the building envelope) er en videreutvikling av TES Energy Facade prosjektet. Prosjektet har som mål å fremstille prefabrikkerte elementer i tre (TES-elementer), som kan benyttes til å bedre energieffektiviteten i bygninger (Time, 2013). smartTES er et samarbeid mellom det tekniske universitetet i München (TUM), Aalto Universitetet i Helsinki, SINTEF, NTNU og enkelte industribedrifter i de involverte landene.

1.2 Formål

Formålet med oppgaven er å undersøke og kartlegge muligheter, fordeler og utfordringer knyttet til bruk av prefabrikkerte fasadeelementer ved rehabilitering av boligblokker, inkludert integrering av tekniske installasjoner i prefabrikkerte fasadeelementer. Spesiell vekt legges på integrering av solskjerming, men også andre integrerte løsninger kan være aktuelt å undersøke.

Oppgaven tar utgangspunkt i et reelt rehabiliteringsprosjekt for en boligblokk (Nordahl Bruns gate) hvor man planlegger å rehabilitere til passivhusnivå/nullutslippsnivå. Oppgaven vil derfor gå ut på å velge noen løsninger som er aktuelle for dette bygget, og utrede disse med hensyn på noen utvalgte tekniske utfordringer/problemer.

Følgende deloppgaver inngår i masteroppgaven:

- A. *Litteraturundersøkelse.* Det gjennomføres en kortfattet kartlegging og beskrivelse av de systemene (elementtyper, integrerte installasjoner, materialtyper etc) som vil bli vurdert videre i denne eksempelstudien.
- B. *Elementsystem.* Det gjennomføres en analyse av muligheter, utfordringer og teknisk gjennomføring av bruk av én type elementsystem i Nordahl Bruns gate.

- C. *Integrering av solskjerming.* Det gjennomføres en analyse av muligheter, utfordringer og teknisk gjennomføring av integrering av solskjerming i systemet som vurderes benyttet i Nordahl Bruns gate.
- D. *Bygningsfysiske vurderinger med WUFI.* Det gjennomføres vurderinger av noen utvalgte problemstillinger knyttet til selve elementene eller de integrerte installasjonene:
- a. Analyse av bruk av OSB-plater i elementene
 - b. Analyse av fuktrisiko ved bruk av ventilasjonskanaler i elementene.

Detaljer og omfang i forbindelse med de enkelte deloppgavene er nærmere avklart med veilederne. I denne oppgaven er illustrasjon/tegninger av mulige konsepter og løsninger en viktig del.

Fullstendig oppgavetekst finnes i vedlegg 1.

1.3 Omfang

Rapporten er en komplett besvarelse av masteroppgaven i emnet *TBA 4905 – Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave*. Besvarelsen vil utgjøre det fullstendige karaktergrunnlaget i emnet. Masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng, og utføres i tidsrommet mellom 14. januar og 10. juni.

1.4 Begrensninger

Oppgaven er avgrenset til å omhandle kun de valgte utfordringer og problemer for elementene. Det er veldig mange utfordringer knyttet til rehabilitering med prefabrikkerte elementer, men det er ikke tid til å vurdere alle. I tillegg er det ansett som mest hensiktsmessig at oppgaven går i dybden på noen aktuelle utfordringer, for å kunne utrede disse grundigst mulig.

I forbindelse med Nordahl Bruns gate prosjektet kunne det vært aktuelt å lage en fullstendig løsning med prefabrikkerte elementer for hele bygget. Dette ville gitt en komplett beskrivelse for utføringen av dette bygget. Likevel er det ikke tid til å gå så dypt til verks. Det er derfor fokusert på en fasade, og tilhørende elementer for denne.

Siden caset Nordahl Bruns gate omhandler utforming av elementer for en gavlfasade uten svalganger og utspring, vil dette gjelde to hovedtyper fasadeelementer. Dette er elementer som monteres direkte på fasaden, og frittstående elementer som sørger for utvidelse av bygningskroppen og to ekstra etasjer på toppen av den eksisterende bygningen. I rapporten er begge elementtypene behandlet, men på grunn av begrensning på tid og ressurser, er fokuset på de elementene som monteres direkte på fasaden. Av den grunn kan det være faktorer som ikke er fullstendig behandlet når det gjelder de frittstående elementene.

Statiske beregninger for bæring av elementene inngår ikke i oppgaven, da dette ikke faller innenfor studentens hovedfelt. Dessuten ville det ikke vært tid til å gjøre slike beregninger i denne oppgaven. Det presiseres likevel at statiske beregninger er nødvendig for

dokumentasjon av bæring og innfesting av elementene, og at dette må gjøres dersom elementene skal brukes i rehabiliteringen.

Branndokumentasjon inngår heller ikke som en del av oppgaven, da dette er for krevende og tidsomfattende. I forbindelse med brannkrav til elementene er det forsøkt å tilfredsstille kravene. Likevel hadde utforming av elementene vært mer sikker dersom det hadde foreligget branndokumentasjon for løsningene. Dessuten er det kun tatt hensyn til den aktuelle fasaden, mens andre fasader vil kunne ha andre krav på grunn av balkonger, svalganger, rømningsveier osv. I forhold til de frittstående elementene er ikke disse behandlet like grundig i forhold til brannkrav, da det ikke finnes preaksepterte løsninger for brannklasse 3. En løsning som antas å tilfredsstille kravene er derfor anslått, men dette må dokumenteres før det kan benyttes.

1.5 Rapportens oppbygning

Hoveddelen av rapporten er bygd opp etter en generell standard, og delt inn i kapitler:

- Kapittel 1: Innledning
- Kapittel 2: Metode
- Kapittel 3: Rehabilitering med fasadeelementer
- Kapittel 4: Integrering av tekniske installasjoner
- Kapittel 5: Nordahl Bruns gate
- Kapittel 6: Fasadeelement for Nordahl Bruns gate
- Kapittel 7: Utforming av fasadeelementet
- Kapittel 8: WUFI beregninger
- Kapittel 9: Resultater av WUFI beregninger
- Kapittel 10: Diskusjon
- Kapittel 11: Konklusjon
- Kapittel 12: Videre arbeid

1.6 Forklaring av betegnelser

- **RF** – relativ fuktighet, angir fuktinnholdet og uttrykker vanninnholdet i prosent av det maksimale i forhold til den aktuelle temperaturen. Ved metning er RF lik 100 % (Edvardsen & Ramstad, 2007).
- **S_a-verdi** – angir hvor tykt et stillestående luftlag må være for å gi samme motstand i vandampdiffusjon som materialsjiktet (SINTEF Byggforsk, 2008b).

2 Metode

Dette kapitlet inneholder en beskrivelse av de metodene som er benyttet i oppgaven.

2.1 Datakilder

2.1.1 Generelt

I en masteroppgave er det vanlig å benytte seg av både kvantitative og kvalitative metoder. Kvantitative metoder er forskningsmetoder som baserer seg på tall, og det som er mulig å måle. Som regel vil kvantitative metoder være få opplysninger om mange objekter. I tillegg vil kvantitative studier ha god mulighet for etterprøvnbarhet, og presisjon er veldig viktig. Kvalitative metoder tar derimot utgangspunkt i muntlig eller tekstlig informasjon. Her fokuseres det på få studieobjekter, og det er ønskelig å samle inn mange og varierende opplysninger (Olsson, 2011).

I denne masteroppgaven ble begge metodene benyttet. Gjennom litteraturstudiet og samtaler/diskusjoner ble den kvalitative metoden benyttet, ved å samle og analysere tekstlig og muntlig informasjon. I litteraturstudiet ble det lagt fokus på å benytte seg av forskjellige kilder med forskjellige innfallsvinkler. Mens det ble foretatt samtaler og diskusjoner med personer med faglig kompetanse innenfor elementer og tekniske systemer. Den kvantitative metoden ble benyttet ved å studere tall og verdier fra beregningene som ble utført i simuleringprogram.

Videre er det viktig å ta hensyn til reliabilitet og validitet i en slik rapport. Reliabilitet er tilknyttet etterprøvnbarhet. Det vil si at god reliabilitet oppnås ved å gjenta den samme målingen flere ganger med samme resultat. På den måten kan reliabiliteten testes med etterprøving. Det er viktig at måleparametrene og målemetodene er entydige dersom man skal oppnå god reliabilitet. Reliabilitet er et mål på om man måler på riktig måte. Mens validitet viser i hvilken grad de innsamlede data samsvarer med det tilfellet som måles, og er relatert til gyldigheten i studien. Slik sier validiteten noe om hvor godt datamaterialet er egnet til å belyse de problemstillinger som studien skal avdekke. Dersom man har data som er relevant for problemstillingen har man høy validitet. Validiteten er derfor et mål på om man måler de riktige tingene (Olsson, 2011).

2.1.2 Litteraturstudium

Litteratursøk ble benyttet for å forklare definisjoner og betydninger av ord og uttrykk som blir brukt i oppgaven, og for å informere leseren om hva som inngår i de forskjellige elementløsningene. I tillegg utgjør den et solid bakgrunnskapittel med oversikt over nødvendig informasjon i forbindelse med masteroppgaven. Den utvalgte litteraturen består av rapporter, artikler, hefter og internettsøk. Det ble funnet mye god litteratur omkring emnet, hvor det meste er sammenfallende innenfor hvert tema. Dette gjør at litteraturen har høy reliabilitet. Mange av rapportene er utgitt av anerkjente organisasjoner. Derfor er litteraturen vurdert som troverdig og pålitelig. De fleste kildene er utgitt mellom 2008 til 2013. Kildene anses derfor som oppdatert, og data ble benyttet direkte i masteroppgaven. Litteraturen som ble benyttet i masteroppgaven ble evaluert kort etter kriterier om troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet. Dette ble gjort for å sikre at kildene egner seg til bruk i forbindelse

med masteroppgaven. I tillegg ble det benyttet primærkilder i den grad det var mulig å finne frem til disse, for å sikre mest mulig nøyaktighet på den anvendte litteraturen.

Før arbeidet med masteroppgaven startet, sendte veilederne aktuell litteratur på temaet. Dette var først og fremst rapporter fra andre studentoppgaver på emnet, og rapporter skrevet i forbindelse med smartTES prosjektet. Andre kilder som kunne være relevante fra disse rapportene ble notert, og deretter ble det søkt etter dem gjennom BIBSYS. Videre ble det søkt åpent både i BIBSYS og andre databaser som Compendex, Iconda, Scopus, Google Scholar og Google, siden disse er de mest relevante databasene for bygg og anlegg. Det ble også søkt etter tidligere prosjekt- og masteroppgaver som kunne ha relevant informasjon i databasen DIVA. I tillegg ble det også søkt både i Byggforsk og Treteknisk sin database med de mest relevante søkeordene. Norske og engelske søkeord som ble benyttet i søk etter litteratur: smartTES, TES, fasadeelement, bygg og element, prefabrikkering, prefabrikkering og element, fasade rehabilitering, solskjerming, solskjerming og element, solavskjerming, solavskjerming og element, TES energy facade, facade element, facade element and timber, facade element and wood, smartTES and building, TES and building, building and element, prefabricated element and timber, prefabricated element and wood, façade element and rehabilitation, façade element and retrofitting, sun shading, sun shading and element, solar shading, solar shading and element. Ellers ble det foretatt enkle søk i forskjellige databaser etter spesifikk litteratur og kilder funnet i andre rapporter ved behov.

Høy validitet er sikret i litteraturstudiet, etter som litteraturen som ble benyttet er den mest relevante i forhold til problemstillingen. Dette på grunn av at litteratursøket ble spesifisert og begrenset til den aktuelle problemstillingen slik at den mest relevante litteraturen ble funnet.

Det er benyttet flere kilder med informasjon tilknyttet det reelle prosjektet, Nordahl Bruns gate. Disse kildene er gitt av kontaktperson for prosjektet, og er likevel referert til selv om kildene ikke er publisert og tilgjengelig for alle.

2.1.3 WUFI

WUFI er et dataprogram for beregning av koblet varme- og fukttransport i bygningskomponenter. Med denne programvaren er det mulig med realistiske beregninger av instasjonære hygrotermiske forhold i bygningsdeler av flere sjikt, hvor klimabegrensningene varierer (Gustavsen, 2010).

WUFI ble benyttet til å analysere bruk av OSB-plater i elementene, og til å analysere fuktrisiko ved bruk av ventilasjonskanaler i elementene. For analysen av OSB-plater ble det valgt ut en del parametre på forhånd, slik som uteklime, inneklime, type vindspærre, orientering av fasaden og startfuktnivå i eksisterende konstruksjon. Disse parametrene vil ha påvirkning på fuktrisikoen i elementet på baksiden av vindspærren og på baksiden av dampbremsen (OSB-platen). Ved å justere disse parametrene vil beregningene kunne vise egenskapene til OSB-platen som både vindspærre og dampbrems, sammenlignet med bruken av GU-plate som vindspærre. Dessuten vil parameterstudien avdekke tilfeller hvor bruken er ugunstig.

Beregningene for analyse av OSB-platen er utført i WUFI 1D Pro 5.2, og er basert på data fra materialbasen i programmet samt laboratorieforsøk hos SINTEF Byggforsk. Det ble også gjort enkle beregninger for å finne realistiske verdier for startfuktnivået i den eksisterende konstruksjonen. Disse simuleringene ble gjort for to typer teglstein, gammel og normal, for å

finne ut om vanninnholdet og RF for den valgte steintypen var realistisk å benytte. Som materialer til elementet og den eksisterende konstruksjonen, ble det benyttet materialer med passende egenskaper fra WUFI databasen. I WUFI programmet ble det laget en variant for hver parametervariasjon. På den måten ble det lettere å gå tilbake for å sjekke beregningene. I tillegg kan det lett bli feil dersom man skal stille tilbake parametrene til standardkonstruksjonen etter hver beregning, for deretter å stille inn nye parametervariasjoner. Feil i beregningene kan lett oppstå dersom man ikke har full kontroll til enhver tid. Resultatene fra beregningene ble eksportert inn i Excel, og deretter plottet inn i nye grafer alt etter hva som var interessant å sammenligne. Slik ble det enklere å sammenligne resultatene av parametervariasjonene, og dermed også lettere å kommentere forskjellene.

For beregninger av integrerte ventilasjonskanaler i fasadeelementer var det interessant å avdekke en eventuell fuktrisiko, ved å sammenligne beregninger med og uten ventilasjonskanal i elementet. Samt at det var aktuelt å gjøre forskjellige parametervariasjoner for å kontrollere hva som har størst effekt på fuktproblematikken i fasadeelementet. Her ble WUFI 2D 3.3 benyttet i beregningene. Forskjellen på 1D beregninger og 2D beregninger er at WUFI 2D også gir muligheter for todimensjonale beregninger. Beregningsmodellen er den samme for begge programmene, men med WUFI 2D har man også mulighet til å simulere fukt og varmetransport i bygningskomponenter med en mer komplisert uforming enn i WUFI 1D. Dette åpner opp for å inkludere effekter som kuldebroer, stigende damp eller fuktinntregning i vegg/tak-overganger via flanketransmisjon (Gustavsen, 2010).

Parametervariasjonene i 2D beregningen ble gjort gjennom variasjon i overdekning av isolasjon foran ventilasjonskanalen, bruken av GU-plate og OSB-plate som vindsperre, bruken av støttestendere på siden av ventilasjonskanalen, startfuktnivå på betongveggen og variasjon i luftskiftet i ventilasjonskanalen. Disse parametervariasjonene er valgt på grunn av at de kan gi de verst tenkelige fuktsituasjonene, noe som er viktig å dokumentere. Beregningen ble også her basert på materialdatabasen i WUFI programmet, samt bruk av data fremstilt fra laboratorieforsøk hos SINTEF Byggforsk. Det er også gjort antagelser som anses som fornuftige for å forenkle beregningene. Det ble laget egne filer for de største forandringene i konstruksjonene, slik at det var mulig å gå tilbake og kontrollere inputverdier og data etter at simuleringene var gjort. Dette vil også minske risikoen for feilkilder som oppstår når parametre blir endret før og etter beregninger. Resultatene ble så eksportert inn i Excel, og plottet sammen i nye grafer ut i fra hva som var interessant å sammenligne. På grunn av at beregningene tok veldig lang tid å simulere, ble kun halve konstruksjonen simulert. Det vil si at det ble trukket en adiabatisk linje rett gjennom ventilasjonskanalen. I tillegg ble det valgt å justere litt på griden til konstruksjonen. En grov skissert grid kan gjøre beregningene unøyaktige, derfor ble justeringene veldig små.

Reliabiliteten til beregningene er sikret gjennom mange beregninger og parametervariasjoner. Dette kommer av at store avvik i resultatene vil gi et varsel om feil inndata, og dermed er det mulig å oppdage feilkilder og korrigere. På den måten foretar man de samme målingene gang på gang, men med små variasjoner i parametre. Dessuten er inndata og resultater gjengitt i oppgaven, slik at det er mulig å foreta de samme beregningene for å teste resultatene. Dette sikrer også reliabiliteten i resultatene, etter som resultatene er mulig å etterprøve. I tillegg er validiteten av oppgaven sikret ved at beregningene kan bekrefte/avkrefte utsagn i teorien. Videre testes elementene i forhold til fuktproblematikk og bruk av forskjellige parametre. Dette gir et bedre innblikk i fuktsituasjonen og hva som påvirker elementet enn det som finnes i litteraturen. Ut i fra dette er det lettere å dra sammenligningen og konklusjoner.

2.1.4 Samtaler/diskusjoner med fagfolk

Studenten har ikke tilstrekkelig med praktiske kunnskaper tilknyttet oppbygning av elementer og tekniske detaljer. Det finnes heller ikke tilstrekkelig med aktuell litteratur for dette. Derfor var det nødvendig å kontakte personer med praktisk erfaring fra prefabrikkerte elementer av tre. Dette for å finne løsninger som var byggbare. Videre var det også nødvendig å kontakte andre personer med fagkompetanse innenfor forskjellige tema som oppgaven berørte. Det på grunn av at det ikke finnes tilstrekkelig med informasjon tilgjengelig, og kvaliteten på oppgaven ble sikret ved å henvende seg til personer med stor kunnskap på disse feltene. I samråd med veiledere ble det vurdert hvem som skulle kontaktes, og deretter ble kontakt opprettet enten direkte fra studenten eller via veiledere. Kontakten ble foretatt gjennom telefon og mailkorrespondanse, og gjennom samtaler og diskusjoner. I forkant av viktige samtaler ble det, i samråd med veilederne, gjennomgått hvilke tema som var aktuell å ta opp til diskusjon. På den måten var studenten bedre forberedt på hva som var ønskelig å løse. I starten av hver samtale ble masteroppgaven presentert, samt hvilken utfordring studenten ønsket å løse. Dette sikret at fagpersonen hadde forståelse av hva oppgaven handlet om, og hvilket bidrag som var ønskelig fra deres side. Formålet med samtalen/mailkorrespondansen og hovedtrekkene i masteroppgaven ble også presentert ved opprettelse av kontakt. Slik var det mulig for den eksterne fagpersonen å forberede seg.

Gjennom slike samtaler var det mulig å teste teorier som var funnet i litteraturen, for å undersøke hva som var praktisk mulig å utføre. Samtalene/diskusjonene skapte også større innsikt og forståelse for studenten ved å få forklart detaljene og utfordringene grundig. Dessuten ga det mulighet til å komme frem til løsninger basert på detaljer som studenten allerede hadde satt seg inn i. I tillegg fikk studenten større innsikt i forhold til faktorer som berører detaljene, og som ikke er beskrevet i teorien.

Samtalene med fagpersoner sikrer validiteten til resultatene i oppgaven gjennom å teste utsagnene i teorien opp mot fagfolkenes erfaringer. Slik ble det sikret at resultatene faktisk er mulig å benytte, og gjennom diskusjoner kom man frem til best mulig løsninger og forståelse for problematikken. Ved hjelp av slike samtaler var det mulig å skreddersy løsninger for akkurat denne typen bygg, slik at løsningen ble best mulig. Dette ga en god og direkte løsning av problemstillingene i oppgaven, og dermed også god validitet. Reliabiliteten til detaljløsningene ble vanskelig å sikre, da det ikke var tid til å foreta flere diskusjoner med personer med ulik fagbakgrunn. Dersom flere personer med forskjellig erfaring hadde blitt involvert i samtalene, kunne det gitt optimale resultater.

2.2 Analyse

Resultater fra WUFI beregningene ble presentert i form av grafer og data i simuleringprogrammet. Disse ble deretter eksportert inn i Excel for så å bli sammenlignet og analysert. Ved å hente ut data fra WUFI og inn i Excel, var det mulig å kombinere to eller flere av resultatene fra beregningene inn i samme grafikk. På den måten fikk man ett bedre grunnlag for å sammenligne dem, og analysere for å avdekke fuktproblematikk i konstruksjonen.

Hovedfunnene fra simuleringen ble derfor dratt ut, og plottet inn i nye grafer som dannet grunnlaget for sammenligningen som bekreftet eventuell fuktproblematikk i konstruksjonen.

Slik ble sammenligningen og resultatene fra beregningene foretatt ved hjelp av ett nytt dataverktøy, og deretter ble riktigheten av analysen sikret. I tillegg ble det hentet ut grafer direkte fra WUFI programmet som ble benyttet som vedlegg, for å danne grunnlag for en del av resultatene som ble diskutert i rapporten. På den måten er det mulig å gå tilbake og sjekke at grafene stemmer overens med de beskrivelsene som gjøres av studenten.

2.3 Feilkilder

En mulig feilkilde i denne rapporten er for liten praktisk forståelse og kunnskap hos studenten. Dette på grunn av at studenten ikke har egne erfaringer angående bruk av elementer som kan benyttes i oppgaven. I tillegg har ikke studenten tilstrekkelig med innsikt og forståelse til å kunne oppdage feil og mangler i litteraturen. Studenten har heller ikke noe betydelig med kunnskap om dette emnet før arbeidet med masteroppgaven, og kan derfor ikke benytte seg av egne fagkunnskaper for å oppdage bedre løsninger på detaljene.

En annen feilkilde kan komme fra antagelser som er gjort i forhold til utfordringer som ikke var avklart på forhånd. For eksempel i forhold til tegninger av Nordahl Bruns gate. Dette kan skape store forskjeller fra den virkelige situasjonen i caset. Likevel var disse antagelsene nødvendig for å komme videre i arbeidet med rapporten, selv om de kan svekke kvaliteten og riktigheten for resultatene i rapporten.

Beregningene som ble utført i WUFI kan ha feilkilder, siden studenten ikke har så mye erfaring tilknyttet bruken av dette dataprogrammet. På den måten kan det lett oppstå små feil som studenten ikke har mulighet til å oppdage. Dessuten er det en feilkilde at luftesjiktet bak den utvendige kledningen i forbindelse med beregning av OSB-platen, ble beregnet som et vanlig luftsjikt med "additional moisture capacity". Altså er det regnet med ekstra fuktkapasitet. Dette skulle vært uten ekstra fuktkapasitet. Dette ble oppdaget etter at alle beregningene var simulert, samt at data var hentet ut og plottet inn i grafer. En ny beregning med luftsjikt uten ekstra fuktkapasitet ble gjort. Denne viste at avvikene i resultatene ble minimale. Derfor ble det besluttet å benytte de dataene som allerede var beregnet, da nye beregninger var for tidkrevende. Dessuten vil ikke dette ha noen betydelig påvirkning på resultatene.

I tillegg ble det utført for få beregninger i WUFI til at det er mulig å trekke noen endelig konklusjon på bakgrunn av resultatene. Dette gjelder spesielt for beregninger med ventilasjonskanaler i elementet, siden dette tok veldig lang tid. Likevel var det mulig å anslå konklusjoner ut i fra tendensene i resultatene, men disse er ikke kvalitetssikret godt nok til å kunne baseres på.

2.4 Hva kunne vært gjort annerledes?

Siden de fastsatte tegningene på Nordahl Bruns gate ble forsinket fra arkitekten, måtte oppgaven baseres på forslag og tidlige versjoner av tegningene. Dette gjorde at en del antagelser måtte tas for å komme videre i arbeidet. For å få bedre kvalitet på oppgaven skulle det vært brukt et prosjekt hvor tegningene allerede forelå, slik at de resultatene som presenteres i oppgaven hadde blitt mest mulig reelle i forhold til det valgte prosjektet. Dette var noe som ikke kunne forutses ved oppstart av oppgaven, da tegningene etter planen skulle produseres i god tid før studenten trengte dem. Dessuten var det bedre å gå ut i fra et reelt

bygg istedenfor å løse problemstillinger på et illustrativt bygg. Det var heller ikke så mange andre alternativer å velge mellom.

I tillegg ble det brukt mye tid på at faktorer ikke var avklart før arbeidet med oppgaven startet. Dette skapte mye usikkerhet underveis, og ikke minst ble det brukt mye tid på venting for avklaringer og oppretting av arbeid som allerede var gjort. Deler av arbeidet er derfor basert på antagelser, noe som kan svekke kvaliteten på rapporten. Igjen ser man viktigheten av at caset skulle vært avklart og gjennomarbeidet før oppgaven startet, slik at alle faktorer hadde vært bestemt.

Noen av løsningene som er benyttet i detaljtegningene kunne vært bedre utført. Derfor burde personer med kompetanse innenfor elementer og tekniske detaljer vært involvert tidligere. Noe som ville gitt en utviklingsprosess for detaljene. Dette på grunn av at det er vanskelig å skulle finne løsninger som fungerer optimalt på den tiden møtet varer. En slik prosess kan gjerne ta lang tid. Detaljene ble utviklet på grunnlag av teorien, og var derfor ikke klar før et godt stykke ut i oppgaveperioden. Dessuten ble ikke kontaktperson for elementene involvert før sent i prosjektet, og det kan ikke forventes at eksterne fagpersoner skal ta seg tid til å utvikle løsninger utover de møtene som er avtalt. Likevel er detaljene fullt mulig å benytte, og er utviklet i samarbeid med en person med god erfaring innenfor elementbygging.

WUFI 2D beregningene tok veldig lang tid å simulere. Dette var studenten ikke klar over, og prioriterte å gjøre disse beregningene helt på slutten av masterperioden. Derfor var det ikke tid til å gjøre mange beregninger, og antall parametre måtte derfor begrenses. Dersom studenten hadde vært klar over dette kunne beregningene og startbetingelsene vært avklart tidligere, slik at simuleringene kunne gått parallelt med annet arbeid. Likevel ble det utført noen beregninger, slik at man har grunnlag for å trekke konklusjoner på bakgrunn av resultatene.

3 Rehabilitering med fasadelementer

Å benytte prefabrikkerte elementer til rehabilitering av fasader i gamle bygninger har mange aspekter. I dette kapitlet vil muligheter, fordeler og utfordringer til bruk av prefabrikkerte fasadelementer for rehabilitering av boligblokker betraktes.

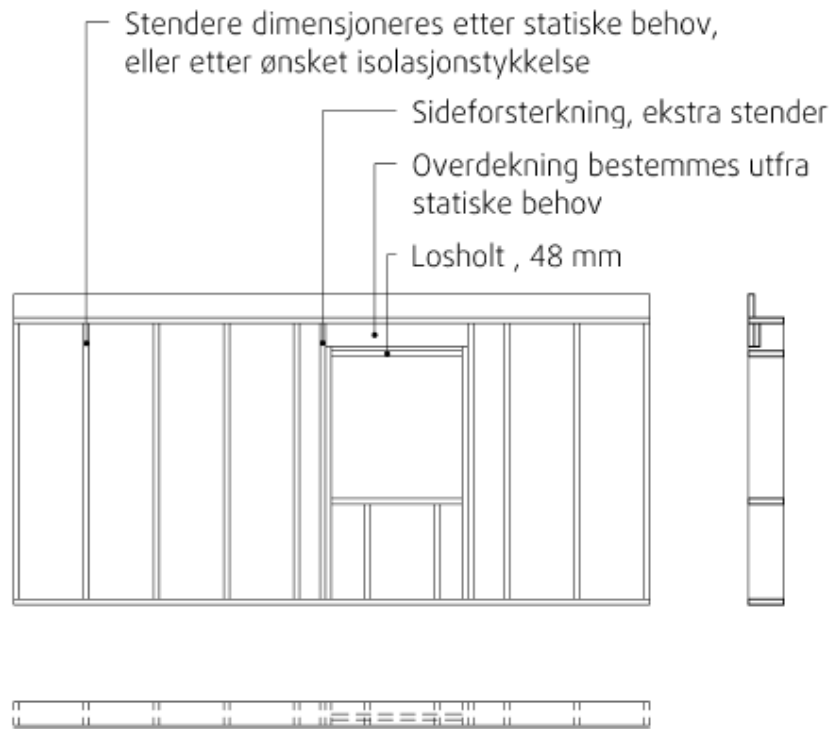
3.1 Prefabrikkerte elementer

Det oppleves en stadig økning i bruk av elementer og komponenter som produseres i fabrikk, og elementer benyttes både til nybygg og rehabilitering (Berg, 2008).

3.1.1 Oppbygging av elementer

Yttervegger blir ofte prefabrikkert i form av elementer og transportert til byggeplass som komplette konstruksjoner. Små elementer med bredde 1,2 m var vanlig å benytte tidligere, men i dag er store elementer med lengder tilpasset avstanden fra hjørne til hjørne mest brukt. Oppbygging av veggkonstruksjoner og materialbruk er i prinsippet det samme som for vegger som bygges opp på byggeplass (Edwardsen & Ramstad, 2007).

Elementene fremstilles i varierte høyder og lengder, og bygges opp av bindingsverk med stendere av konstruksjonsvirke, K-virke eller splittet limtre i c/c 600 mm. Fasadelementene kan leveres med dampbrems av 12 mm OSB-plate, vindsperre av 15 mm trefiberplate, isolasjon som enten monteres på eller blåses inn i elementet samt utlektet kledning. Tykkelsen på elementet bestemmes ut i fra kravet til U-verdi (SINEF Byggforsk, 2010). Figur 1 viser ett eksempel på oppriss av et fasadelement.



Figur 1. Eksempel på oppriss av bindingsverk i fasadelementer (SINTEF Byggforsk, 2010).

3.1.2 Åpne og lukkede fasadeelementer

Elementene fra fabrikk kan leveres enten som åpne eller lukkede elementer. Åpne fasadeelementer leveres med komplett utvendig kledning og vinduer/dører ferdig montert. Disse elementene mangler innvendig kledning, og ofte også isolasjon. På den måten er det mulig å montere inn rør og kabler på byggeplassen. I tillegg er det lettere å montere elementene sammen og oppnå tette elementskjøter og tilslutninger siden dampsperring monteres etter elementet er montert. Dette er også sikrere med tanke på skader tilknyttet montering og transport (Edwardsen & Ramstad, 2007).

Lukkede elementer leveres med innvendig kledning, og gir kortere byggetid. Likevel er de mer krevende i forhold til ekstra detaljert planlegging, varsom transport og montering, samt spesielle løsninger for elementskjøter og tilslutningsdetaljer (Edwardsen & Ramstad, 2007).

3.1.3 Fordeler og ulemper med prefabrikkerte elementer

Bruken av prefabrikkerte elementer er tilknyttet både fordeler og ulemper. De klare fordelene med elementene er:

- Innendørs produksjon i forutsigbare og fuktstabile produksjonslokaler
- Dokumentasjon av produksjon er lettere å følge opp
- Benyttelse av leverandører med Teknisk Godkjenning sikrer at krav til produktdokumentasjon er tilfredsstillt
- Reduserte kuldebroer
- Redusert behov for bemanning på byggeplass
- Potensial for bedret økonomi i prosjektet ved raskere monterings tid, bedre kvalitet og mindre fuktrisiko (Farstad, 2012)
- Elementer som fremstilles i fabrikk muliggjør større effektivitet i produksjonen sammenlignet med plassbygging
- Oppfukting av materialene unngås (Edwardsen & Ramstad, 2007)
- Integrering av bygningskomponenter som vinduer, dører, tekniske systemer, ledninger, rør osv gjøres enkelt direkte i elementet (Noreng & Geving, 2008).

Det finnes også noen ulemper tilknyttet prefabrikkerte fasadeelementer:

- Det kreves lokaler og utstyr med høye kapital- og driftsutgifter
- Mindre tilpasningsdyktighet ved varierende etterspørsel og byggeaktivitet
- Avhengig av en jevn produksjon for at fabrikkfremstillingen skal være lønnsom
- Krever god produksjonskontroll, da eventuelle feil kan få store konsekvenser
- Kostnader for transport- og montering er større enn for plassbygde konstruksjoner
- Montering av store elementer krever at tomte har tilfredsstillende atkomst for transportbil og eventuelt mobilkran (Edwardsen & Ramstad, 2007)
- Risiko for oppfukting og skader på elementer i forbindelse med transport og montering (Noreng & Geving, 2008).

3.2 smartTES

smartTES (Innovation in timber construction of the modernisation of the building envelope) er et pågående europeisk forskningsprosjekt som er videreutviklet fra TES Energy Façade prosjektet, se kapittel 3.3. Prosjektet baserer seg på TES metoden. Formålet med smartTES er

å utvikle en bærekraftig metode for energieffektivisering av bygninger gjennom å utvikle en multifunksjonell bygningskropp. Dette vil oppnås gjennom (smartTES, udatert):

- Utvikling av en multifunksjonell bygningskropp
- TES moduler – utvikling av en helhetlig trekonstruksjon som kan benyttes til utbygging og ekstra etasjer som er forenelig med TES Energy Facade.
- LCA i TES – miljøvurdering, forbedring av TES strukturer og modernisering av byggeprosessen med fokus på utnyttelse av ressurser og materialer.
- TES i urban sammenheng – verdien og muligheter for TES i urbane fortettinger.
- Raskere prosess fra produksjon til montering for å skape en industrialisert prosess som tar sikte på å minimere forstyrrelser for beboerne, forenkle energieffektiv drift og oppfordre til energieffektiv adferd.
- Formidling – å frembringe resultatene fra forskning til virkelighet

3.3 TES Energy Facade

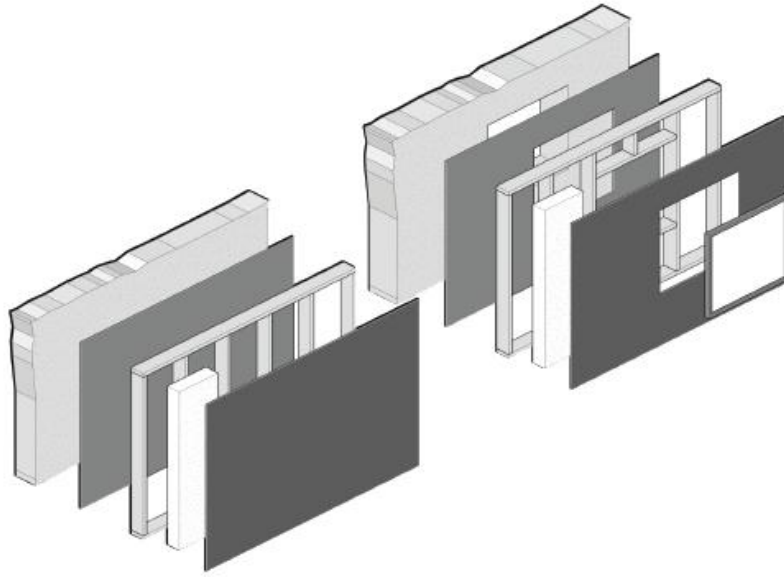
TES Energy Facade er et trebasert elementsystem for forbedring av energieffektiviteten til bygninger. I løpet av 2008 – 2010 gjennomførte forskere fra Finland, Tyskland og Norge et forskningsprosjekt med tittel ”Timber-based element systems for improving the energy efficiency of the building envelope (TES Energy Facade)”. Målet var å utvikle en metode for rehabilitering av fasade (TES metode) basert på store trebaserte elementer som kan forbedre energieffektiviteten i bygninger. Metoden har spesielt fokus på bygninger oppført mellom 1950 og 1980, samt andre med store rehabiliteringsbehov. Prosjektet vurderer både økonomiske, arkitektoniske og miljømessige fordeler ved oppgradering av den eksisterende bygningsmassen (Lattke, Larsen, Ott & Cronhjort, 2009).

Egenskaper ved anvendelse av TES Energy Facade er:

- Byggeprosessen er nøye planlagt og henviset til internt for utførende entreprenør
- Presisjon og kvalitet på elementene er høy
- Funksjonelle og tekniske krav til bygningen forbedres
- God materialkvalitet gir god LCA
- Mindre uforutsette kostnader (Ott & Winter, 2010b)
- Forutsigbar pris og reduksjon av arbeid på byggeplass
- Mindre støy og forstyrrelse for beboere
- Stort utvalg av kledningsmaterialer
- Integrering av bærende elementer
- Integrering av VVS og solenergikomponenter
- Romlig inngrep eller ekspansjon av systemet (Lattke, 2010)

3.3.1 Oppbygning av TES elementet

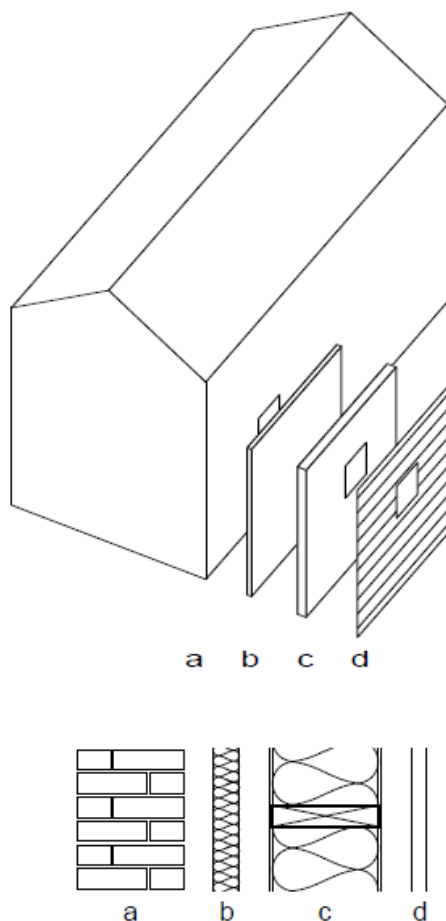
TES Energy Facade er et rehabiliteringssystem som forlenger brukstiden til en eksisterende bygning, og forbedrer dens tekniske og funksjonelle egenskaper. Systemet baserer seg på en systematisert metode for montering av eksterne prefabrikkerte fasadeelementer (Lattke et al. 2009). Elementene består av bindingsverk i tre som bærekonstruksjon, med isolasjon, vindsperre, eventuelt fuktspærre samt utvendig og innvendig kledning. I tillegg kan elementene ha dører og vinduer innsatt som vist i Figur 2 (Larsen, Lattke, Ott & Winter, 2011), og erstatter hele eller deler av fasaden. På den måten er fasadeelementer og TES elementer omtrent lik i oppbygningen.



Figur 2. Vanlig element sammensatt av bindingsverk i tre fylt med isolasjon og kledning. Vindu er integrert på figuren til høyre (Ott & Winter, 2010a).

En TES Energy Facade består av utvendige veggelementer som benyttes utenpå den eksisterende konstruksjonen. De kan henges i front av en eksisterende konstruksjon eller benyttes som skillevegg til en eksisterende bærende konstruksjon. Elementene er selv bærende fasadeelementer med størrelse maks 3,8 x 12 m. I tillegg er det vanlig at det arkitektoniske designet moderniseres gjennom rehabilitering av fasaden (Lattke et al. 2009).

Et TES element har mange likheter med en bindingsverkskonstruksjon av tre med isolasjon og utvendig kledning. Figur 3 viser et typisk TES element, med a) eksisterende konstruksjon, b) utjevningssjikt, c) treelement med isolasjon og d) ytterkledning. De forskjellige elementene i fasaderehabiliteringen samhandler på ulike måter (Lattke et al. 2009).



Figur 3. TES element (Lattke et al. 2009)

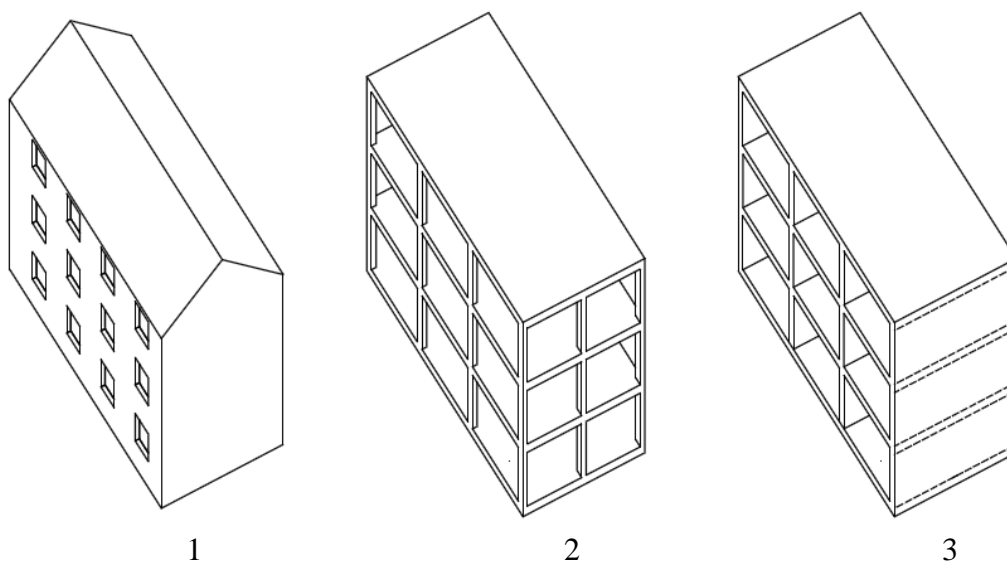
I eksisterende bygninger er det ofte ujevnheter. Disse må kartlegges og dokumenteres i planleggingsprosessen for TES metoden. Et vanlig TES element er rektangulært og stivt, og vil ikke ha mulighet til å tilpasse seg til det ujevne underlaget på den eksisterende fasaden. Derfor er det nødvendig med et mellomrom mellom elementet og fasaden. Dette mellomrommet må fylles med et utjevningssjikt for å oppnå kravene til brann sikkerhet og bygningsfysikk. Ujevnheter i fasaden kan utbedres med isolasjon som vist i Figur 4. Enten med et eget isolasjonslag på baksiden av elementet, direkte på fasaden, eller med innblåsing av isolasjon etter montering av elementet. Siden cellulosefibermatten er komprimerbar er det lett å jevne ut nivåforskjeller i fasaden, men det er nødvendig med en kompresjonskraft (Lattke et al. 2009).



Figur 4. Utjevningssjikt av isolasjon (Lattke et al. 2009).

3.3.2 Bæresystem i eksisterende bygning

Bæresystemet i den eksisterende bygningen er viktig for hvordan elementene skal utformes, og deles inn i tre typer etter hvilke egenskaper de har, se Figur 5. Dette er: bæring ved hjelp av eksisterende yttervegger, skjelett struktur der konstruksjonen bæres ved hjelp av søyler og dekker, og bokhylle struktur der bæringen foregår ved søyler og skillevegger (Time, 2013).



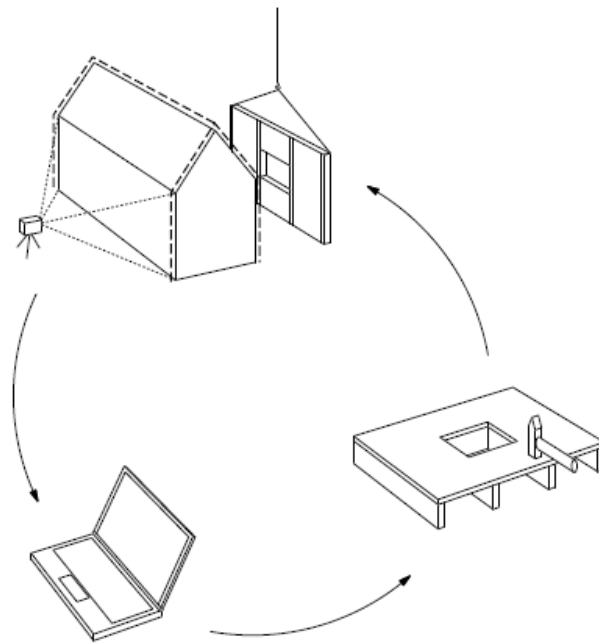
Figur 5. Bæresystem i eksisterende bygninger: 1: bærende fasade, 2: skjelettstruktur (søyler og dekker), 3: bokhyllestruktur (søyler og skillevegger) (Lattke et al. 2009).

Dersom man har en bærende fasade kan man ikke skifte den ut, siden det er den som bærer hele konstruksjonen. Derfor vil fasadeelementer som monteres utenpå den eksisterende fasaden være den eneste måten å etterisolere denne typen konstruksjoner på. Ved skjelettstruktur kan den eksisterende fasaden rives, og forbedres ved å sette inn helt nye

elementer mellom bæresystemet. Mens ved en bokhyllestruktur må man benytte begge metodene. Her må man montere nye elementer på gavlveggen til den eksisterende fasaden, siden disse veggene er bærende for konstruksjonen. Mens man kan rive den eksisterende fasaden og benytte nye elementer på langveggene der de eksisterende ytterveggene ikke har noen lastbærende funksjon. På den måten er det i hovedsak to prinsipper som benyttes for bruk av fasadeelementer ved rehabilitering av eksisterende bygninger. Altså montere nye fasader utenpå eksisterende konstruksjon, og sette inn nye elementer mellom den bærende konstruksjonen i en skjelettstruktur. Begge metodene har både fordeler og ulemper tilknyttet rehabilitering av eksisterende konstruksjoner, som for eksempel inngrep i fasaden og montering av nye elementer (Wærnes, 2011).

3.3.3 TES metoden

Til grunn for ettermontering av prefabrikkerte elementer ligger en systematisk prosess med kartlegging, renovering, planlegging, bygging og vedlikehold av bygningsmassen. Moderne målemetoder gir nøyaktige data for bygningen til 3D-modeller som kan brukes til å utvikle prefabrikkerte elementer for rehabilitering og vedlikehold (Lattke et al. 2009). Metoden er illustrert i Figur 6 under.



Figur 6. TES Energy Facade metode (Lattke et al. 2009).

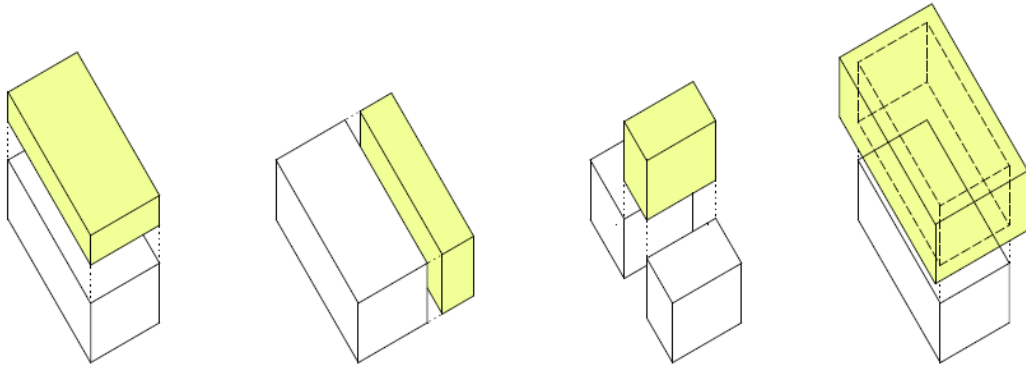
Rehabilitering med TES elementer kan inkludere (Lattke et al. 2009):

- Energieffektiv rehabilitering av fasader og tak
- Forny vinduer eller modernisere vindusåpninger
- Utvidelser eller tillegg av romlige elementer eller balkonger
- Modernisering av VVS
- Integrering av solvarmeanlegg og/eller solfangeranlegg

3.3.4 Ny arkitektonisk fremstilling

I tillegg til at bygningen oppgraderes med tanke på energieffektivitet og tekniske løsninger, er det også store muligheter til å oppgradere det estetiske inntrykket av boligen. Den

arkitektoniske fremstillingen av både bygninger og omgivelser kan forbedres betraktelig ved omstrukturering og utvidelse av fasaden. Ved benyttelse av TES elementer kan man få ekstra etasjer, horisontale utvidelser, fortetting av bygningsvolumene og utskrifting eller tillegg i bygningsfasaden (Lattke et al. 2009). Siden mange av de potensielle rehabiliteringsobjektene ikke tilfredsstillir dagens standarder, gir TES metoden gode muligheter for utvikling og oppgradering av boligene. På den måten skapes nye verdier i den eksisterende bygningsmassen. Figur 7 illustrerer disse mulighetene.

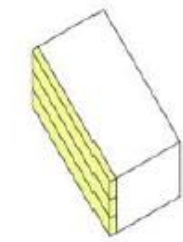


Figur 7. Muligheter for arkitektonisk oppgradering av eksisterende bygninger (Lattke et al. 2009).

3.3.5 Utforming av elementer

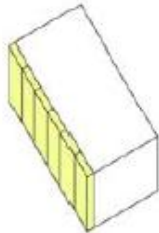
Dimensjonen på elementet er avhengig av forskjellige parametre som funksjonell fordeling og bygningens akser, gulvhøyder, bærende bjelker osv. I tillegg er det restriksjoner knyttet til maskiner og transport. Vekten er også viktig i forbindelse med elementene, etter som kravene for håndtering og montering av elementer på byggeplassen er tilknyttet vekt. Elementer med store isolasjonstykkelser og mye glassarealer kan få stor vekt. Ved utforming av elementene er det derfor viktig å vurdere muligheter for plassering av kraner slik at elementene ikke blir for tunge og store for montering på byggeplass (Lattke et al. 2009). I tillegg vil oppdeling av elementer og retningen av dem kunne påvirke vekten av elementene, ut i fra størrelse og antall vinduer i hvert element.

Retningen på TES elementet kan være horisontal, vertikal eller frittstående moduler, se Figur 8. Dette vil påvirke elementene på forskjellig måte (Lattke et al. 2009):



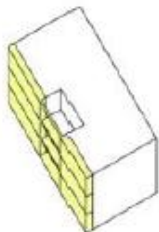
Horisontal:

- Montering av horisontale elementer tilpasset etasjehøyden
- Lastbærende etasjevis eller i bunn
- Elementene leveres i monteringsretningen
- Lastbæring i bunn reduserer krefter påført den eksisterende konstruksjonen



Vertikal:

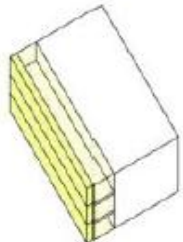
- Elementene er tilpasset bygningens høyde
- Lastbærende i bunnen
- Elementene må roteres fra transport til montering
- Lastbæring i bunn reduserer krefter påført den eksisterende konstruksjonen



Utvidelse:

Den nye bygningsfasaden får en utvidelse der eksisterende arealer blir integrert, for eksempel balkonger og lignende, eller frittstående moduler utvider den eksisterende konstruksjonen.

- Integrering av eksisterende arealer
- Utvidelse og oppgradering av bygningsfasaden i en samlet bygning



Figur 8. Retning på TES element (Lattke et al. 2009).

3.3.6 Parametre og begrensninger for elementer

Retningen på elementene vil påvirkes av ulike faktorer (Lattke et al. 2009):

Grunnleggende:

- Maksimum elementstørrelse (transportbegrensninger, løfting og montering)

Horisontal:

- Etasjehøyde (støtte fra gulv til gulv)
- Konstruksjon og byggemetode (søyler og tverrvegg)
- Funksjon (bolig eller enheter, kontorlokaler, fleksibilitet)
- Brannseksjoner

Vertikal:

- Konstruksjon og byggemetode (støtte, søyler og tverrvegg, svak takkonstruksjon)
- Takutvidelser (muligheter for ny lastbærende konstruksjon)
- Bygningens høyde (laster fordelt mellom øvre og nedre del)

Miks:

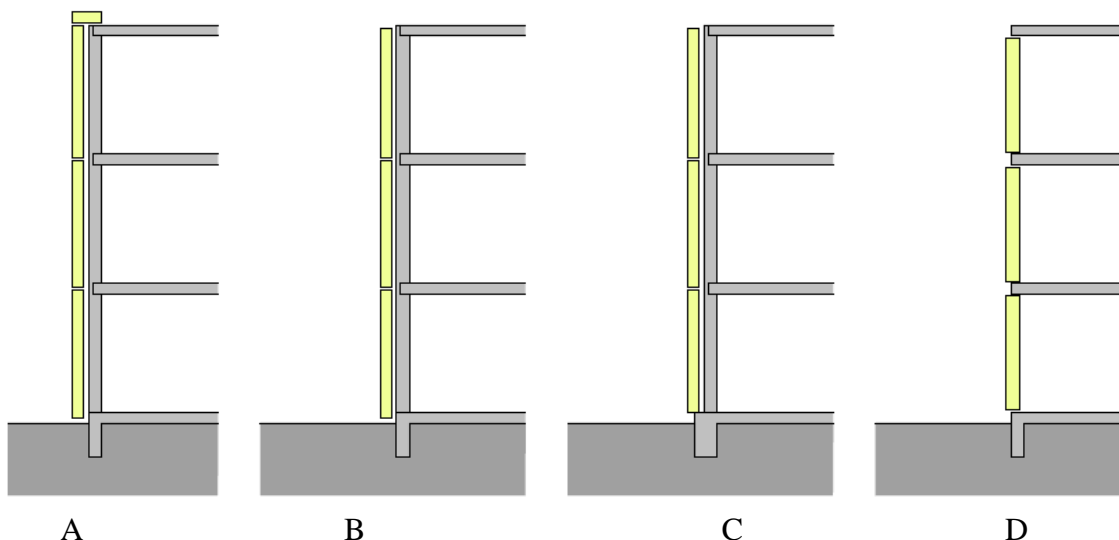
- Geometrisk utførelse (hjørner og kanter)
- Tekniske krav (VVS)
- Funksjonalitet (trappesjakter)
- Sammenføyning av elementer

3.3.7 Lastbæring

Montering av fasadelementer vil samtidig kreve en ny lastbærende løsning. Dette krever nøye kartlegging av de eksisterende forholdene. Det er hovedsakelig fire typer montering og lastbæring av konstruksjonene (Lattke et al. 2009):

- A Hengende. Elementene henges fra toppen av konstruksjonen. Vertikale laster er samlet i toppen av bygningen, og går gjennom den eksisterende konstruksjonen. Det må undersøkes at den eksisterende konstruksjonen har styrke nok til dette.
- B Etasjevis montering. Elementene monteres på toppen av hvert etasjeskille eller inn i veggen.
- C Stående. De vertikale lastene fra elementene ledes inn i den eksisterende konstruksjonen eller med en separat fundamentering i bunnen av bygningen.
- D Stående etasjevis. Elementene står mellom etasjeskillene.

Disse metodene illustreres nedenfor ved hjelp av Figur 9:

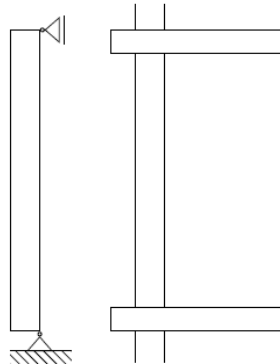


Figur 9. Metoder for lastbæring: A) Hengende, B) Etasjevis, C) Stående, D) Stående etasjevis (Lattke et al. 2009).

3.3.8 Forankring

For at krefter ikke skal overføres fra et element til et annet, er det anbefalt at fasadelementene festes til den eksisterende bærekonstruksjonen. På den måten blir lastsituasjonen ryddig, og man behøver ikke å ta hensyn til hvor store krefter som overføres til

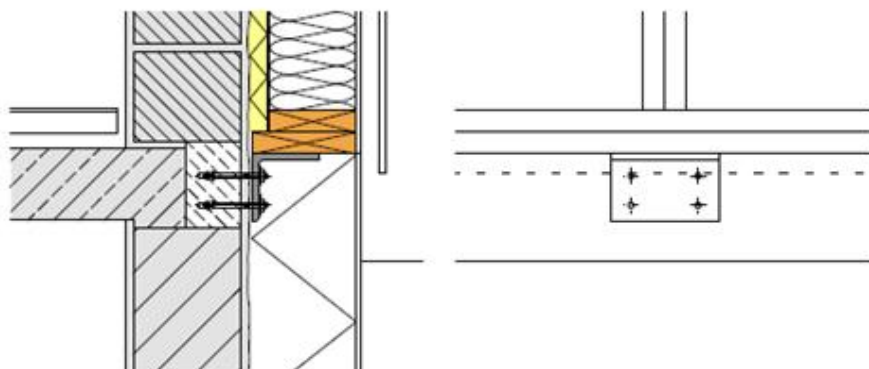
nærliggende elementer. Videre er det anbefalt at forankringen til betongvegg utføres på en slik måte at tvangskrefter ved endringer i fukt og temperatur uteblir. På den måten bør forankringen velges slik at bevegelser kan tas opp (Time, 2013). Figur 10 viser prinsipper for innfesting av TES elementer etasjevis.



Figur 10. Prinsipp for innfesting av TES elementer: i bunnen tar innfestingen opp horisontal last og all vertikal last. I toppen tar innfestingen opp horisontal last (Time, 2013).

Fasadeelementet vil påvirkes av både vindlaster, egenlaster og eventuelle tvangskrefter. I noen situasjoner kan det også være aktuelt med snølast. Disse kreftene må tas hensyn til ved valg av innfestingsmetode og lastberegning for fasadeelementer (Time, 2013).

For innfesting av fasadeelementer til betongvegger kan det benyttes vinkelstål/stålvinkler og ankre/skruer som er beregnet for innfesting til betong. Belastningssituasjonen for festemidlet til betongen blir på den måten oversiktlig. Lasten på festemidlet vil hovedsakelig være skjærkrefter og aksialkrefter. Ved bruk av slisser i vinkelstålet ved innfesting blir usikkerheten med hensyn på eventuelle tvangskrefter redusert (Time, 2013). Figur 11 viser utvendig innfesting av fasadeelement.

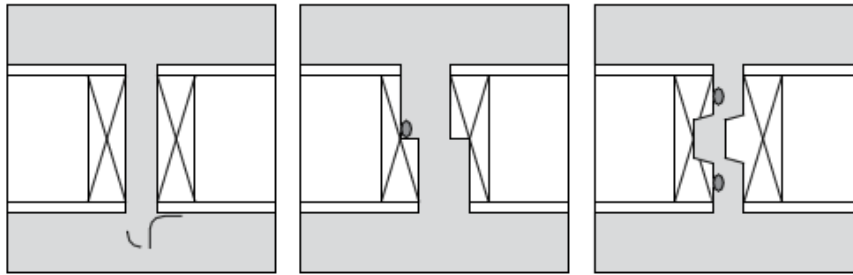


Figur 11. Utvendig innfesting av fasadeelement (Time, 2013)

Ankre/bolter gjennom stenderne i fasadeelementene kan også benyttes. I dette tilfellet må man ta hensyn til at vertikalkraften, som skal overføres fra veggelementene, angriper i en gitt avstand fra betongveggen, og dermed gir momentkrefter på ankret/bolten. Kapasiteten til trevirket ved innfestingspunktene må også kontrolleres (Time, 2013).

3.3.9 Sammenføyning av elementer

Mellomrom i elementskjøter er alltid en risiko og krever god planlegging og prosjektering. Riktig tetting mellom elementene er nødvendig for luft- og vindtetthet, lydtetthet og spesielt med tanke på brannsikkerhet. Sammenføyningen mellom elementene må derfor lukke disse mellomrommene. Alternativet er å fylle gapet med fleksibel mineralull (Lattke et al. 2009). I tillegg er det et alternativ å fuge mellom elementskjøtene. Tre mulige metoder for sammenføyning av elementer er illustrert i Figur 12 under. Disse tar ikke tilstrekkelig hensyn til regn- og lufttetting, derfor bør det finnes en annen metode for å gjøre dette. Eventuelt er det mulig å ta utgangspunkt i en av metodene og utbedre denne ved å fuge mellom elementene eller sikre for vindtetthet ved å klemme med en flik av vindsperrerullprodukt over skjøten. En grundigere utforming av sammenføyning mellom elementer er nevnt i kapittel 6.4.



Figur 12. Metoder for sammenføyning av elementer (Lattke et al. 2009).

3.3.10 Bygningsfysikk

TES Energy Facade er en varm veggkonstruksjon, og må derfor beskyttes mot fukt fra utendørsklimaet i form av for eksempel slagregn. Dette stiller krav til kledningen om ett drenerende og ventilerende lag eller ett vannavstøtende lag. Tørkemulighetene må være på plass ved å benytte diffusjonsåpne materialer på utsiden. Det er mulig å redusere fuktinnholdet i den eksisterende veggen ved å tilføre mer ekstern isolasjon gjennom TES elementet. Kontinuerlig varm tilstand på utsiden av den eksisterende konstruksjonen tillater tørking av de eksisterende våte veggene. Lagene på utsiden av den eksisterende fasaden må derfor være mer diffusjonsåpen enn de på innsiden. TES elementet må være vindtett på utsiden for å sikre vindtetthet og unngå nedkjøling av isolasjonen. Den innvendige siden av elementet behøver ikke være lufttett, da den eksisterende konstruksjonen av mur eller betong er vurdert som lufttett. Likevel må alle sammenføyninger mellom TES elementet og den eksisterende fasaden gjøres lufttett. Ingen åpne gap mellom den eksisterende veggen og det nye isolasjonslaget er tillatt, og TES elementet må tettes rundt alle åpninger. Den eksisterende fasaden vil være grunnlaget for å forbedre de termiske forholdene. Materialenes egenskaper og tilstand i forhold til fukt, sprekker, lekkasjer og konstruksjonsdetaljer må vurderes og dokumenteres. Denne dokumentasjonen danner basisen for valg av nødvendige utbedringer (Lattke et al. 2009).

Fuktig inneluft kan trenge inn i ytterveggen ved overtrykk på innsiden av konstruksjonen. Montering av dampsperre vil normalt sikre mot dette. Fasadeelementer fra Trebyggeriet benytter OSB-plate som dampbrems på innsiden. Ved å montere fasadeelementer på eksisterende fasade må den eksisterende veggens oppbygning også vurderes, da denne vil påvirke temperatur- og fuktforholdene i bygningen. I forhold til fuktproblematikk er utvendig etterisolering fordelaktig. Dersom den eksisterende veggen allerede har dampsperre, kan det oppstå store problemer med kondens i sjiktene mellom dampsperran og OSB-platen. Dersom det ikke er dampsperre på innsiden av den eksisterende veggen må det kontrolleres at OSB-platen ligger med minimum $\frac{3}{4}$ av isolasjonstykkelsen på utsiden. Noe som vil sikre mot kondensering (Wærnes, 2011).

En ubehandlet teglforblending absorberer vanligvis det meste av regnvannet som treffer, og deretter vil fukten avdunstes i tørre perioder. Det kan dannes en vannfilm på overflaten, og på den måten kan vann trenge inn i sprekker i forblendingen og presses gjennom av vindtrykk. Det må antas at noe vann uansett vil trenge gjennom forblendingen. Vannet må dreneres vekk på innsiden av forblendingen og ikke overføres til bakveggen. Derfor må forblendingen skilles fra bakveggen med et drenert hulrom som avsluttes i drensåpninger i bunnen av veggen. Veggen utføres normalt uten egen dampsperre. Dette kan føre til kondens på utvendig side av forblendingen, men dette dreier seg om små mengder vann som kan suges opp av forblendingen. Utvendig etterisolering av teglvegger er den sikreste måten sett fra en fuktteknisk synsvinkel. På den måten vil den eksisterende delen av veggen bli liggende i et

varmere klima, med gunstigere forhold for fukt og uttørking. Dessuten vil effekten av kuldebroer og luftlekkasjer ved tilstøtende innvendige vegger og etasjeskillere reduseres. Videre vil også risikoen for innvendig overflatekondens og støvsverting reduseres. I tillegg har man kontroll med fuktsikkerheten på den ytre siden av klimaskjermen. Dersom veggens utvendige tilstand krever reparasjoner og oppussing, og veggmaterialene ikke er like motstandsdyktige mot klimapåkjenningene, er utvendig etterisolering løsningen (Geving & Thue, 2002).

I forhold til plassering av vinduer i veggkonstruksjoner, vil det ofte være usikkerhet i forhold til hva som er den beste plasseringen. Plassering av vinduet midt i veggen har fordeler tilknyttet redusert varmetap, redusere fare for utvendig kondens siden vindussmyget skjermer noe for varmetap til den kalde himmelen, gir noe varmere glassrute og noe redusert innvendig kondensfare, vinduet blir noe tørrere etter som det blir litt varmere og bedre skjermet mot nedbør, rommet innenfor får redusert soloppvarming etter som vindussmyget skjermer for deler av vinduet. Det siste punktet vil være en fordel i Nordahl Bruns gate, der oppgradering til passivhus vil medføre større varmeoverskudd og dermed behov for kjøling. Mens ulempene tilknyttet plassering av vinduet et stykke inn i elementet er større fare for fuktskader i veggen ved eventuelle lekkasjer hvis det mangler membran under vinduet, eller dersom membranen ikke er tett (SINTEF Byggforsk, 2012).

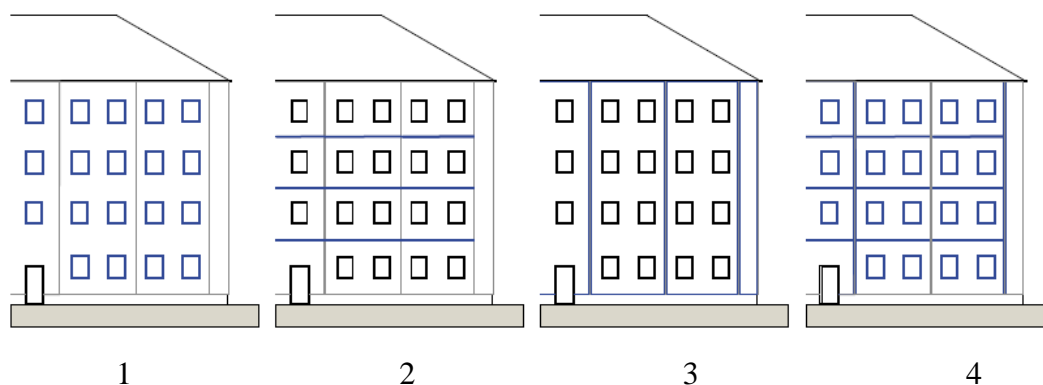
3.3.11 Brannsikkerhet

TES elementene presenteres som ikke-bærende fasadeelementer som tilpasses på bærende, ikke-brennbare strukturer. På den måten må elementene følge det generelle kravet til yttervegger. Den ytterste kledningen på toppen av det ytre veggelementet må klassifiseres i henhold til brennbarheten av materialet, og er en separat del av det ikke-bærende fasadeelementet (Lattke et al. 2009).

Som regel oppfyller den eksisterende fasaden allerede kravene til brannsikkerhet. Likevel må tilstanden til den eksisterende bygningen godkjennes gjennom en undersøkelse av brannsikkerheten (Lattke et al. 2009). Dette kan komme av at tilstanden til den eksisterende bygningen er redusert slik at den ikke lenger tilfredsstiller kravene.

Ytterkledningen på TES elementet må oppfylle kravene til den relevante brannklassen. Brennbare materialer er tillatt opp til brannklasse 3, mens i brannklasse 4 og 5 kreves lav antenlighet/vanskelig brennbart kledning og isolasjonsmaterial med minst klasse C- eller B-S2,d0. Tre eller andre brennbare fasadematerialer kan benyttes, men det er nødvendig med spesiell konstruksjon og ytterligere godkjenning. Der det benyttes brennbare materialer og ventilerte hulrom, må kledningen ha en etasjevis separasjon enten ved egnede brannstopper eller med en horisontal separat konstruksjon. Utjevningssjiktet på baksiden av TES elementet kan være av brennbart materiale, dersom fasadeåpninger og hver etasje er omsluttet eller atskilt med ikke-brennbare materialer. Videre er det viktig at TES elementet utformes slik at det forsinket brannspredning langs fasaden (Lattke et al. 2009).

Dersom isolasjonsmaterialet er brennbart kreves det brannstopper på innsiden av TES elementet, slik at brannen ikke kan spres innenfor de skjulte delene av fasadekonstruksjonen. Disse brannstoppene kan integreres i TES elementet på flere måter, for eksempel med horisontale barrierer mellom hver etasje. Brannstopper kan bestå av ikke-brennbart material som mineralull eller gipspaneler (Lattke et al. 2009). Figur 13 viser eksempler på hvordan fasaden kan inndeles med brannstopper.



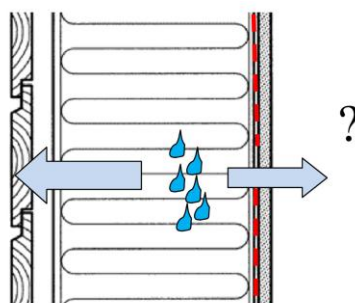
Figur 13. Inndeling med brannstopper, 1) rundt vinduene, 2) horisontalt etasjevis, 3) vertikalt mellom funksjonelle enheter, 4) alle konstruksjonene sammen for vertikal TES Energy Fasade monterig (Lattke et al. 2009).

En TES Energy Facade kan konstrueres og bygges uten brannsikkerhet dersom isolasjonen er av klasse A2,s1-d0, for eksempel mineralull. Fasadeelementet vil da tilfredsstillere brannforskriftene. Om isolasjonen er av dårligere klasse enn A2,s1-d0, for eksempel trebaserte produkter, må fasaden utformes for å hindre at brannen sprer seg til isolasjonen, innenfor ytterveggen eller til deler av ytterveggen og brannskillende bygningsdeler (Lattke et al. 2009).

3.4 OSB-plate

I forhold til oppbygning av fasadeelementer vil det være aktuelt å benytte en OSB-plate på innsiden av elementet, som kan fungere som dampbrems. For eksempel benytter Trebyggeriet OSB-plate som dampbrems på innsiden av fasadeelementene (Lattke et al. 2009).

Dampbrems er produkter med dampmotstand som ligger mellom grenseverdiene for vindsperrer og dampsperrer. Det betyr at produktene har en betydelig lavere dampmotstand enn dampsperrer, men samtidig høyere dampmotstand enn vindsperrer. Disse produktene slipper derfor mer fukt gjennom konstruksjonen enn en vanlig dampsperre. Dersom det benyttes dampbrems kan vindsperreren være mer dampåpen enn det som normalt kreves, for å gi konstruksjonen tilstrekkelig uttørkningssevne (Edvardsen & Ramstad, 2007). En vid definisjon ut i fra S_d verdi for dampbrems er $0,5 \text{ m} < S_{d, \text{dampbrems}} < 10 \text{ m}$. Fordelen med å benytte en dampbrems er at en dampåpen innside vil gi veggen mulighet til å tørke både utover og innover i konstruksjonen (Geving, Holme & Uvsløkk, 2010). Figur 14 illustrerer muligheten for uttørking av fukt både utover og innover i en vanlig bindingsverksvegg.



Figur 14. Uttørkingsmuligheter både innover og utover i konstruksjonen (Geving et al. 2010).

4 Integrering av tekniske installasjoner

Det er gode muligheter for å integrere tekniske installasjoner i TES elementer. Det vil samtidig lette arbeidet på byggeplassen betraktelig. Integrerte installasjoner er veldig aktuelt i forbindelse med utforming av elementer til Nordahl Bruns gate, og vil derfor utforskes nærmere her.

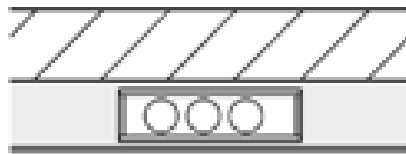
4.1 Generelt

Tekniske installasjoner utgjør en viktig integrert del av en moderne bygning. Det er først i samvirke med tekniske installasjoner at bygningskroppen kan tilfredsstillte menneskenes primære behov i en bygning. Tekniske installasjoner utgjør utstyr som er fast integrert i bygningen, og er til for å sørge for et ønsket innneklima i bygget og yte teknisk service gjennom bruk av bygget. I dag er det vanlig med tekniske installasjoner i bygninger i form av sanitæranlegg, oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg, kjøleanlegg, elektriske anlegg, transportanlegg, gassdistribusjonsanlegg, brannvarslings- og slukkingsanlegg, adgangskontroll- og sikkerhetsanlegg osv (Novakovic, Hanssen, Thue, Wangenstein & Gjerstad, 2007).

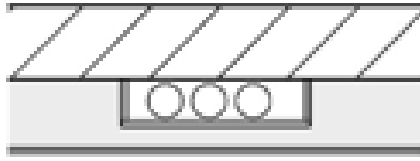
Integrering av tekniske installasjoner i TES elementet gir en verdiøkning til en rehabilitert bygningsfasade, og større frihet og fleksibilitet i utformingen. Siden installasjoner kan monteres innenfor materialsjikt i fasaden, er det viktig å ta følgende prinsipper i betraktning (Lattke et al. 2009):

- Det må dannes separate installasjoner i moduler, soner eller kanaler
- Isolasjonsegenskapene til kanalene må være den samme som veggelementet
- Alle tekniske-, brannsikkerhets-, lufttetthets- og lydisoleringsnormer må være sikret
- TES elementer må være utformet i full overensstemmelse med offisielle byggeforskrifter.

Installasjonene må integreres inn i bindingsverkskonstruksjonen i elementet, eller monteres utenpå den eksisterende fasaden og senere inkluderes i TES elementet. Alt avhengig av størrelsen og funksjonen. Nivået på prefabrikasjonen bestemmes av type installasjon eller plasseringen i forhold til fasaden (Lattke et al. 2009). Installasjonen kan integreres fullstendig i elementet ved å lukke det, se Figur 15. Dette viser en høy grad av prefabrikasjon. Mens installasjonen kan monteres i et åpent element på byggeplassen, eller på eksisterende fasade, og dekkes til med et TES element. Noe som gir en lavere grad av prefabrikasjon på elementet, se Figur 16 (Johansen, 2012).



Figur 15. Integrert i element (Lattke et al. 2009).



Figur 16. Montert på fasade (Lattke et al. 2009).

Det skilles mellom installasjonssoner og kanal ganger i elementene. Installasjonssoner er områder på en fasade der rør eller kabler er festet direkte på den eksisterende vegg. Kanal ganger er separate avdelinger for rør med større diameter (Lattke et al. 2009). Elementet vil påvirkes av orientering og plassering av installasjoner. Større kanaler og rørføringer vil som regel best orienteres vertikalt i elementet. Dette på grunn av at det ikke er mulig å føre rør med store dimensjoner på tvers av stenderverket. Elementet vil da miste for mye styrke og stivhet. Egne vertikale elementer bør derfor benyttes til installasjoner med store dimensjoner. Mens mindre installasjonssoner kan gå både horisontalt og vertikalt i elementet (Johansen, 2012).

Dersom de tekniske installasjonene tar opp for mye plass i elementet, kan dette føre til en lavere U-verdi eller kuldebro. I forbindelse med smartTES prosjektet er det satt krav til energieffektivitet ved rehabilitering med TES elementer. Derfor er det viktig å undersøke slik at et element ikke har for store kuldebroverdier eller tap i U-verdi på grunn av installasjonene. Dette kan også sikres ved hjelp av isolasjon med en høyere varmemotstand, for eksempel vakuumpanel, eller ved å øke tykkelsen på isolasjonslaget slik at elementet også blir tykkere (Johansen, 2012).

4.2 Solskjerming

Noen ganger er det behov for å redusere solinnstrålingen i bygninger for å verne beboerne fra overoppvarming og blanding. Det er derfor aktuelt å se på muligheter for å inkludere solskjermingstiltak i TES elementene.

4.2.1 Varmeabsorberende glass

Som et alternativ til tradisjonell solskjerming som fasadeutspring, persiener, gardiner og lignende, kan varmeabsorberende glass benyttes. En vesentlig del av solvarmen utenfor det synlige området kan absorberes i glasset dersom det benyttes tilsetninger. Dette gir en redusert transmittans for lys, slik at glasset ser ut som det er farget. En ulempe med varmeabsorpsjon er at glasset får høy temperatur med stor sekundær varmeavgivelse som gir temperatursvingninger. Denne løsningen fungerer derfor kun dersom den absorberende ruten er ytterst. Økning av refleksjonen kan derfor være en bedre løsning. Med bruk av ulike metallbelegg på glasset kan man oppnå selektiv refleksjon. Det ideelle vil være belegg som reflekterer stråling med bølgelengder over det synlige området. En annen måte er å benytte fotokromatiske glass for å skjerme mot stor solinnstråling. Ved bruk av disse glassene får solstrålingen en kjemisk prosess som gjør at glasset blir mørkere og slipper gjennom mindre sollys. Glasset går tilbake til sin normale tilstand når sollyset forsvinner (Novakovic et al. 2007).

4.2.2 Smarte vinduer

Smarte vinduer er vinduer som skifter lystransmisjon når det påføres en spenning over den. Slik kan vinduene benyttes til å kontrollere hvor mye lys og varme som slipper gjennom vinduet (Wikipedia, 2013). Smarte vinduer er mulig å integrere i fasadeelementet for å redusere solinnstrålingen. Disse vinduene kan endre egenskaper i form av solfaktor og overføring av stråling i solspektret som respons på en elektrisk strøm eller av skiftende miljøforhold. Anvendelsen av slike vinduer kan føre til en dramatisk reduksjon av energiforbruket ved å redusere kjøling, oppvarming og elektrisk belysning (Baetens, Jelle & Gustavsen, 2009). Smarte vinduer kan integreres i fasadeelementet på lik linje med vanlige vinduer, og likevel gi et redusert behov for solskjerming. Potensialet for å erstatte tradisjonelle vinduer med elektronisk styrte persienner med smarte vinduer er stort. Smarte vinduer bruker mindre energi, og gir en gradvis skjerming fra solen (Syrrakou, Papaefthimiou, Skarpentzos & Yianoulis, 2005).

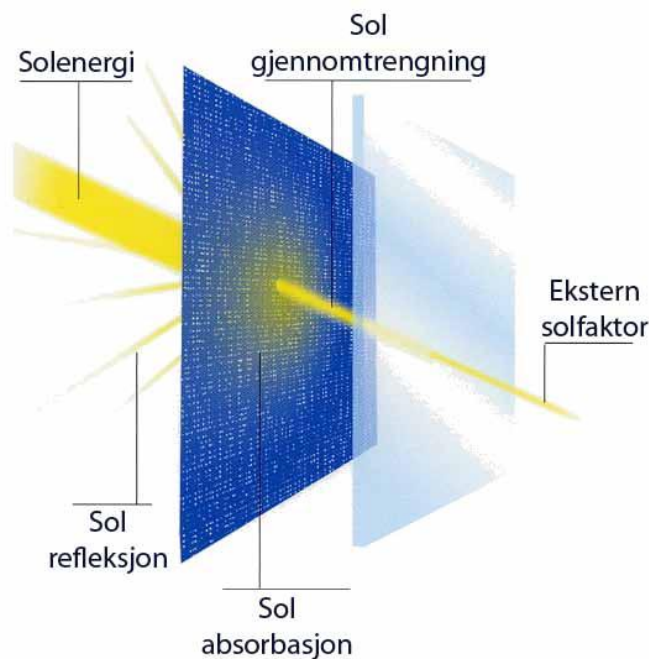
4.2.3 Regulerbare solskjermingsprodukter

I forhold til bruk av regulerbare solskjermingsprodukter er det tre måter å gjøre dette på. Enten ved bruk av innvendig-, mellomliggende- eller utvendig skjerming. Erfaringer viser at innvendig skjerming ikke er effektiv nok for å hindre overoppvarming i byggene, og derfor er utvendig solskjerming å foretrekke. Grunnen til dette er at ved bruk av innvendig skjerming så slipper all solvarmen inn i bygget før den er reflektert, og dette kan bidra til overvarme i rommet (Bryn, Petersen, Karlsen & Gedsø, 2012).

Fordelen med utvendig solskjerming er at solstrålene blokkeres før de kommer inn i bygningen eller konstruksjonen. Dersom man skal vurdere produkter som benyttes til solskjerming, vil utvendige persienner, screen eller markiser være mest hensiktsmessig for boligblokker. Persienner og screen vil være betydelig mer effektiv enn bruk av markiser, etter som de har en mye lavere solfaktor. Screen fremstilles som det mest effektive produktet, mens differansen til persienne er minimal (Standard Norge, 2011).

4.2.4 Screen

Screen er et moderne solskjermingsprodukt i form av en utvendig rullegardin med perforert duk i en kassett, og illustreres nedenfor ved hjelp av Figur 17. For å holde bunnlisten på plass er det skinner på begge sidene. Dette gjør at duken er stram i ulike posisjoner. Hensikten med bruk av screen er å stenge sollys og varme ute samtidig som man beholder utsikten i kombinasjon med skjermet innsyn. Fordelene med å benytte seg av screen i forhold til andre solskjermingsprodukter er at designet er mer moderne, produktet er mindre ømfintlig for vind, krever mindre vedlikehold og det er mulig å beholde utsikten (Kristiansen, 2011). Screenen kan reguleres med snor, sveiv eller motor, og den kan også utstyres med sol- og vindautomatikk (Norsol AS, udatert).



Figur 17. Egenskaper screen duk (Norsol AS, udatert).

4.2.5 Persiener

Utvendige persiener stopper varmen før den kommer inn i rommet. På den måten oppnås et lavt varmeinnslipp i bygget. Persiennene kan også kontrollere lysfordelingen og eliminere blinding uten å hindre ventilasjon. Utvendige persiener gir brukeren stor fleksibilitet. Persiennene kan heves og senkes etter behov, og vinkelen på lamellene kan reguleres for at naturlig dagslys kan slippe inn etter ønske fra brukeren. Dette kan styres ved hjelp av fjernstyring innenfra, enten manuelt eller med motor. Fordeler ved bruk av persiener er at effektiv varme holdes ute, bedre arbeidsmiljø ved lavere innetemperatur, persiennene kan sammenkobles opp til 20 m² noe som gir lavere total kostnad, god bestandighet mot vær og vind, fungerer lyddempende mot for eksempel trafikkstøy, god solskjermingsfaktor, lave investeringer og driftskostnader på klimaanlegg, godt utsyn og lysinnslipp samt hindrer innsyn, kan benyttes til blinding og produktet har svært lang levetid (Kjells markiser, udatert). Figur 18 viser eksempel på persiener i aktivert stilling som reduserer solinnslipp i bygningen.



Figur 18. Aktiverte persiener (Kjells markiser, udatert).

4.2.6 Persienne vindussystemer

Det eksisterer også persiennesystemer som kan integreres i fasaden. Dette er spesielle sammensatte varmeisoleringsystemer som sikrer overholdelse av de energibesparende forskriftene fra 2009. De eksterne persiennene som brukes består av en velprøvd og stødig teknologi som sikrer lang tids bruk av systemene. Det er enkelt å integrere systemet i fasaden, og innsektskjerm kan lett monteres eller ettermonteres (Warema Renkhoff SE, udatert). Motor for styring av systemet er innebygd i toppen av persiennen. Slik er det kun nødvendig å tilføre strøm til systemet for at det skal fungere (Rune Klemetsen, e-post, 8. mars 2013). Integrerte persiennesystemer illustreres av Figur 19.



Figur 19. Persiennesystemer integrert i fasaden (Warema Renkhoff SE, udatert).

4.3 Ventilasjonsanlegg

Ofte er det ønskelig å oppgradere ventilasjonsanlegget ved rehabilitering av en eksisterende bygning. Dette kan gjøres ved å integrere ventilasjonskanaler i TES elementer som monteres utenpå den eksisterende fasaden, noe som gir en gunstig løsning. I den forbindelse er det mange utfordringer som må behandles. Ved integrering av ventilasjonskanaler i fasadelementer er det best med minst mulig kanaldimensjon. Dette på grunn av at det ikke er anbefalt eller mulig å ha store ventilasjonskanaler på tvers av stenderverk, da dette vil redusere styrken til elementet. Større kanaler og rørføringer vil derfor ofte plasseres vertikalt i elementer, og derfor er det gunstigst å benytte vertikale elementer for rørføringer av større dimensjoner. Med tekniske installasjoner som tar for stor plass i elementet kan det oppstå problemer på grunn av lavere U-verdi eller kuldebro. Dette vil undersøkes senere i kapittel 8.2, der WUFI beregninger avdekker fuktrisikoen ved integrerte ventilasjonsanlegg i fasadelementer. Ved rehabilitering kan det også oppleves begrensinger i utformingen av ventilasjonsanlegget, både med tanke på den eksisterende bygningen og fasadelementene som skal monteres utenpå den eksisterende fasaden (Johansen, 2012).

5 Nordahl Bruns gate

I dette prosjektet blir det sett nærmere på ett aktuelt rehabiliteringsprosjekt, Nordahl Bruns gate. Fasadeelementer for bygget blir formet ut i fra aktuelle problemer og utfordringer.

Rehabiliteringsprosjektet i Nordahl Bruns gate i Drammen er en av seks boligblokker i teglstein som utgjør et tiltalende og helhetlig miljø som ellers er preget småhus. Området er preget av typisk blokkbebyggelse fra etterkrigstiden, med en fortetting i senere tid. Boligblokkene har saltak med takoppløft, og er plassert i rekker med avtrapping etter terrenget. Blokken ble bygd på 1950 tallet, og er oppført i betong med en teglsteinsfasade. I dag har bygget et høyt energiforbruk, og leilighetene benytter stort sett strøm til oppvarming. Få leiligheter har vedovn. Det er lite varmesolasjon i ytterveggene, og det er mange kuldebroer som gjør bygningen svært utsatt for kondensering (Lie & Winsvold, udatert).

Målet med rehabiliteringen er å heve det arkitektoniske preget på prosjektet, og bidra til å øke boligområdets kvaliteter gjennom lave klimagassutslipp, ekstremt lavt energibehov, gjøre blokken dels selvforsynt med energi, bruke miljøvennlige materialer, lite transportbehov og universell utforming. Prosjektet skal være et forbilde og en inspirasjon for rehabilitering av lignende boligblokker, hvor det å bygge på/utvide boligarealet bidrar til å gjøre det økonomisk lønnsomt å rehabilitere opp til passivhusstandard. Samtidig er det viktig å ha en intensjon om at bygget skal være selvforsynt med energi i et årsperspektiv (Lie & Winsvold, udatert). Utvidelse av boligblokkens areal er ønskelig i form av et økt antall kvadratmeter og flere salgbare leiligheter. Dette kan bidra til å delfinansiere rehabiliteringen (Norges Eiendom & Skanska Norge, udatert).

Eksisterende bygning vil kles og etterisolereres ved hjelp av en utvendig ”jakke”. ”Jakken” bygges helt inntil eksisterende vegger på tre av sidene, mens den trekkes ut mot vest for å gi plass til en ny svalgang med nye trappe- og heissjakter og mer boareal. På den måten får man en utvidelse av den eksisterende bygningskroppen. Eksisterende trappesjakter blir inkludert i boligarealet. Det bygges to nye etasjer med prefabrikkerte treelementer på toppen av byggene, slik at byggene blir på 5 fulle etasjer (Nordahl Bruns, 2012). Figur 20 illustrerer den nye fasadeutformingen etter rehabilitering av boligblokken med den nye svalgangen i front.



Figur 20. Illustrasjon av Nordahl Bruns gate etter rehabilitering (Nordahl Bruns, 2012).

6 Fasadelement for Nordahl Bruns gate

Her vil fasadelementer for sørfasaden til Nordahl Bruns gate planlegges og formes. Fasaden vil bestå av to hovedtyper fasadelementer. Både elementer som festes direkte på den eksisterende fasaden og frittstående elementer som følge av utvidelse av østfasaden. I tillegg vil det benyttes frittstående elementer i de to ekstra etasjene som bygges på toppen av boligblokken. Figur 21 viser et tidlig forslag til utforming av sørfasaden for Nordahl Bruns gate. Siden det ikke forelå endelige tegninger til riktig tid, ble det tatt utgangspunkt i en av de siste versjonene. Endringer i tegningene går stort sett ut på forskjellig utforming av balkonger i vestfasaden, altså på venstre side av figuren under. Dessuten er ikke den øverste inntrukne etasjen tegnet inn på figuren under. Denne etasjen vil være tatt hensyn til videre i oppgaven. I det videre arbeidet er det valgt å benytte en versjon der balkongene ikke er innebygd, slik de er på fasadetegningen under. Derfor vil denne være forskjellig fra de videre tegningene og beskrivelsene. Likevel er Figur 21 ment som illustrasjon for hvordan fasaden opprinnelig ble tenkt utformet.

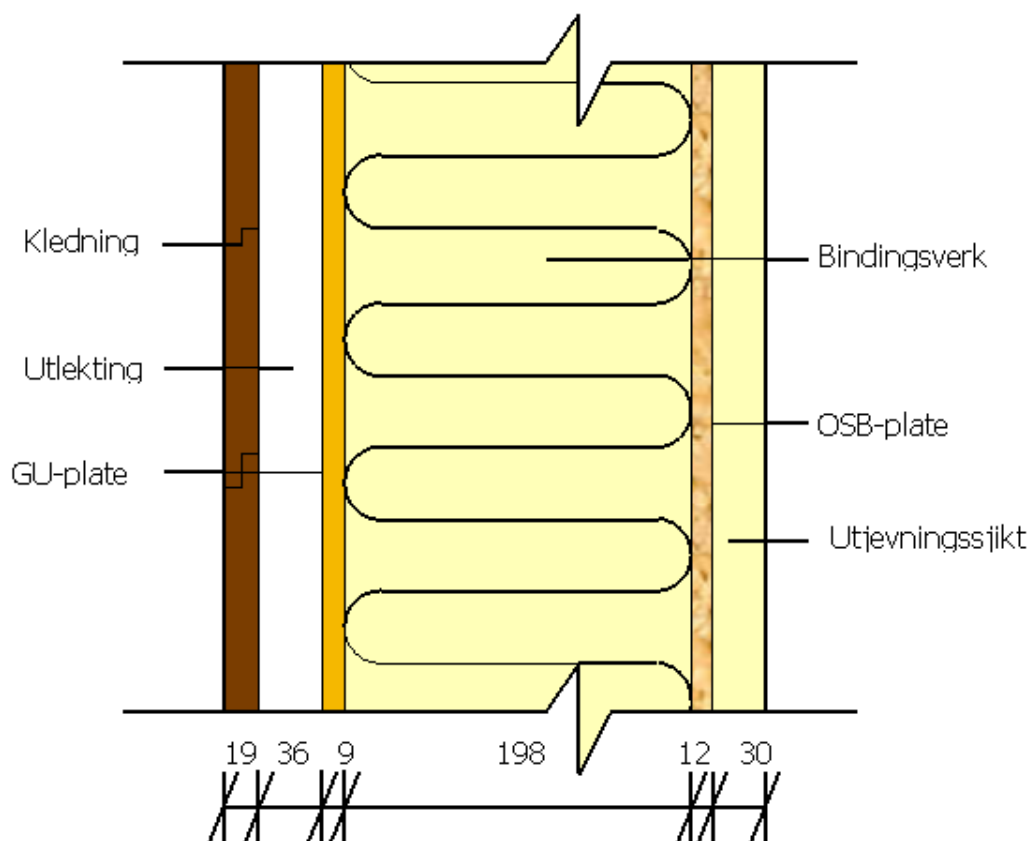


Figur 21. Versjon av utforming av sørfasaden på Nordahl Bruns (Nordahl Bruns, 2012).

6.1 Utforming av elementer

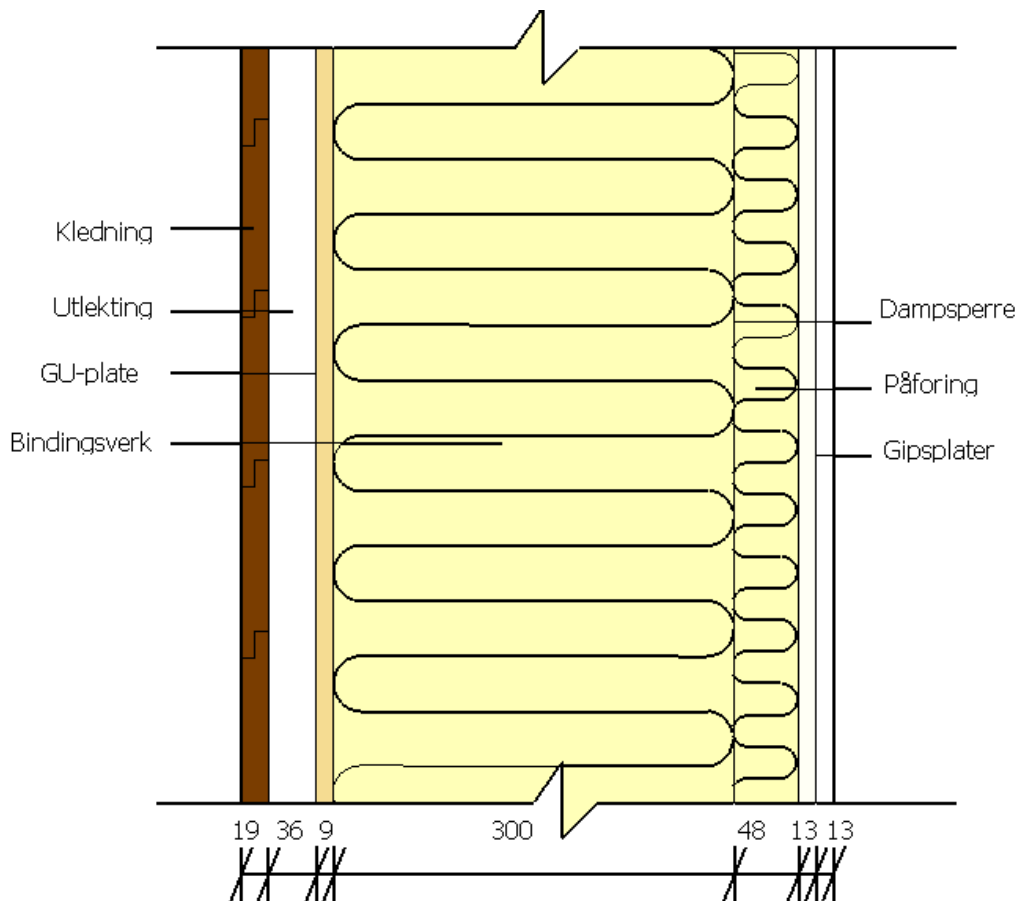
Den eksisterende fasaden består av 230 mm helsteins teglsteinsvegg, luftspalte på 25 mm og 100 mm gassbetong, hvor teglsteinsfasaden er det bærende sjiktet i ytterveggskonstruksjonen. Mens etasjeskillene er laget av 140 mm betong (Runar Bekkhus, e-post, 5. mars 2013). Kravet til U-verdi for yttervegg i passivhus er $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller mindre (Standard Norge, 2010). Derfor må tykkelsen til TES elementet justeres slik at det sammen med den eksisterende veggen oppnår U-verdi kravet. Etter beregning av U-verdi for ytterveggen, ble tykkelsen på fasadelementet utenpå den eksisterende fasaden satt til minimum 200 mm. Mens tykkelsen for det frittstående elementet må være minimum 320 mm. Se vedlegg 2 for utregning av U-verdiene.

Fasadeelementet som plasseres utenpå den eksisterende fasaden i Nordahl Bruns gate blir derfor bestående av utvendig luftet kledning, vindsperre i form av GU-plate og rullprodukt, bindingsverk med isolasjon, OSB-plate og utjevningssjikt. Dette elementet festes så direkte på den eksisterende fasaden. Nødvendig tykkelse på isolasjonslaget var 200 mm, derfor passer det godt med 198 mm bindingsverk med 200 mm isolasjon. Figur 22 viser snitt og oppbygning av et fasadeelement som festes på den eksisterende fasaden.



Figur 22. Snitt av element som monteres på eksisterende fasade.

Mens det frittstående fasadeelementet er bygd opp av utvendig luftet kledning, GU-plate og rullprodukt som vindsperre, bindingsverk med isolasjon, dampsperre, innvendig påforing og innvendig kledning. Kravet til tykkelse på det frittstående elementet var 320 mm. Derfor kan det være hensiktsmessig å benytte 300 mm konstruksjonsvirke, for eksempel K-bjelke, med en 48 mm påforing på innsiden. Noe som totalt vil gi 350 mm isolasjon i elementet. Figur 23 viser oppbygningen av et frittstående fasadelement.



Figur 23. Snitt av frittstående element.

6.2 Lastbæring

Ved montering av fasadeelementene utenpå den eksisterende fasaden på Nordahl Bruns gate, er det viktig å ta hensyn til den nye situasjonen med lastbæring. Dette vil kreve en grundig undersøkelse av de eksisterende forholdene, samt detaljerte statiske beregninger. Videre kan det også være aktuelt å gjøre andre endringer i prosjektet som kan endre bæreevnen til den eksisterende bygningen. I Nordahl Bruns gate er ytterveggene lastbærende, og det er antatt at denne konstruksjonen vil tåle opp til to nye boligetasjer utover det opprinnelige etter korrigering for oppdaterte lastbilder for natur- og nyttelaster. Dette forutsatt at nye etasjer er lette konstruksjoner (RuBe, 2011). På bakgrunn av dette forutsettes det i denne oppgaven at ytterveggene har tilstrekkelig kapasitet til å tåle tilleggsbelastning fra de nye fasadeelementene. I kapittel 3.3.7 ble fire ulike lastbærende situasjoner presentert. En vurdering gjort ut i fra disse og forhold tilknyttet det aktuelle prosjektet viser at situasjon B fra Figur 9, der elementene monteres etasjevis inn i veggen, vil være den mest aktuelle løsningen.

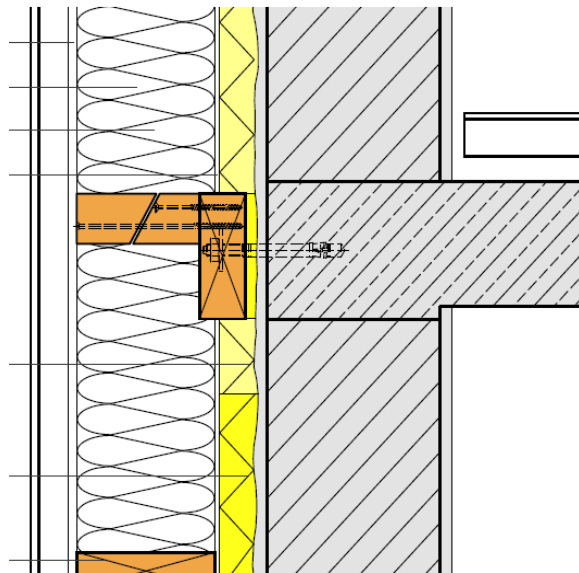
6.3 Forankring av elementer

Selv om lastsituasjonen ikke blir utredet i denne rapporten, vil metode velges og beskrives for å få en gjennomført utforming av elementene.

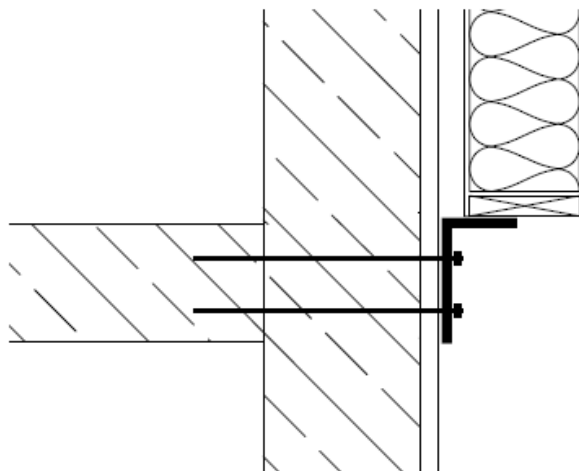
Som tidligere nevnt er det anbefalt at hvert fasadeelement festes til den eksisterende bærekonstruksjon, for at det ikke skal overføres krefter fra et element til et annet, se kapittel

3.3.8. Derfor vil dette være en ønskelig situasjon i forbindelse med planleggingen av elementer for Nordahl Bruns gate, da det gir en ryddig lastsituasjon og gir mindre usikkerhet tilknyttet hensyn til krefter eller bevegelser som overføres til/fra tilstøtende elementer (Time, 2013). Det er viktig med en enkel lastsituasjon etter som det ikke gjøres noen statiske beregninger i denne oppgaven. Dette gjør at det er mindre krefter å ta hensyn til gjennom planleggingen av detaljen, siden lastsituasjonen er vurdert slik at kreftene kan tas opp på riktig sted. Dessuten øker dette sjansen for at løsningene blir riktige, og at tilpasningene blir minimale.

Fasadeelementet kan festes til en betongvegg med vinkelstål/stålvinkler og ankre/skruer. Det er derfor antatt at dette også vil være mulig for teglstein, men med små tilpasninger. Antall festepunkter må dimensjoneres og beregnes før montering, og inngår ikke i denne oppgaven. Dersom det i tillegg benyttes slisser i vinkelstålet ved innfesting blir usikkerheten med hensyn på eventuelle tvangskrefter redusert (Time, 2013). Figur 24 og Figur 25 viser utvendig innfesting av fasadeelementet, både i etasjeskiller og i avslutningen av elementet.



Figur 24. Innfesting av TES elementet til eksisterende fasade i etasjeskiller (Lattke et al. 2009).

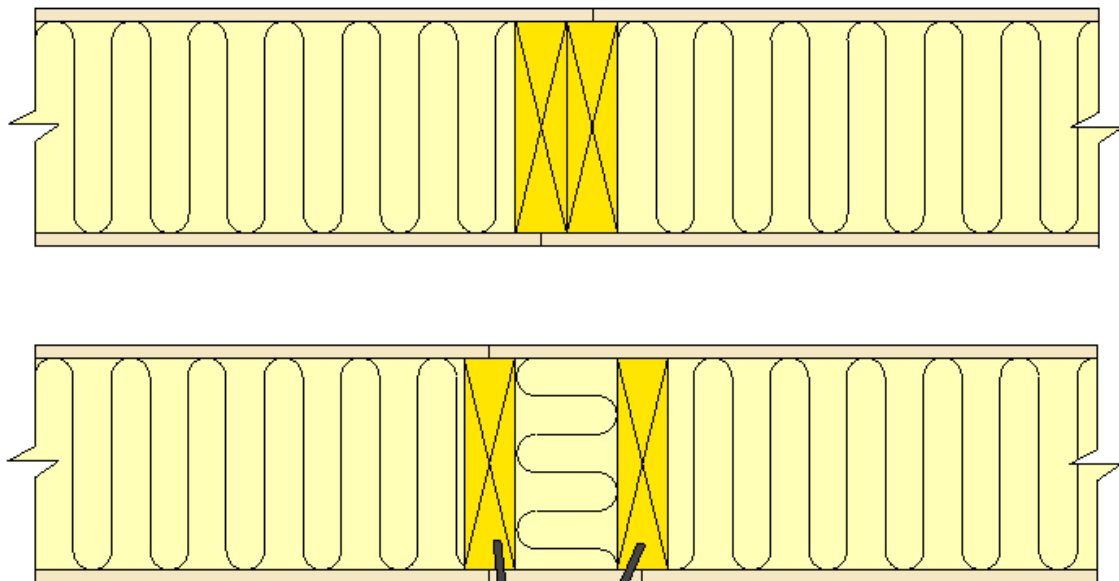


Figur 25. Innfesting av TES element i bunnen av bygget (Lattke et al. 2009).

Det er disse prinsippene som vil benyttes ved utvikling av innfestingsløsning for Nordahl Bruns gate. De må likevel tilpasses situasjonen, da det er teglsteinsfasaden som er bærende for den eksisterende konstruksjonen. Dette krever en annen utforming av innfestingen enn de som er vist over, etter som teglsteinen ikke har samme egenskaper som betongen. Uansett vil det benyttes stålvinkler for innfesting i bunnen av elementene. Disse kan festes med bolter inn i konstruksjonen. Mens innfesting av toppen vil gjøres ved å skru elementene sammen med lange treskuer. Dette er bedre beskrevet og vist i kapittel 7.2 og 7.5.

6.4 Sammenføyning av elementer

I kapittel 3.3.9 beskrives viktigheten av god sammenføyning av elementene, for at problemer ikke skal oppstå. For å tilfredsstille de faktorene som er nevnt, anbefales det at sammenføyning av elementene skjer ved å lage en Z utforming av elementene sett i horisontalt snitt, se nederste element i Figur 26. På denne måten unngås en udefinert fuge, som oppstår dersom elementene settes rett mot hverandre som vist i øverste element i Figur 26. I en udefinert fuge har man ikke kontroll over tettingen mellom elementene. Selv om denne Z-løsningen vil være dyrere, er det likevel tjent på grunn av at den er den eneste løsningen som tar hensyn til passivhuskravet, gjennom å sørge for en optimal og tett skjøt. Det er viktig at stenderne ikke settes helt sammen, slik som det øverste elementet viser. Overflaten på stenderne vil aldri passe helt sammen, og det vil medføre luftgjennomgang. På den måten vil varmegjennomgangsarealet gjennom stenderne bli udefinert, siden det er uvisst hvor mye luft som ligger mellom stenderne. Dessuten er det større fare for luftlekkasjer med bruk av denne løsningen. Den nedre løsningen gir bedre lufttetting og varmeisolering av sammenføyningen. Videre sørger denne sammenføyningen for at kuldebroen gjennom elementet blir mindre, da treverket ikke lengre er i kontakt med hverandre (Holger Halstedt, samtale, 19. april 2013). Tetting av elementskjøter gjøres ofte ved klemming av remser med vindsperrmateriale (Johansen, 2012), og vil også benyttes her både i horisontale og vertikale skjøter.



Figur 26. Sammenføyning av elementer.

Sammenføyningen er planlagt ved at stenderne avsluttes ett stykke fra hverandre, 5-10 cm er tilstrekkelig. Mellomrommet mellom stenderne fylles så med isolasjon, mens en vindsperreplate legges utenpå mellomrommet og festes i stenderne. Deretter vil en remse av vindsperrerullproduktet fra det ene elementet dras over skjøtene og klemmes mot vindsperreplaten og stenderen.

6.5 Bygningsfysikk

Fasadeelementene for rehabilitering av Nordahl Bruns gate er planlagt med luftet kledning. Dette sikrer drenerende og ventilerende lag slik at elementet har mulighet for uttørking av fukt som kan trenge på baksiden av ytterkledningen. I tillegg vil montering av TES elementet gi bedre fukt- og varmekonforhold på den eksisterende fasaden. TES elementet er vindsikkert med vindsperre av GU-plate og rullprodukt.

På innsiden av fasadeelementet vil en OSB-plate benyttes som dampbrems. Denne sikrer gode fuktforhold ved at fuktig luft ikke kan trenge inn i fasadeelementet, samt at konstruksjonen har mulighet for å tørke både utover og innover. Det eksisterer ikke dampsperre i den opprinnelig konstruksjonen, og heller ikke innvendig isolasjon. På den måten vil det ikke oppstå kondensproblemer i sjiktene mellom dampsperran og OSB-platen. Det vil heller ikke være fare for kondensering da hele isolasjonslaget i den nye konstruksjonen vil ligge utenfor dampbremsen.

For å bedre varmetapet i Nordahl Bruns gate er det aktuelt å skifte ut både eksisterende vinduer og dører. Det er antatt at disse ikke vil tilfredsstillere passivhuskravene. Krav til vindu og dører i passivhus er bedre eller lik $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Standard Norge, 2010). Videre vil det nok være gunstig å montere vinduene direkte i de nye elementene, da det ikke er anbefalt å beholde den eksisterende vindusplasseringen. Dette på grunn av at utvendig isolering av eksisterende konstruksjon uten at vinduene flyttes kan føre til kuldebroer ved vinduskarmene. I tillegg vil det kreve gode beslag for å unngå lekkasjer (SINTEF Byggforsk, 2003b).

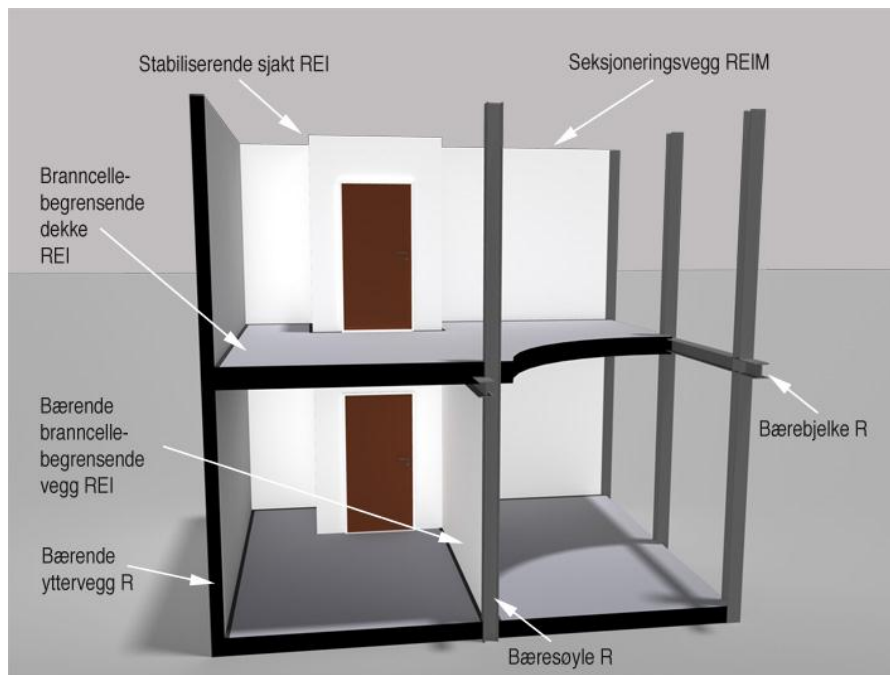
6.6 Brannsikkerhet

Det er viktig at elementene tilfredsstillere krav til brannsikkerhet. Derfor må det gjøres en kartlegging på hvilke krav som stilles til konstruksjonen i Nordahl Bruns gate, slik at elementene i størst mulig grad kan oppfylle disse.

Bygninger deles inn i risikoklasser ut i fra den trussel en brann kan innebære for skade på liv og helse (TEK 10, 2010). Ut i fra bestemmelser i TEK 10 havner Nordahl Bruns gate i risikoklasse 4.

Videre skal byggverk, eller ulike deler av byggverk plasseres i brannklasser ut i fra den konsekvens en brann kan innebære for skade på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljø. Brannklassene legges til grunn for prosjektering og utførelse for å sikre byggverkets bæreevne og lignende ved brann (TEK 10, 2010). Siden Nordahl Bruns gate har risikoklasse 4 og det er planlagt 5 etasjer, vil bygget ha brannklasse 3 (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011).

Brannmotstanden til bygningsdelene gir et uttrykk for hvor lang tid bygningsdelen kan beholde sine vesentlige ytelser som bæreevne, integritet (tetthet) og isolasjonsevne. Tiden angis så i minutter (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011). Figur 27 viser eksempler på definisjoner på brannmotstand for bygningsdeler.



Figur 27. Angivelse av bygningsdeleres aktuelle ytelser knyttet til brannmotstand (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011).

De ulike bygningsdelene har gitte kriterier som de må oppfylle, betegnet ved R, E og I (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011):

- R, lastbærende evne, er definert som en bygningsdels evne til å motstå brannpåkjenningen på en eller flere sider i den aktuelle tidsperioden, uten at den mister nødvendig bæreevne og stabilitet, når den samtidig er påført en mekanisk last.
- E står for integritet, og er definert som bygningsdelens evne til å motstå brannpåkjenning på en av sidene, uten at brannen smitter gjennom ved gjennomtrekking av flammer eller varme gasser.
- Isolasjon, I, er definert som evnen til å motstå brannpåkjenning på en av sidene uten at brannen overføres til baksiden av bygningsdelen, som en følge av betydelig varmegjennomgang.

Kravene til brannmotstand for de forskjellige bygningsdelene i Nordahl Bruns gate er angitt i Tabell 1 under. For Nordahl Bruns gate er det kravene for brannklasse 3 som gjelder.

Tabell 1. Bærende bygningsdelers brannmotstand avhengig av brannklasse (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011).

Bygningsdel	Brannklasse		
	1	2	3
Bærende hovedsystem	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]
Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskillere og takkonstruksjoner som ikke er del av hovedbæresystem eller stabiliserende	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 60 A2-s1,d0 [A 60]
Trappeløp	-	R 30 [B 30]	R 30 A2-s1,d0 [A 30]
Bærende bygningsdeler under øverste kjeller	R 60 A2-s1,d0 [A 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]	R 120 A2-s1,d0 [A 120]
Utvendig trappeløp, beskyttet mot flammepåvirkning og strålevarme	-	R 30 [B 30] eller A2-s1,d0 [ubrennbart]	A2-s1,d0 [ubrennbart]

Siden bygget hører til i brannklasse 3, er det vanlig å forlate veiledningen og utarbeide et konsept basert på alternativ dokumentasjon med bruk av beregninger og analyse (Harald Landrø, samtale, 3. april 2013). Det finnes altså ikke noen preaksepterte løsninger for bygningsdeler i brannklasse 3. Branntekniske vurderinger må derfor utføres av en brannrådgiver. Dette ligger utenfor denne masteroppgaven. Likevel vil brannkravene til bygningen tas hensyn til gjennom utforming av elementene, slik at elementene blir så realistiske som mulig.

For Nordahl Bruns gate vil kun kravene til bærende hovedsystem behandles i denne rapporten. Den eksisterende fasaden er det bærende hovedsystemet, og kravene vil derfor knyttes opp til denne. Ut i fra tabellen over må det bærende hovedsystemet tilfredsstille kravet om R90 A2-s1,d0. Dette betyr at konstruksjonen må opprettholde sin lastbærende evne i 90 minutter under en brann. Videre betegner A2-s1,d0 et ubrennbart eller begrenset brennbart materiale (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011). Disse kravene er oppfylt, da den eksisterende fasaden består av ubrennbart materiale. For elementene som festes direkte på den eksisterende fasaden vil kun krav til kledning og overflate bli tatt hensyn til (Harald Landrø, samtale 3. april 2013).

Det er fullt mulig å benytte seg av trebaserte utvendige kledninger på fleretasjes bolighus, da den har liten innvirkning på den overordnede brannsikkerheten. Noen ganger vil kravene til forbedrede brannegenskaper for materialene som kan oppnås gjennom brannbeskyttende behandling. Det er også andre måter å begrense brannrisikoen for trefasader. For eksempel er det mulig å benytte brannbeskyttet tre, vinduer med brannmotstand og montere brannstopper i fasaden (Östman, 2012).

Utvendige overflater vil vanligvis ikke ha avgjørende betydning i det tidlige brannforløpet, med mindre bygget antennes utvendig. Videre vil det ha stor betydning for brannspredningen etter overtenning av bygget (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011). Brannkrav på fasadematerialer avgjøres av risiko for spredning av brannen. Den kraftigste branneksplosjonen kommer fra en overtent branncelle, der brannen kan spres gjennom et

vindu til fasaden, og dermed til andre brannceller i etasjene over. Den utvendige kledningen skal derfor ikke bidra til brannspredning langs eller i fasaden (Östman, 2012). Utvendig antennelse vil være en aktuell risiko i forbindelse med Nordahl Bruns gate, selv om den eksisterende konstruksjonen ikke er brennbar. Brannen kan spre seg fra innsiden av bygget og til den utvendige overflaten gjennom åpninger som vinduer og lignende. Derfor er det viktig at den utvendige kledningen på fasadeelementene tilfredsstillere kravene til brannsikkerhet. Tabell 2 viser krav til overflater og kledninger for risikoklasse 1-5 og brannklasse 1-3. Kravene oppgitt for brannklasse 3 gjelder for Nordahl Bruns gate.

Tabell 2. Ytelser til overflater og kledninger for risikoklasse 1-5 (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011).

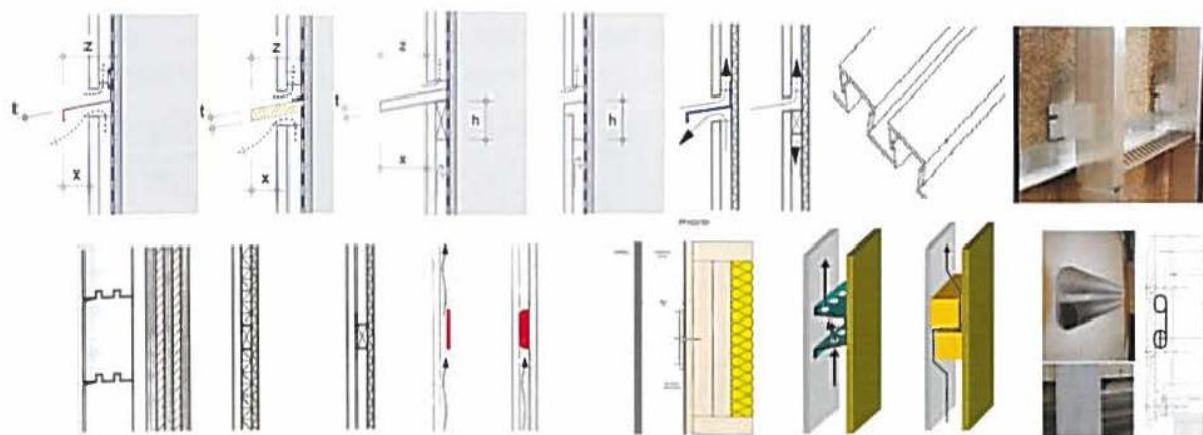
Overflater og kledninger	Brannklasse		
	1	2	3
Overflater i brannceller som ikke er rømningsvei			
Overflater på vegger og i himling/tak i branncelle inntil 200 m ²	D-s2,d0 [In 2]	D-s2,d0 [In 2]	D-s2,d0 [In 2]
Overflater på vegger og i himling/tak i branncelle over 200 m ²	D-s2,d0 [In 2]	B-s1,d0 [In 1]	B-s1,d0 [In 1]
Overflater i sjakter og hulrom	B-s1,d0 [In 1]	B-s1,d0 [In 1]	B-s1,d0 [In 1]
Overflater i brannceller som er rømningsvei			
Overflater på vegger og i himling/tak	B-s1,d0 [In 1]	B-s1,d0 [In 1]	B-s1,d0 [In 1]
Overflater på golv	D _r -s1 [G]	D _r -s1 [G]	D _r -s1 [G]
Utvendige overflater			
Overflater på ytterkledning	D-s3,d0 [Ut 2]	B-s3,d0 [Ut 1]	B-s3,d0 [Ut 1]
Kledninger			
Kledning i branncelle inntil 200 m ² som ikke er rømningsvei	K ₂ 10 D-s2,d0 [K2]	K ₂ 10 D-s2,d0 [K2]	K ₂ 10 D-s2,d0 [K2]
Kledning i branncelle over 200 m ² som ikke er rømningsvei	K ₂ 10 D-s2,d0 [K2]	K ₂ 10 B-s1,d0 [K1]	K ₂ 10 B-s1,d0 [K1]
Kledning i branncelle som er rømningsvei	K ₂ 10 B-s1,d0 [K1]	K ₂ 10 A2-s1,d0 [K1-A]	K ₂ 10 A2-s1,d0 [K1-A]
Kledning i sjakter og hulrom	K ₂ 10 B-s1,d0 [K1]	K ₂ 10 A2-s1,d0 [K1-A]	K ₂ 10 A2-s1,d0 [K1-A]

Fra tabellen over er kravet til utvendige overflater for brannklasse 3 gitt til B-s3,d0. Kledningen må altså enten være brannimpregnert tre eller trebaserte plater (Glasø, 2012). De brannbeskyttede produktene kan deles opp i to kategorier, nemlig industrielt produserte produkter og brannbeskyttelse som tilsettes på byggeplass. Det finnes flere eksempler på produkter som tilfredsstillere kravene til brannsikkerhet, og det er viktig å benytte materialer med riktige dokumenterte egenskaper (Nordiskt Brandskyddat Trä, udatert). For Nordahl Bruns gate må ytterkledningen minst tilfredsstillere kravet om B-s3,d0. Produkter med bedre egenskaper som B-s2,d0 eller B-s1,d0 er også mulig å benytte.

Brannbeskyttende behandling kan forbedre egenskapene til treprodukter slik at de oppfyller klasse B, som er den høyeste mulige brannklassen for brennbare byggeprodukter. På den måten kan synlig tre benyttes i større grad, som for eksempel som kledning på innvendig tak og vegger, og utvendig kledning på fasader. Treprodukter som er brannbeskyttet kan oppfylle krav for klasse B-s1,d0. Treets brannegenskaper påvirkes vanligvis på kjemisk vis gjennom brannbeskyttende- eller flammebeskyttende middel. Egenskapene som påvirkes er tid til antennelse, flammespredning samt varme- og røykutvikling. Brannbeskyttelse har størst

påvirkning frem til overtenning, og gir mindre beskyttelse for en fullt utviklet brann (Östman, 2012).

Brannspredning i en luftspalte bak den utvendige kledningen kan skje raskt, og konsekvensene kan bli alvorlige dersom man ikke benytter brannstopper i luftspalten. Branner i hulrom er uforutsigbare, og kan utvikles raskt. Dessuten er de vanskelig å oppdage, og oppdages ofte for sent. Det finnes to alternativer for å minske brannspredningen i hulrom bak fasaden. Enten ved å benytte brannstopp, eller gjennom å underventilere brannen. I begge disse tilfellene kan lufttette eller ventilerende brannstopper benyttes. Brannstopper i luftspalter i fasadekledningen er nødvendig i både vertikale og horisontale overganger mellom brannceller. Eksempler på vertikale og horisontale brannstopper som gir ventilasjon er vist i Figur 28 (Östmann, 2012).

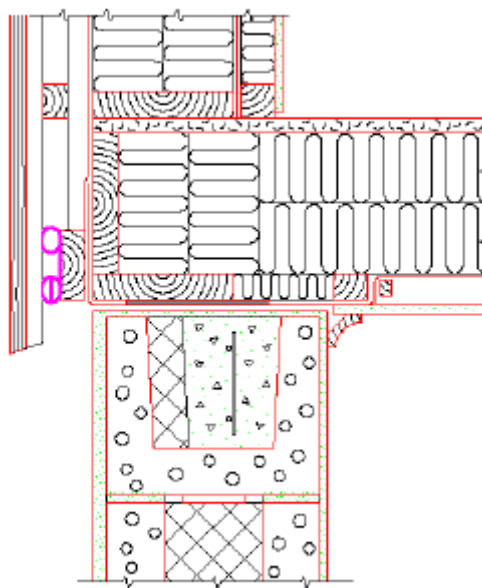


Figur 28. Eksempler på brannstopper i utvendige hulrom. Øverst: Brannfordrøyende brannstopper av metall eller tre. Nederst: Massivtre, brannsvellende lister, perforert plate, smale spalter, metallnett med brannsvellende materiale (Östman, 2012).

FB Hulromsventil er en type brannstopp som ble anbefalt å benytte i fasadeelementene i Nordahl Bruns gate. Figur 29 viser bilde av FB Hulromsventiler, mens Figur 30 viser hvordan produktet monteres i en utlektet horisontal kledning som hos Nordahl Bruns gate. Produktet benyttes til å seksjonere hulrommet under kledningen slik at brannspredningen begrenses. Ventilen tetter ikke hulrommet, men tillater nødvendig utlufting under kledningen. Ved brann vil produktet tette lufteåpningene under kledningen, og hindre en omfattende brannspredning. FB Hulromsventil kommer i flere ytelsesvarianter som EI30, EI60 og EI90. Ventilene monteres som en horisontal lekt, kant i kant med hverandre. Det er også viktig at det er full kontakt mellom FB Hulromsventil, og hele anleggsflaten både på monteringsflaten og fasadekledningen (Securo AS, udatert). For mer informasjon om produktet og monteringsanvisning, se vedlegg 3.



Figur 29. FB Hulromsventil (Securo AS, 2013).



Figur 30. Monteringsmetode i utlektet horisontal kledning (Securo AS, 2013).

Det er antatt at hver leilighet i boligblokken utgjør en egen branncelle, slik at spredning av brann til andre boenheter begrenses, og at rømning og redning sikres. Videre er det angitt at vinduer i branncellebegrensede bygningsdeler skal ha tilsvarende brannmotstand som veggen (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011). Derfor er kravet for vinduer i Nordahl Bruns gate EI 90.

Det er også viktig at det benyttes ubrennbar isolasjon i elementet, noe som vanlig mineralull tilfredsstillter. Isolasjonen må ikke bidra til uakseptabel utvikling og spredning av brann og røyk i byggverk. Derfor vil ubrennbar isolasjon som fyller konstruksjonen helt, gi den beste branntekniske løsningen og den mest robuste utførelsen (Veiledning om tekniske krav til byggverk, 2011).

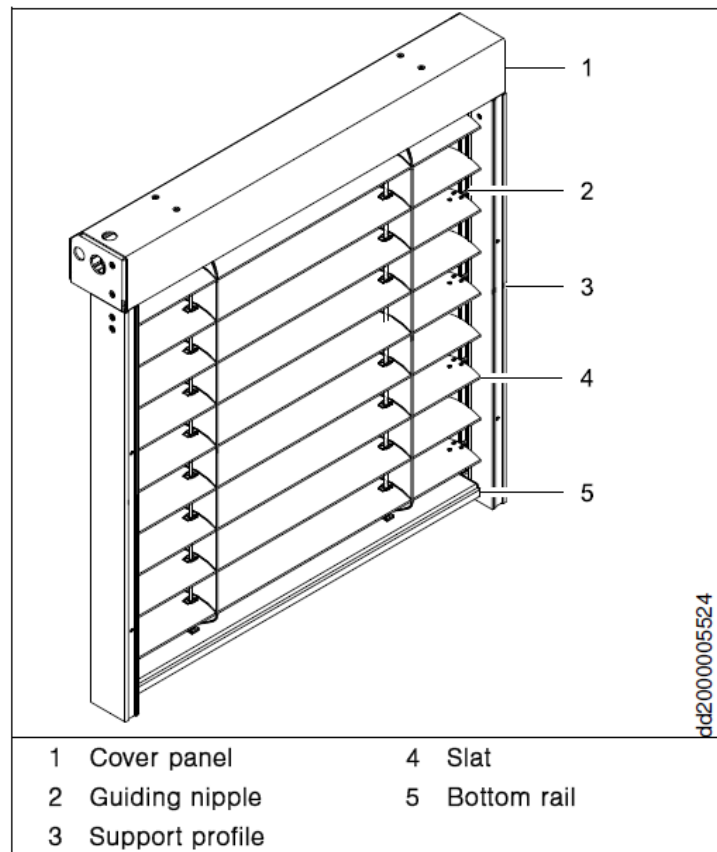
I tillegg er det viktig at føringene av strøm for solskjermingen gjennom den eksisterende fasaden blir tett skikkelig, slik at det ikke bidrar til brannspredning. Dette tilfredsstilles ved gjennomføringstetting av alle tekniske gjennomføringer (Harald Landrø, samtale, 3. april 2013).

For det frittstående elementet gjelder de samme kravene som diskutert over. For å tilfredsstille disse er det nødvendig med brannteknisk prosjektering av en branningeniør. Likevel vil den foreslåtte løsningen i Figur 23 benyttes videre i oppgaven. Det er antatt at denne tilfredsstiller kravet for REI 90, uten at det foreligger nødvendig dokumentasjon for dette. Derfor er det stor usikkerhet tilknyttet brann sikkerheten for dette elementet, og det kreves en grundig utredning og dokumentasjon før dette kan benyttes. Disse elementene er tegnet med to lag gips på innsiden for å forsterke brannmotstanden til elementet. Dette er antatt på bakgrunn av krav for vegger med REI 60 (SINTEF Byggforsk, 2008a).

6.7 Solskjerming

Integrering av solskjerming er ønskelig for fasadeelementene i Nordahl Bruns gate. Persienne vindussystemer som beskrevet i kapittel 4.2.6 er gunstig med tanke på å ivareta passivhuskrav. Dette på grunn av at persiennesystemet inneholder varmeisolasjonssystemer som reduserer kuldebroer og varmetap ved integrering av solskjermingen i fasadeelementet (Warema Renkhoff SE, udatert). Noe som er viktig å ta hensyn til, da dette området i fasadeelementet vil være mindre isolert enn områdene rundt persiennesystemet.

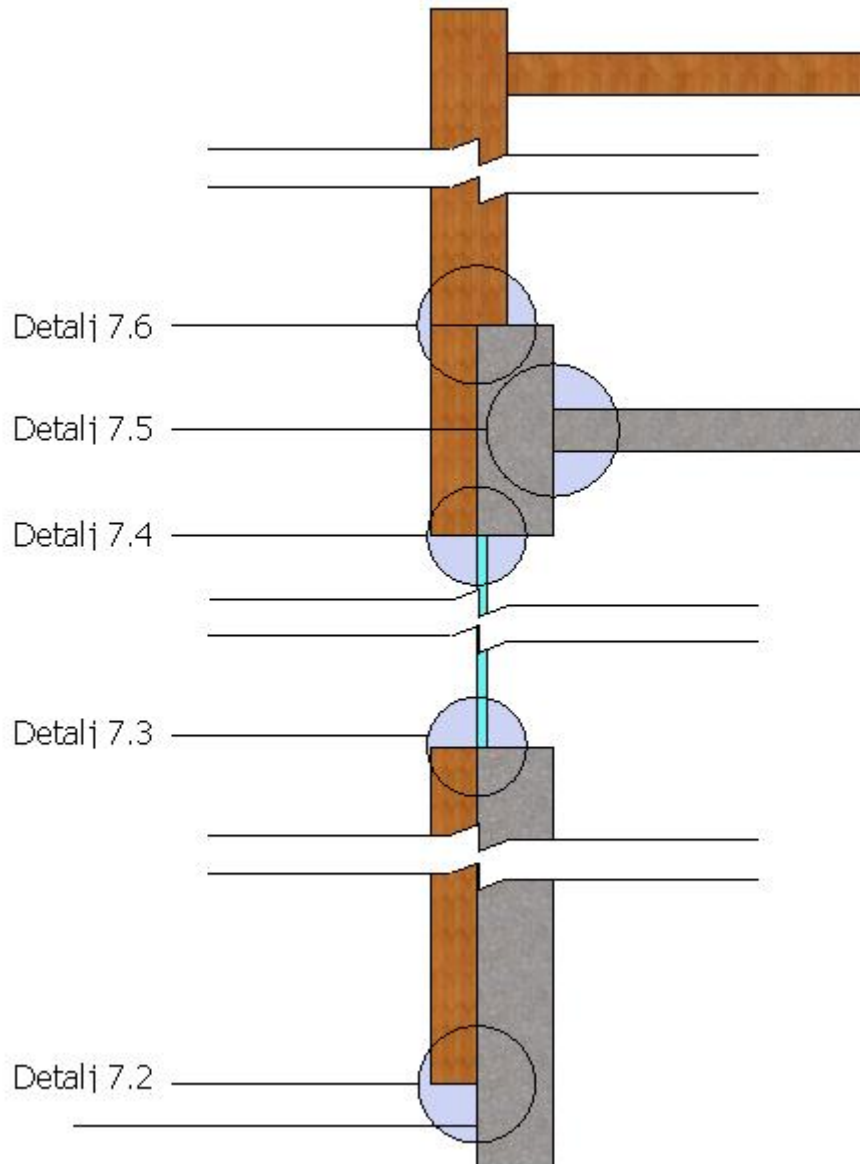
Persiennesystemet monteres sammen på fabrikken, og kan enkelt monteres rett inn i elementet. Siden motoren ligger innebygd i boksen for persiennesystemet, er det ikke behov for store tilpasninger i den eksisterende fasaden. Det er kun nødvendig å tilføre strøm, noe som kan by på utfordringer i forhold til tetting omkring kablene (Rune Klemetsen, e-post, 8. mars 2013). Persiennesystemet kan enkelt frigjøres for vedlikehold eller reparasjon selv om den er innebygd. Persiennene henger i bøylor som gjør det lett å demontere persiennen (Rune Klemetsen, e-post, 2. april 2013). Under viser Figur 31 en oversikt over deler som inngår i persienne vindussystemet. Dette systemet er valgt for fasadeelementene i Nordahl Bruns gate, og videre vil eksempler på integrering av denne typen solskjerming illustreres. Vedlegg 4 viser monteringsanvisning for integrert solskjerming.



Figur 31. Oversikt over persienne vindussystemet (Warema Renkhoff SE, 2012).

7 Utforming av fasadeelement

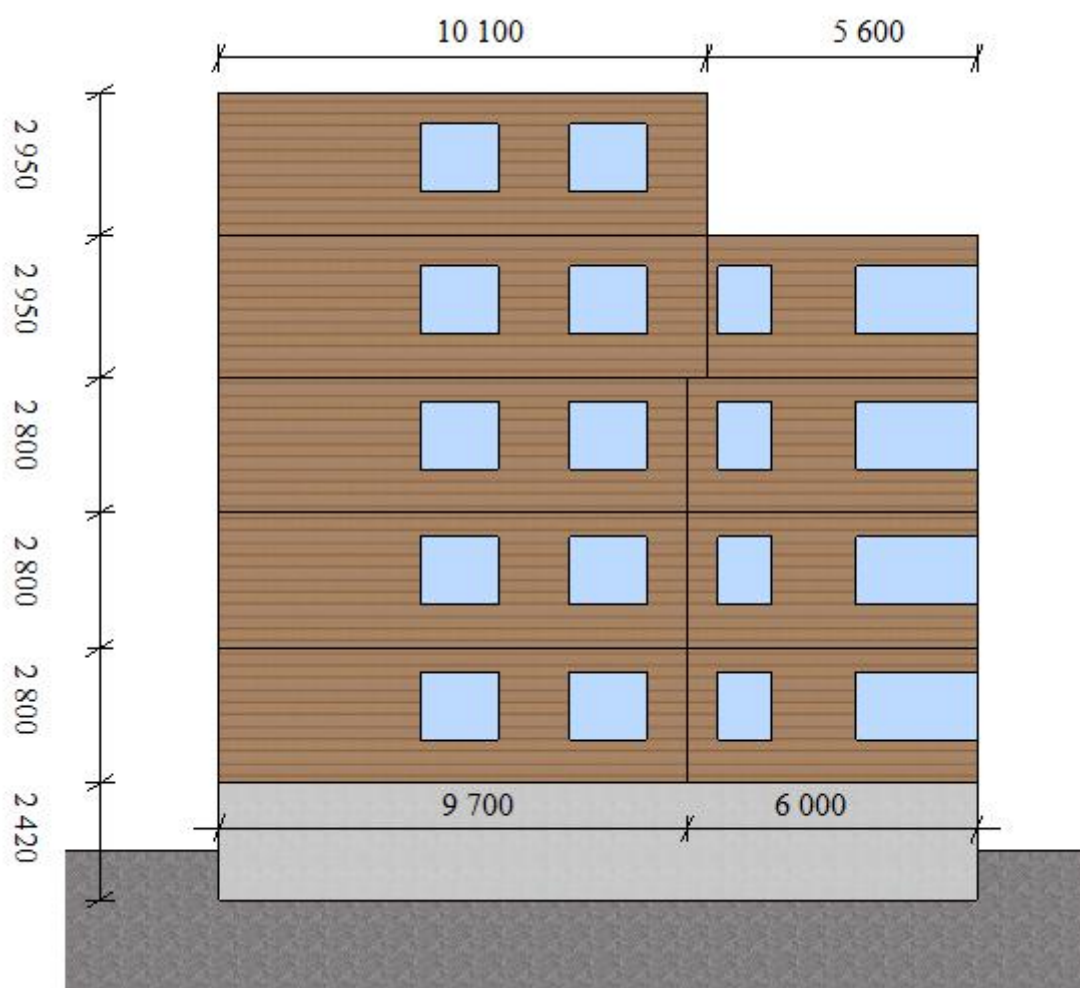
Her vil illustrasjoner av detaljer i forbindelse med montering og utforming av fasadeelementene vises og beskrives. Nedenfor viser Figur 32 en oversikt over plasseringen av en del av detaljene, som illustreres og forklares senere i dette kapitlet.



Figur 32. Oversikt over plassering av detaljer.

7.1 Inndeling av fasaden

Oppgaven er konsentrert om kun å utrede elementer for en av fasadene for det aktuelle rehabiliteringsprosjektet. I den sammenheng er sørfasaden for Nordahl Bruns gate valgt. Figur 33 illustrerer et forslag til inndeling av fasaden ut i fra tekniske utforminger og krav til materialene i fasadeelementet. De to øverste etasjene og påbygget på siden består av frittstående treelementer. Inndelingen baserer seg på at lengden på elementene ikke kan overskride 3,8x12 m (Lattke et al. 2009). Alle mål på figuren nedenfor er oppgitt i mm.



Figur 33. Inndeling av sørfasaden til Nordahl Bruns gate.

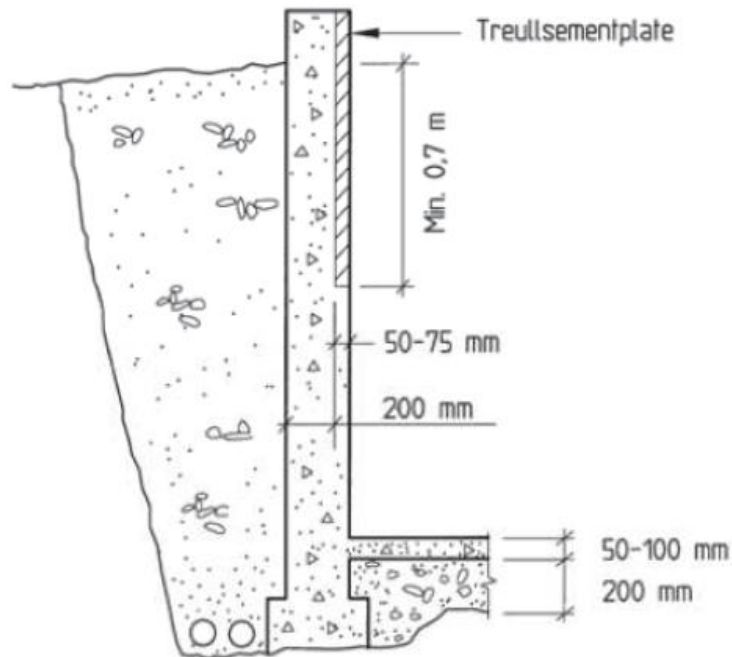
Linjene på tegningen viser inndeling av elementene. Overgangen mellom elementene vil ikke vises i det endelige bygget, da alle skjøter vil kles igjen etter montering. Dette er beskrevet nærmere i kapittel 7.9.

Siden endelige tegninger for Nordahl Bruns gate mangler, er det tatt utgangspunkt i tidligere versjoner og forslag. Disse mangler en del målsetting, slik at utformingen av fasaden er basert på antagelser. Vindusmålene på fasaden var heller ikke målsatt. Disse måtte vurderes ut i fra standardmål, og beregning av mål basert på forholdstall fra tegningene.

7.2 Innfesting av element i bunn

I forbindelse med fundamenteringen av bygget er det antatt grunnmur av betong. Dette kommer av at byggeforskriften av 1949 ga krav om frostfri kjeller, vegger til frostfri dybde, forbud mot tegl i grunnmur mot terreng, krav til minstetykkelse på murer, og betonghullstein ble lovlig, se Figur 34. Samt at for boligblokker mellom 1945 – 1955 var det vanlig med teglvegger, armerte betongdekker og kjellermur og fundament i armert betong.

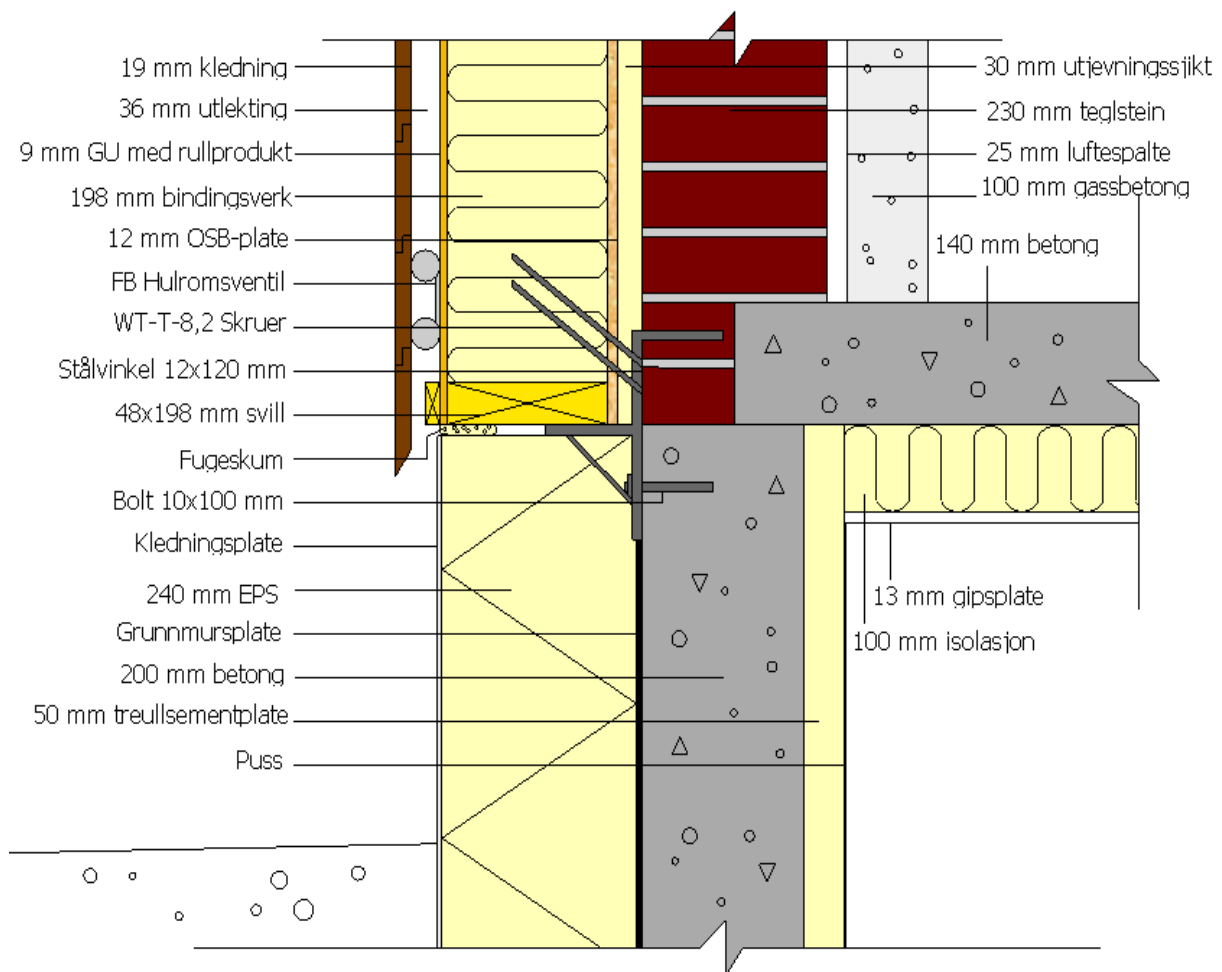
Minimumskravet til lengde på treullsementplaten er oppgitt i figur Figur 34, men ofte ble hele veggen isolert (Mørk, 2012).



Figur 34. Betonggrunnmur med tykkelse 200 mm, innvendig isolert med treullsementplate (Mørk, 2012).

Det anbefales å grave opp rundt grunnmurene for å etterisolere med EPS på utsiden av kjelleren, og legge til rette for bedre dreneringsforhold. Ut i fra figuren over er det grunn til å tro at det ikke finnes noe isolasjon utenfor kjellerveggene, og at dreneringsforholdene burde utbedres. Siden bygget skal rehabiliteres til passivhusnivå vil disse tiltakene være nødvendig. Samtidig vil det være fordelaktig å gjøre dette når bygget først skal rehabiliteres. Videre i oppgaven er det tatt utgangspunkt i at disse tiltakene gjennomføres.

Detaljen under er tegnet ut i fra krav til drenering av vann. Det vil si der avstanden fra kledningen til grunnen bør være større enn 300 mm, og fallet bort fra bygningen skal være minimum 1:50 (Geving & Thue, 2002). I tillegg er det viktig å merke seg at det nederste kledningsbordet må ettermonteres, etter som det stikker nedenfor elementet. Kledning som ligger nedenfor elementet kan by på problemer med montering på byggeplass, og transport fra fabrikk. For detalj som viser innfesting av elementet i bunnen av bygningen, se Figur 35.



Figur 35. Innfesting av element i bunn.

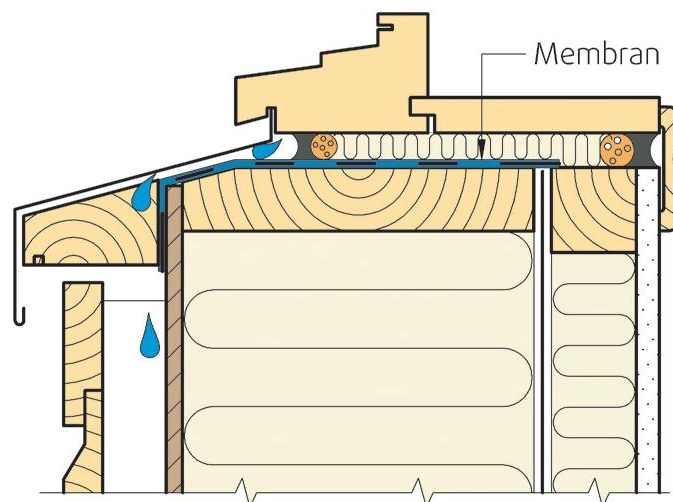
Montering av det nederste elementet kan være utfordrende, og et eget fundament i forkant av den eksisterende konstruksjonen ville gitt en bedre løsning. Likevel er det valgt å finne en mulig løsning for innfesting ved bruk av stålvingler. Disse vinklene må slisses inn i veggen, og antagelig lages på bestilling da de ikke finnes ferdig produsert. Dette er nødvendig i noen tilfeller. Før elementene ankommer byggeplassen, er det mulig å definere høyde og posisjon på vinklene etter mål på elementer. Vinklene kan så settes inn i teglfasaden. Når elementene ankommer byggeplassen, vil de løftes med kran bort til den eksisterende fasaden. Mens elementene fremdeles henger i kranen, vil de settes på stålvinglene og det merkes av hvor vinklene vil være i forhold til elementet. Dermed vil elementene og vinklene tas bort fra fasaden. Vinklene monteres så på elementet mens det fortsatt henger i kranen. Dette skjer ved å bore lange skruer inn gjennom stålvingelen og inn i stenderne i elementene med 45° vinkel. Det er viktig at elementene er frest på baksiden slik at skruene går enkelt inn. Deretter føres elementene, med vinklene påmontert, bort til den eksisterende fasaden og monteres i denne. Denne prosessen gjelder for de nederste elementene. Ved montering vil prosessen starte på bunnen av konstruksjonen, og fortsette oppover. Gjennom denne innfestingsmetoden vil tyngden, altså alle vertikale krefter, tas opp i bunnen ved hjelp av stålvingler og de lange skruene. Mens horisontale krefter tas opp ved hjelp av den nedre delen av stålvingelen samt ved hjelp av boltene (Holger Halstedt, samtale, 19. april 2013). I forbindelse med innfesting av elementer er det viktig at det utføres dokumenterte statiske beregninger på forhånd. Dette er ikke en del av denne masteroppgaven, og utførende firma må sørge for at dette gjøres. Videre er størrelsen på vinklene antatt, noe som også må beregnes før bruk.

I forhold til innfestingsmidler ble det gitt en del eksempler gjennom diskusjonen omkring utforming av elementene. Deretter ble det lett litt rundt på anbefalte nettsider for å finne noe som kunne være aktuelt. Det er viktig å understreke at disse også må dimensjoneres og inngå i beregningene for den statiske modellen for innfesting av elementene. I denne oppgaven er det kun funnet eksempler på festemidler som kan egne seg for innfesting av elementer. For de lange skruene som skrues på skrå inn i stenderne i elementet, er forslaget å benytte WT-T-8,2. Disse passer fint for sammenmontering av trekonstruksjoner (SFS intec AS, udatert). For vinklene er det tatt utgangspunkt i likebeinet stålvinkler. Disse er også benyttet som mal ved tegning av den store stålvinkelen i bunnen av det nederste elementet, da det kan bestilles andre lengder, dimensjoner og kvaliteter (Steine Stål Produkter AS, udatert). Mens i andre detaljer er det benyttet hullbånd til innfesting. Hullbåndet kan benyttes til forankring og montering av diverse konstruksjoner og detaljer, og passer fint i enkelte tilfeller i denne oppgaven (Essve, udatert).

Videre er det anslått avstand for innfesting av vinkler og stålbånd. For de store stålvinklene i bunnen av konstruksjonen er det anslått innfesting på c/c 1200 mm. Denne vinkelen kan bli dyr, men på grunn av at det er tegl som er det bærende sjiktet i den eksisterende konstruksjonen, er det nødvendig å gjøre det på denne måten. Mens vinklene i de andre elementene kan festes med avstand c/c 400 mm, og hullbåndet kan festes med avstand c/c 400 mm (Holger Halstedt, samtale 19. april 2013). Dette gjelder horisontalt på elementene.

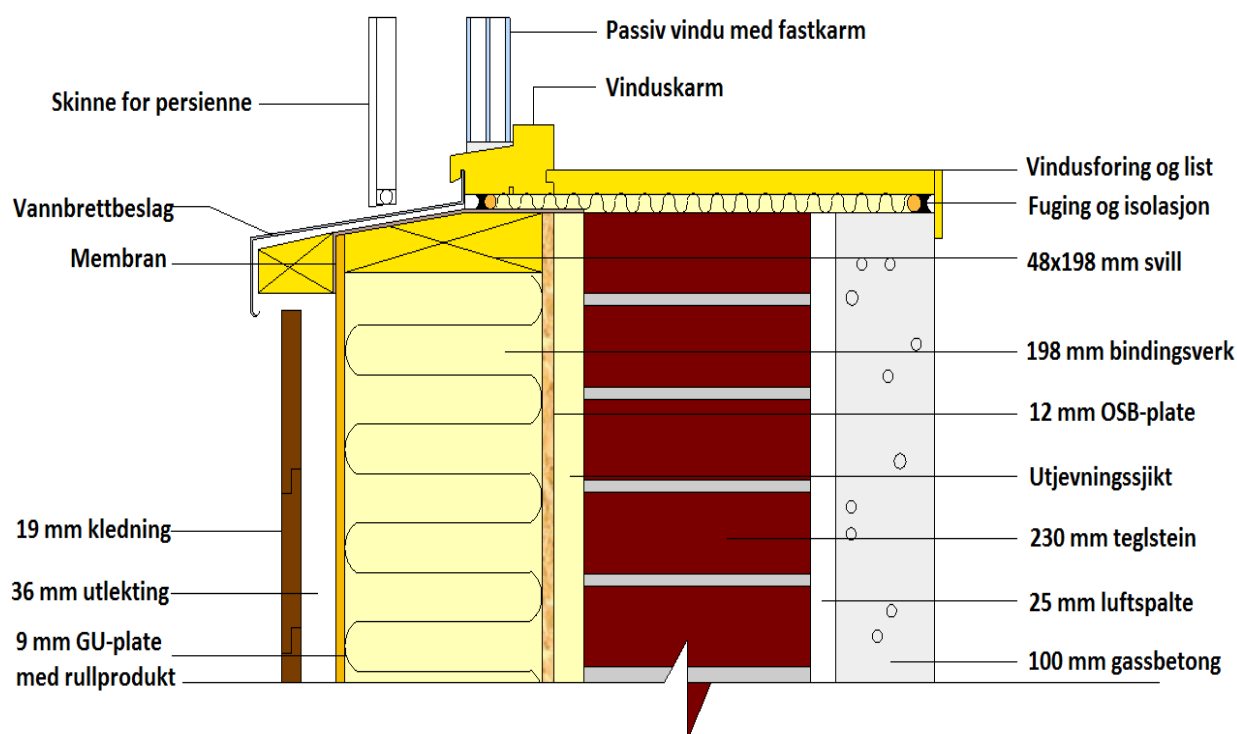
7.3 Overgang bunnkarm/vegg

Etter som det er valgt å plassere vinduet innerst på fasadeelementet, er det viktig med ekstra fuktsikring under karm og vannbrettbeslag. Dersom vinduet er plassert et stykke inn i elementet vil oppkanten på vannbrettbeslaget komme innenfor vindsperresjiktet i veggen. Dette gjør at faren for vannlekkasjer og fuktskader i elementet øker. Dersom vannbrettbeslag og tetting rundt og under vinduet utføres regntett, er det mulig å unngå lekkasjer og fuktskader i veggen. En helklebende membran må festes til underlaget under vinduet og minst 50 mm opp langs sidene i smyget. Denne trekkes så litt nedover vindsperren under vinduet. Kontinuerlig understøttelse av membranen er viktig for å unngå punktering i byggeperioden (SINTEF Byggforsk, 2012). Figur 36 viser en prinsipiell utforming av vindusdetaljen dersom vinduet plasseres et stykke inn i veggen.



Figur 36. Vindu plassert et stykke inne i isolasjonslaget i veggen, og med ekstra fuktsikring under karm og vannbrettbeslag (SINTEF Byggforsk, 2012).

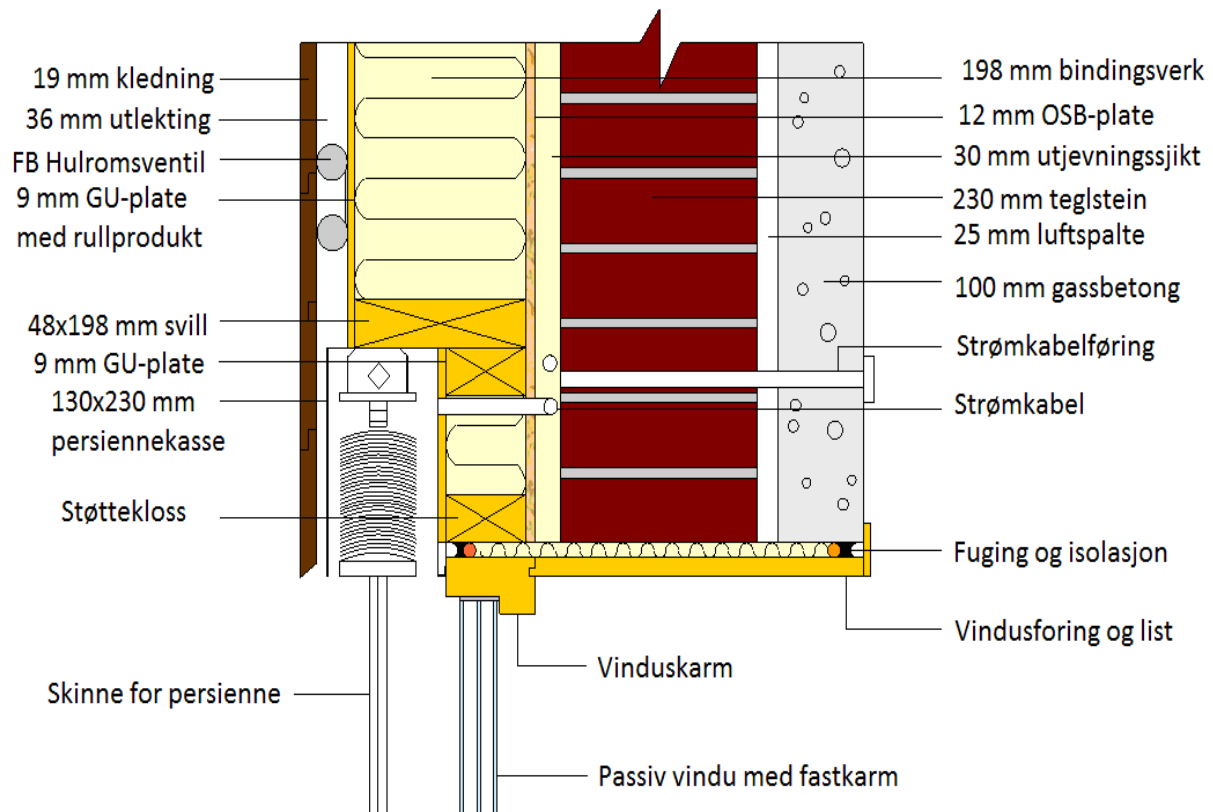
Dermed blir overgangen for den nedre delen av vinduet for fasadeelementet som monteres direkte på den eksisterende fasaden slik som vist i Figur 37.



Figur 37. Overgang bunnkarm/vegg.

7.4 Overgang toppkarm/vegg og detalj solskjerming

Denne detaljen viser hvordan solskjermingen integreres i fasadeelementet, se Figur 38. Alt av mål og detaljer for denne er funnet ved hjelp av et planleggingsprogram på nettsidene til Solskjermingsgruppen.



Figur 38. Overgang toppkarm/vegg og integrert solskjerming.

Det er forutsatt at karmen til vinduet til sammen måler 105 mm (NorDan AS, 2009), mens boksen for solskjermingen måler 130 x 230 mm (Warema Renkhoff SE, udatert).

Kledningen som ligger foran persiennekassen festes i lektre på begge sider av vinduet. I tillegg kan lektene som går over vinduet, og som blir avbrutt av persiennekassen, freses ut slik at det er plass for persiennekassen i utlektingen. På den måten blir den utfreste delen av lekten liggende i hulrommet mellom kledningen og persiennekassen. Disse utfreste lektene kan skrues inn i kledningen fra baksiden før persiennekassen monteres i elementet. Over persiennekassen vil lekten ha normal størrelse (Holger Halstedt, samtale, 3. juni 2013).

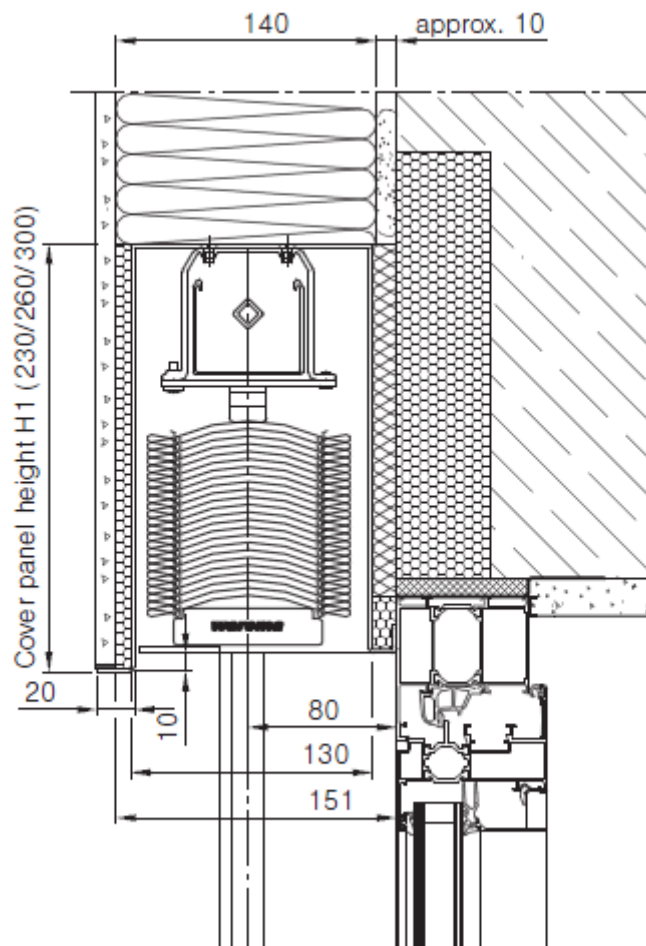
I utjevninglaget mellom den eksisterende fasaden og TES elementet er det tilstrekkelig med plass for installasjon av kabler og rør. Til dette stilles det krav om brannsikkerhet for materialene, som rør, kabler og lignende, og gjennomføringen igjennom den eksisterende konstruksjonen. I tillegg må det være lufttett (Lattke et al. 2009). Derfor er det gunstig å føre den tekniske installasjonen fra persiennesystemet i utjevningssjiktet, og dermed inn i hver enkelt leilighet. Dette gjøres da strøm må tilføres motoren i persiennesystemet for å kunne operere denne.

Strømføringen fra elementet og inn i leilighetene gjøres ved å borre hull i den eksisterende konstruksjonen. Deretter må strømføringen være tilkoblet persiennekassen i elementet allerede på fabrikk. Kabelen må ha en lengde anslått 4-5 meter, og når elementet henger i kranen på byggeplassen trekkes kabelen gjennom hullet i den eksisterende konstruksjonen. Mens elementet føres på plass må kabelen inne i boligblokken trekkes etter slik at den ikke blir liggende i krøll utenfor teglveggen. Deretter er det bare å feste fasadeelementet på den eksisterende teglfasaden. Det er viktig at hullet borres stort nok, og at det tettes med fugging. Det er gunstigst dersom kablene for alle vinduene til en leilighet kan trekkes gjennom fasaden

i ett punkt. Derfor er det planlagt at kablene føres fra det ene vinduet og bort til det neste, og deretter stiftes på baksiden av elementet. Når alle kablene er samlet til kan de føres bort til hullet i den eksisterende konstruksjonen og trekkes gjennom. Inne i leiligheten må deretter kablene føres og monteres slik at den kan betjenes (Holger Halstedt, samtale, 8. mai 2013). Det er viktig at denne gjennomføringen gjøres brannsikker og lufttett slik at brann ikke kan spre seg gjennom disse føringene og inn i leilighetene.

For å sikre at elementet blir tilstrekkelig lufttett, trekkes rullproduktet av vindsperran rundt persiennekassen, og klemmes mellom persiennekassen og GU-platen på innsiden av persiennekassen.

Figur 39 viser en mer detaljert tegning av solskjermingssystemet med bedre målsetting. Denne er tatt inn i rapporten på grunn av at det ikke var mulig å få med alle detaljene i figuren over.

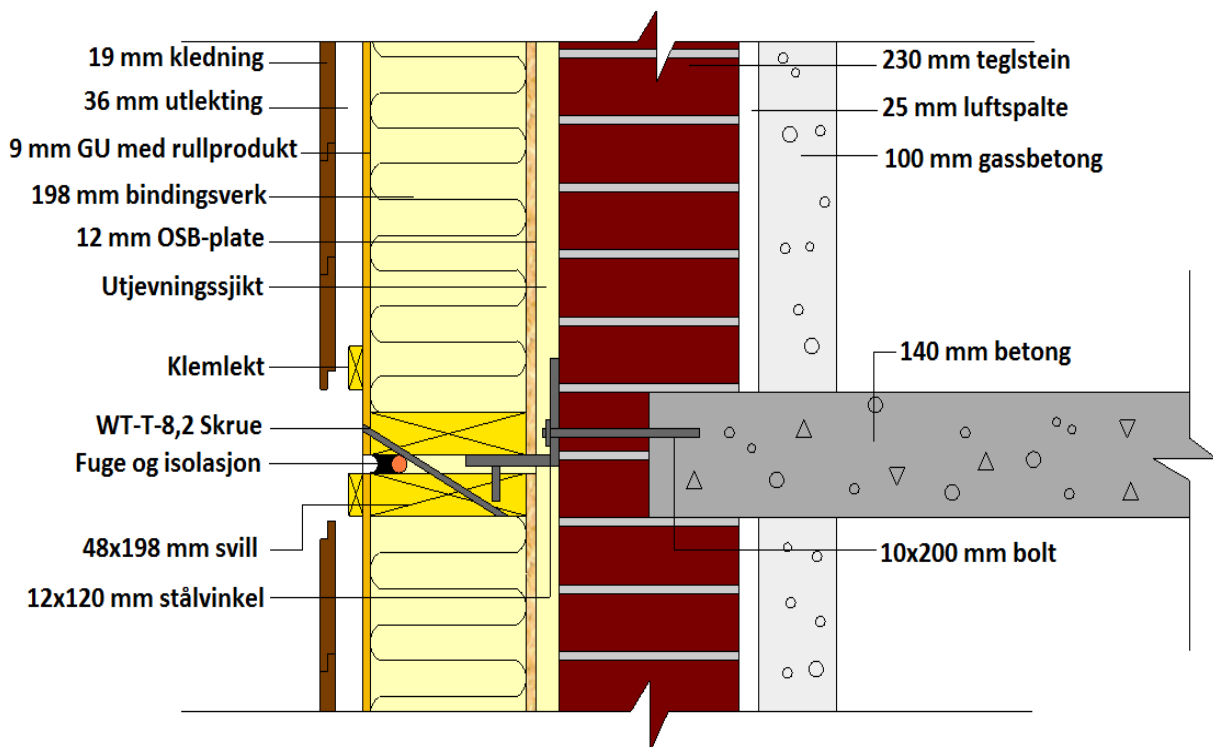


Figur 39. Detaljert tegning av solskjermingssystemet (Warema Renkhof SE, 2013).

7.5 Innfesting i etasjeskiller

Her viser detaljen hvordan elementene festes inn i topp og bunn. Hvert element festes i bunnen med stålvinkler som monteres på den eksisterende fasaden. Det er viktig at stålvinklene boltes inn i etasjeskilleren, da denne er av betong og vil sikre bedre innfesting enn teglsteinen. Dette er på grunn av at teglsteinen kun tar vertikale laster, mens betongen

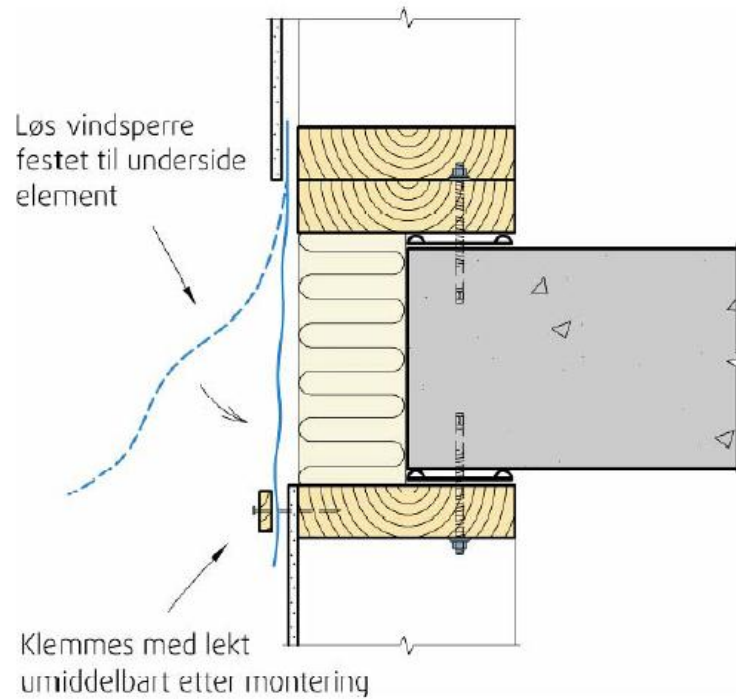
også tar opp horisontale laster. Det øverste elementet settes på vinkelen som er montert til fasaden og boltet ned i det nederste elementet. Deretter skrues det øverste elementet fast med lange skruer som fester elementene sammen. På den måten tas de horisontale kreftene opp ved hjelp av stålvinkelen og boltene, mens de vertikale kreftene blir ledet ned til det nederste elementet, og tas opp med den store stålvinkelen i bunnen. Det er anslått at en toleranse på 2 cm mellom elementene vil være tilstrekkelig, og det må fuges mellom elementene, samt at en flik av vindsperrerullproduktet trekkes forbi skjøten og klemmes. I tillegg er det tenkt at en isolasjonsremse legges inn mellom elementene for å sikre bedre tetting mellom dem (Holger Halstedt, samtale 19. april 2013). Her er det også viktig med en åpning i kledningen slik at det er mulig å komme til for å fuge og klemme vindsperreren. Det er tenkt en åpning på 148 mm, altså bredden på ett standard kledningsbord. Kledningsbord må ettermonteres langs hele skjøten. Figur 40 viser detaljen for innfesting av elementer i etasjeskillet.



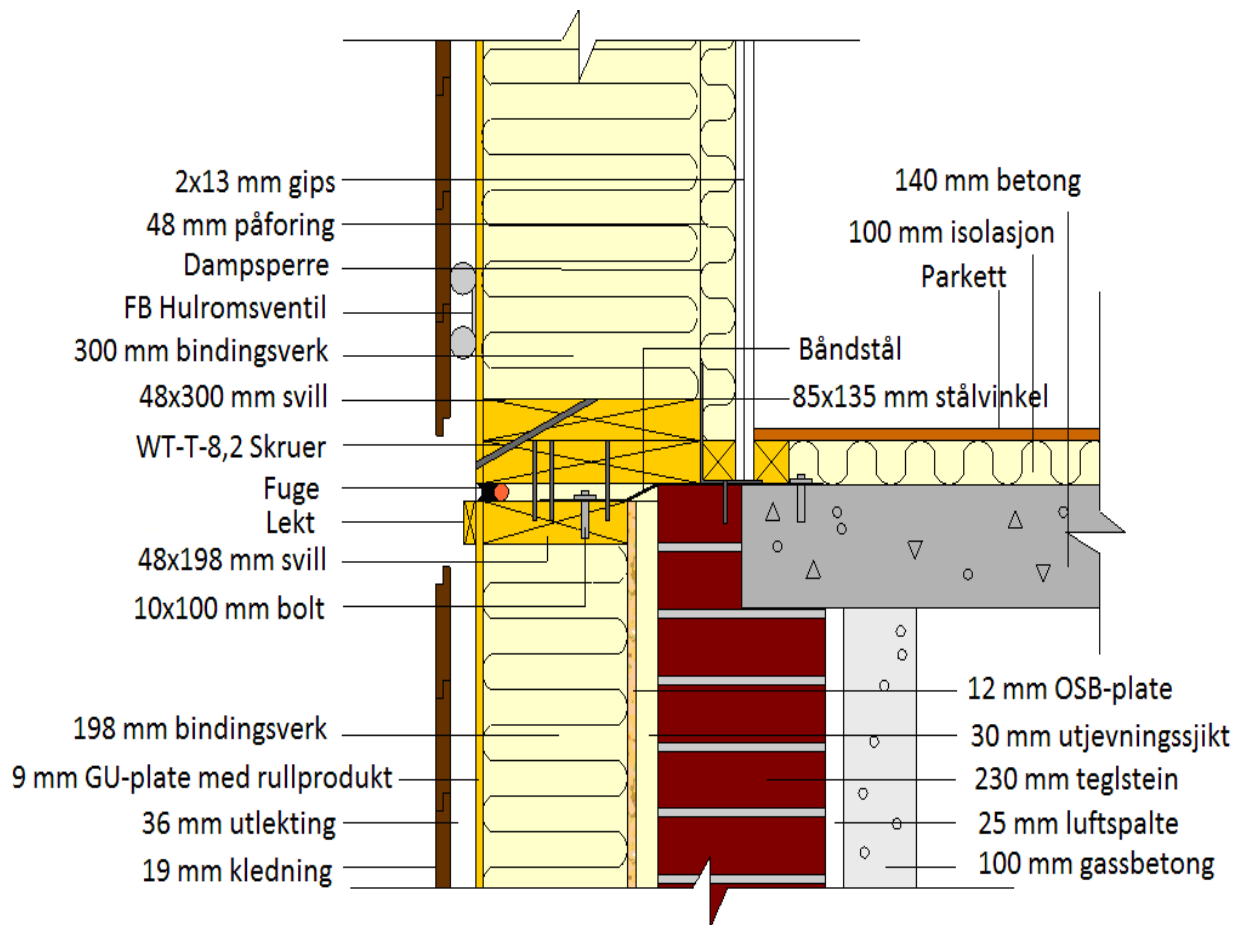
Figur 40. Innfesting i etasjeskiller.

7.6 Overgang mellom fasadelement direkte på fasaden og frittstående element, vertikalt

Tetting av horisontalskjøter kan gjøres med en vindsperreremse som henger ned fra det ene elementet og klemmes mot vindsperreren i det andre elementet, se Figur 41 (Noreng & Geving, 2008). Dette prinsippet vil benyttes i detaljen for utforming av overgang mellom fasadelement direkte på fasaden og frittstående element. Figur 42 viser at det her er tenkt både tetting med fuging og med vindsperreremse for å få en optimal skjøt. Det er derfor nødvendig med 2 cm toleranse mellom elementene, hvor denne glipen isoleres med en isolasjonsremse mellom elementene før det fuges. Også her er det nødvendig med en åpning i kledningen slik at det er mulig å komme til for fuging og klemming av vindsperreren. Dette kan gjøres på sammen måte som beskrevet i kapittel 7.5.

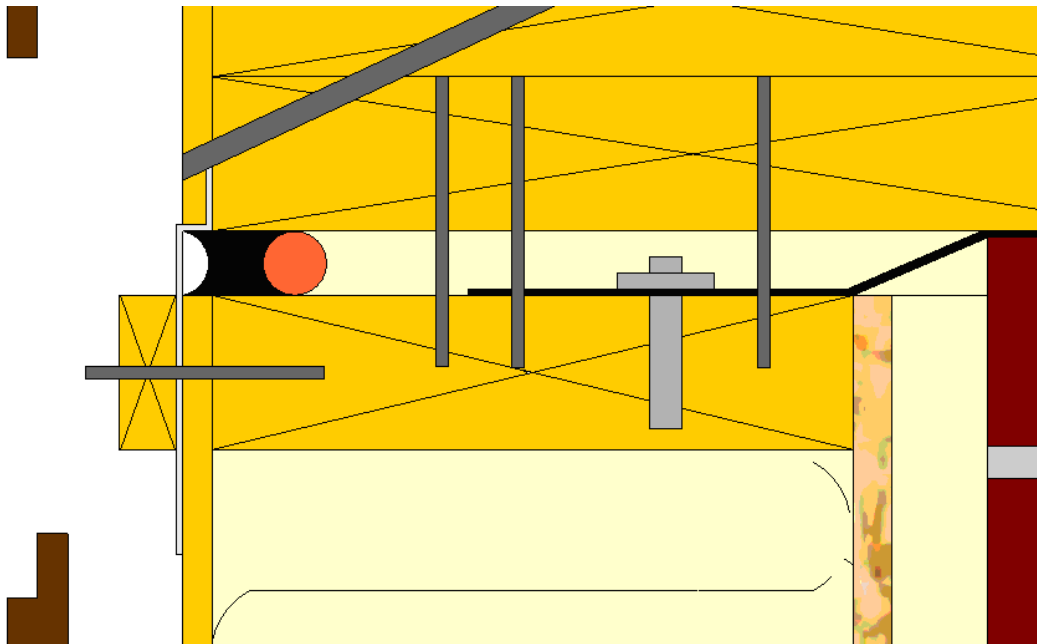


Figur 41. Eksempel på horisontalskjøt foran dekkeforkant av betong (Noreng & Geving, 2008).



Figur 42. Overgang mellom elementer, vertikalt.

Figur 43 viser en innzoomet detalj av hvordan vindsperre fliken går fra elementet over og ut forbi fugen, mens det klemmes mot toppsvillen i det nederste elementet.



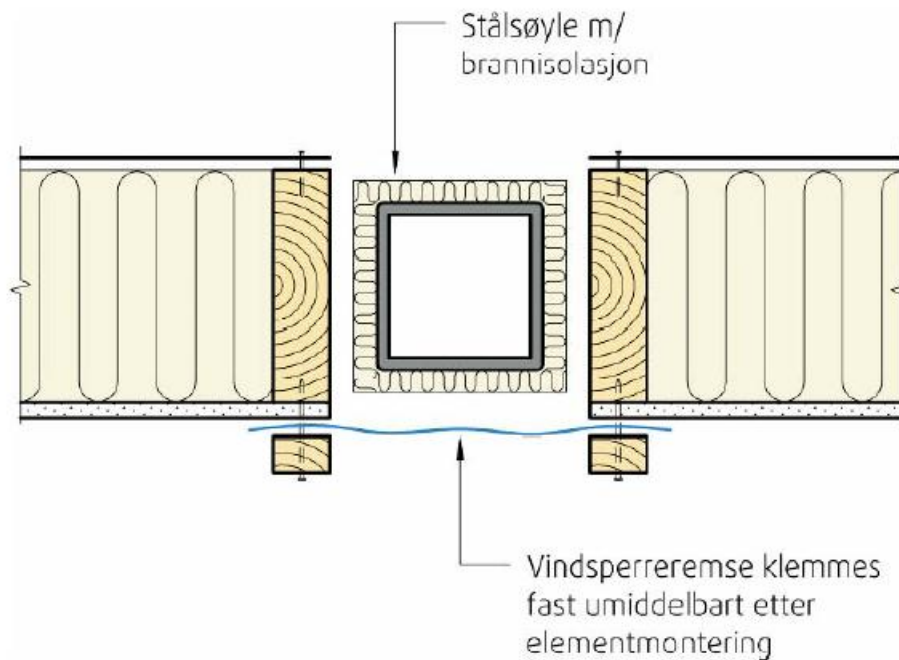
Figur 43. Detalj for klemming av vindsperre i vertikalsnitt.

Monteringen skjer ved at det nederste elementet festes til fasaden på samme måte som tidligere. Dette skjer før det frittstående elementet monteres. I tillegg er det tenkt stålband som forankres i betongetasjeskilleren og i det nedre fasadeelementet. Stålbandet monteres før det øvre elementet, og fester elementet til den eksisterende konstruksjonen. For å feste det frittstående elementet til den eksisterende konstruksjonen, er det tenkt at en enkel svill leveres separat og festes ned i elementet under. Den separate svillen skrues ned i det nedre elementet. Deretter er det mulig å sette det frittstående elementet på den fastmonterte svilla. Disse skrues så sammen med lange skrå skruer.

Videre er det planlagt å benytte en stålvinkel som fester det frittstående elementet ned i den eksisterende konstruksjonen. Stålvinkelen monteres på utsiden av hovedstenderen, altså i påføringssjiktet. Dette kan gjøres allerede på fabrikk. På den måten kan vinkelen festes direkte ned i teglfasaden når elementet skal monteres på byggeplassen. Denne metoden medfører at isolasjonen og innvendig kledning i påføringssjiktet ikke kan monteres på fabrikk, men at elementet leveres som et åpent element. Stenderne i påføringssjiktet og stålvinklene vil være montert på fabrikk. Mens isolasjon og innvendig kledning i påføringssjiktet må ettermonteres på byggeplassen, etter at stålvinklene er festet ned i eksisterende konstruksjon. Bunnsvilla i påføringssjiktet må tilpasses og ettermonteres etter at vinkelen er festet. Det vil kreves en del tilpasninger av bunnsvilla i påforingen på byggeplassen. Likevel er det mulig å montere og tilpasse så mye som mulig på fabrikk, slik at festeprosessen er enklest mulig på byggeplassen. Påforingen kan ikke isoleres ferdig og kles igjen på fabrikk uansett, da det er ønskelig å dra tekniske forbindelser og kabler i skjultanlegg i dette sjiktet. Selv om det krever en god del tilpasninger, er dette noe man må regne med når man benytter elementer til rehabilitering av større bygninger (Holger Halstedt, samtale, 9. mai 2013). Vinklene som benyttes her er gir optimale forbindelser mellom tre og andre byggematerialer som betong, stål, mur osv (Simpson Strong-Tie CO, 2013).

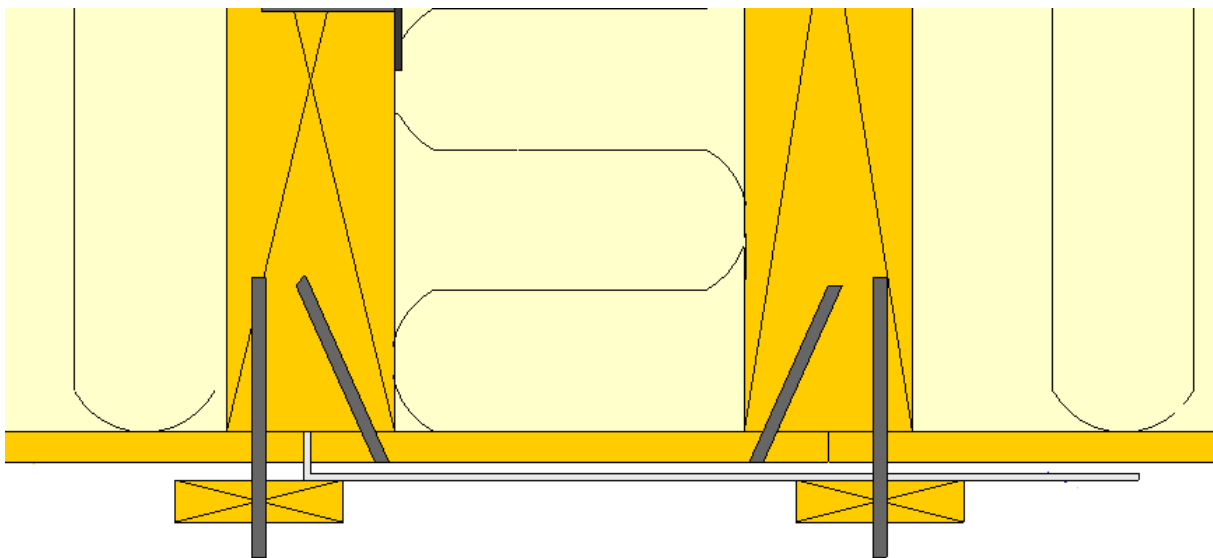
7.7 Overgang mellom fasadelementer, horisontalsnitt

Tetting av vertikalskjøter utvendig gjøres enten med fugemasse eller med remser av vindsperrmateriale. Montering av elementene butt-i-butt uten annen tetting for vann og luft er ikke tilstrekkelig (Noreng & Geving, 2008). Figur 44 viser et eksempel på hvordan dette i prinsipp bør gjøres for en vertikalskjøt med stålsøyle mellom elementene. Dette prinsippet benyttes også i detaljen som viser horisontalsnitt av overgangen mellom fasadelementene.



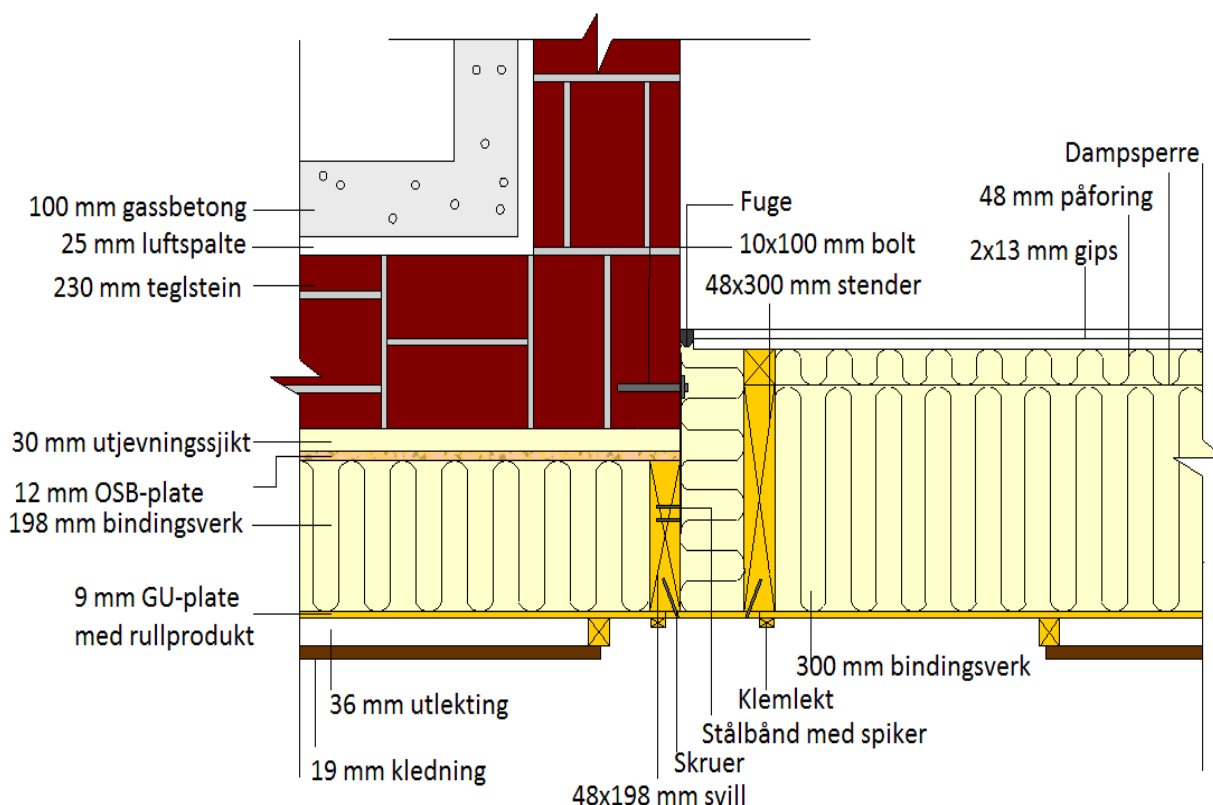
Figur 44. Eksempel på vertikalskjøt med stålsøyle (Noreng & Geving, 2008).

Figur 45 illustrerer innzoomet detalj for klemming av vindsperreren. Her vil en flik av vindsperreren fra det ene elementet legges forbi skjøten mellom elementene og klemmes godt imot det andre elementet.



Figur 45. Detalj for klemming av vindsperre i horisontalsnitt.

Figur 46 viser at overgangen mellom elementene gjøres med å isolere et hulrom mellom dem. På den måten unngås en udefinert fuge, og det gir en bedre løsning i forhold til tetting mellom elementene og krav til passivhus (Holger Halstedt, samtale 19. april 2013). Her er det tenkt et hulrom mellom elementene som fylles med isolasjon. På utsiden av hulrommet tettes det med GU-plate som spikres inn i stendere på begge elementene, og deretter føres en flik av vindsperreremsen forbi hulrommet og klemmes. Også her er det viktig at kledningen ikke er fastmontert, og at det er mulig å komme til for å isolere hulrommet og feste vindsperreren på byggeplassen. Kledningen må så ettermonteres på byggeplassen.

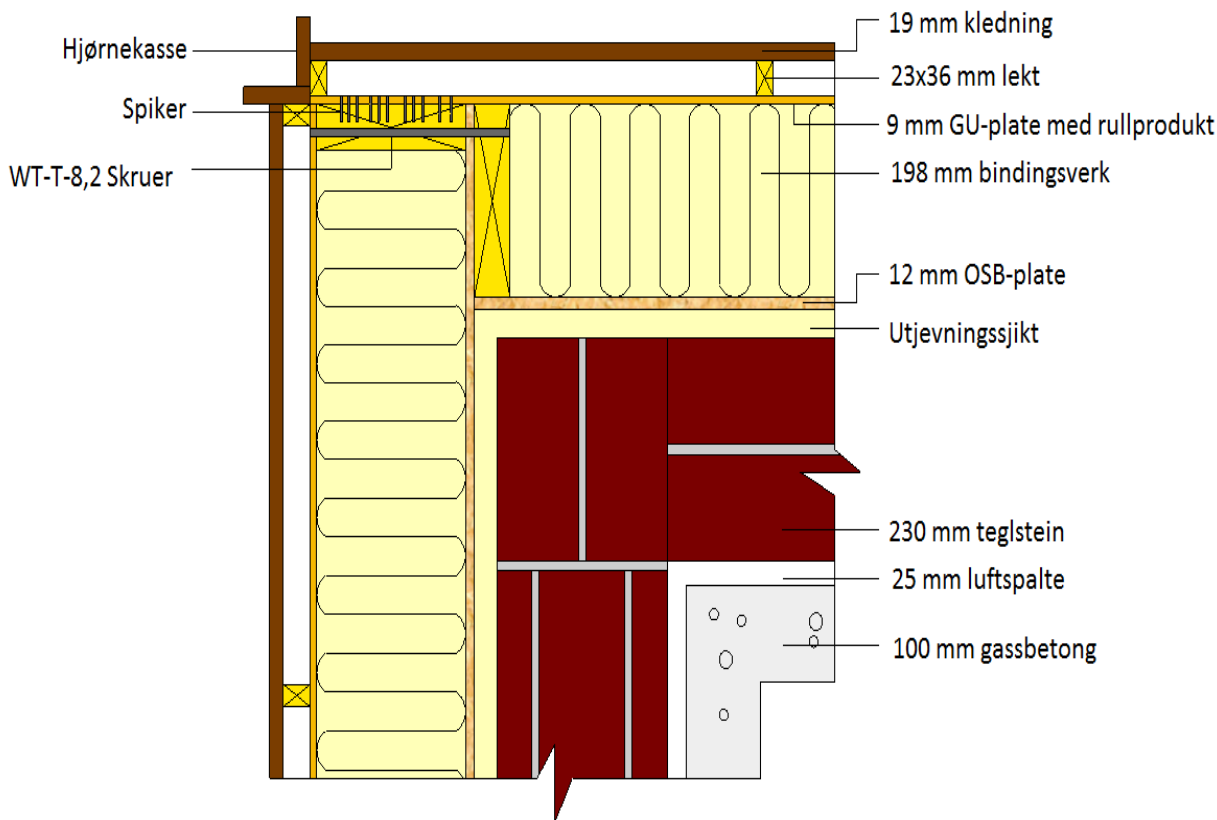


Figur 46. Overgang mellom fasadeelementer, horisontalsnitt.

For innfesting av elementene er det foreslått hullbånd av stål. Dette festes på det enkle elementet, og festes så inn i teglfasaden med bolter. Mellom elementene må vindsperreplaten spikres godt til begge elementene. Dette er tilstrekkelig som forankring mellom elementene (Holger Halstedt, samtale, 8. mai 2013).

7.8 Overgang hjørnet

I forhold til hjørneovergangen mellom to fasadeelementer som er montert direkte på den eksisterende teglfasaden, finnes det noen utfordringer som må løses. Dette vil spesielt være i forhold til hvordan kledningen på utsiden av elementet skal være. Figur 47 viser hvordan denne detaljen kan løses.



Figur 47. Overgang hjørnet

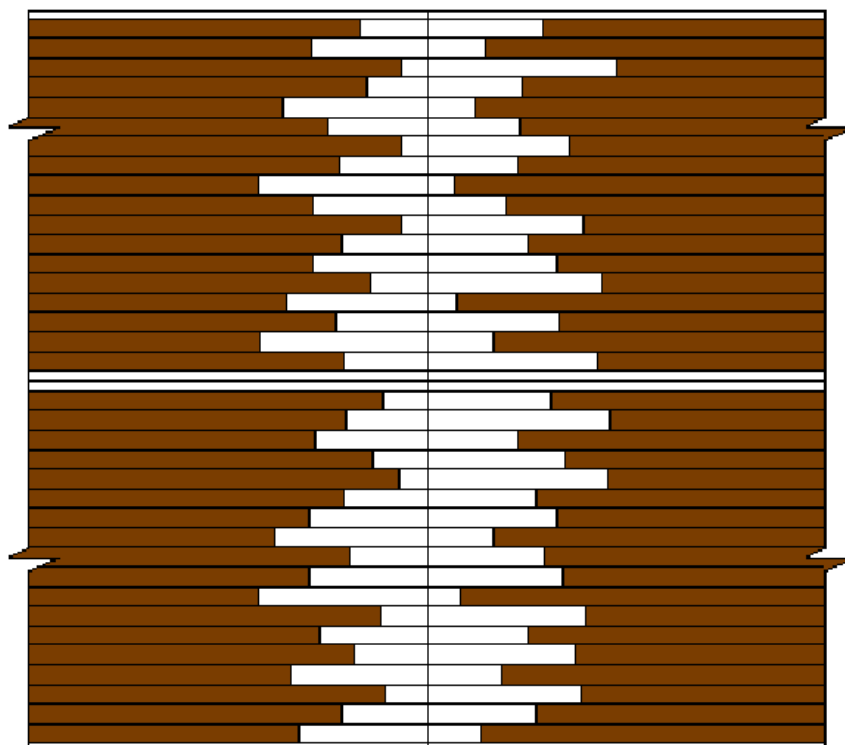
Detaljen kan løses ved at vindsperreplaten og ytterkledningen i det horisontale elementet stikker ut fra elementet, slik at de spenner over bredden til det vertikale elementet. Dette gjøres før elementet leveres fra fabrikken. Elementene vil så monteres og festes til den eksisterende konstruksjonen ut i fra de detaljene som er vist tidligere. Hvert tredje eller fjerde kledningsbord på elementene festes bare løst til elementet på fabrikken, slik at de enkelt kan demonteres på byggeplassen. Etter kledningsbordene er demontert, skrues lange skruer fra det vertikale elementet og inn i det horisontale elementet. Deretter kan vindsperreplaten i det horisontale elementet festes i endestenderen i det vertikale elementet. Det er viktig at denne spikres godt fast. Siden dette er en udefinert lastsituasjon, er det ikke nødvendig med lastberegninger så lenge elementene festes godt sammen ved hjelp av spiker og lange skruer. Deretter kan kledningsbordene skrues fast til elementet igjen. Hele denne prosessen gjøres før elementene for neste etasje monteres (Holger Halstedt, samtale 3. juni 2013).

Det er ikke noe problem at vindsperreplaten og kledningen til det horisontale elementet stikker ut fra elementet, verken med tanke på montering eller transport. Utstikket blir stivt nok dersom platene og kledningen festes i lekten. I overgangen mellom elementene i hjørnet, kan det for eksempel benyttes en hjørnekasse av kledningsbordene (Holger Halstedt, samtale 3. juni 2013). Den arkitektoniske utformingen av hjørnekassen kan utføres på forskjellige måter.

Alle detaljene er vist i vedlegg 5 uten forklarende tekst. På den måten er tegningene større og små detaljer er lettere å se. Vær oppmerksom på at en del av disse tegningene er vist liggende, for bedre utnyttelse av størrelsen på arket.

7.9 Kledning

Det er utfordringer tilknyttet kledningen på elementene og sammenføyningen mellom dem. Dette på grunn av at det må være åpning mellom elementene slik at det er mulig å isolere mellom dem, feste vindsperrefliken og GU-platen for at skjøten skal bli best mulig. Dermed kan ikke elementene være helt ferdig kledd på utsiden. Det er da enten aktuelt å ettermontere hele kledningen eller deler av den. Nedenfor viser Figur 48 et forslag til løsning dersom største delen av kledningen monteres på fabrikk.



Figur 48. Forslag til løsning for ettermontering av kledning på elementene.

Her viser de hvite spaltene de områdene hvor kledningen ikke er påmontert i fabrikk, og hvor den må ettermonteres på byggeplass. For de horisontale skjøtene mellom elementene er det forholdsvis enkelt å lage et mellomrom som er like stort som bredden på et kledningsbord. Et liggende kledningsbord vil derfor enkelt kunne ettermonteres langs alle de horisontale skjøtene på byggeplassen. Mens på de vertikale skjøtene blir utfordringen større. Det er viktig at panelet uføres slik at ikke skjøtene blir for dominerende. Det er derfor tenkt at skjøtene ikke må stå rett ovenfor hverandre, og derfor ble det store variasjoner for hvordan glippene ser ut. Likevel er det mulig å standardisere det i størst mulig grad, ved å lage like lengder på mellomrommene slik at ettermontering av kledningen på byggeplass er enklest mulig.

For innfesting av kledningen ut i fra metoden illustrert over, er det nødvendig å enten benytte endepøyde bord eller vertikale lekter i skjøtene. Ved å benytte endepøyde bord blir kledningsbordene hølvet som not og fjær i enden, og kan dermed skjøtes fortløpende bortover vegg. Bruk av rettkappet bordkledning medfører at bordene må skjøtes ved et spikerslag (Alvdal Skurlag, 2013). Fordelene med endepøyde bord er at det ikke trengs lekt under skjøten mellom to kledningsbord. Å benytte endepøyde bord kan gi vanskelig innfesting dersom de skal være pløyd i begge endene. Dette er på grunn av at det er vanskelig å få tredd kledningsbordet mot den fastmonterte kledningen i begge endene. Ved bruk av vertikale

lekter, vil det kreves kort avstand mellom lektene dersom mønstret på kledningsåpningen skal være så sprikende som tegnet i figuren. Det er fordi det må være en lekt ved avslutning av hvert kledningsbord, slik at endene kan festes inn og hindre at kledningsbordet vrir seg. Dette kan løses ved å lage få variasjoner i åpningsmønstret, eller ved å benytte endepølde bord i den ene enden og rettkapp i den andre. Den rettkappede enden kan festes mot en lekt. Det kan varieres hvilken av endene som er endepølde, og dermed blir muligheten for variasjonen i åpningsmønstret større. På den måten blir ikke skjøtene mellom kledningsbordene like tydelige. Åpningsmønstret må planlegges ved prosjektering av elementer for bygget. Her er det kun vist et forslag som illustrerer et åpningsmønster og løsning av ettermontering av kledningen. Figuren over viser litt for spredt åpningsmønster til at en god løsning er mulig. Med mindre spredning er det enkelt å benytte seg av både endepølde bord og innfesting av lekter.

I motsetning til å lage åpninger mellom skjøtene er det også mulig å benytte forskjellige vertikale og horisontale profiler, som kan ettermonteres utenpå skjøtene. På den måten blir åpningene mellom elementene mye mindre, og gjennomgående for hele fasaden. Her ble det likevel prioritert å finne en annen løsning, etter som det som oftest ikke er ønskelig med profiler som bryter fasaden. Likevel kan det være mulig å finne en løsning som vil gi et tilfredsstillende resultat.

8 WUFI beregninger

Det gjøres undersøkelser av aktuelle problemstillinger tilknyttet utformingen av fasadeelementene, og de integrerte installasjonene. Det er ønskelig å avdekke eventuell fuktproblematikk i elementene, og undersøke forhold som påvirker fuktproblematikken.

8.1 Bruk av OSB-plater i elementene

Fasadeelementene som monteres direkte på den eksisterende konstruksjonen er planlagt med OSB-plate som dampbrems og GU-plate som vindspærre.

I dette kapitlet er det aktuelt å teste om det oppstår fuktskader på baksiden av dampbremsen eller på baksiden av vindspærren i elementet. Det gjøres undersøkelser for standardkonstruksjonen med GU-plate som vindspærre og OSB-plate som dampbrems, og for bruk av OSB-plate som vindspærre og dampbrems i elementet. I litteraturen er det funnet eksempler på at bruk av OSB-plate ikke er å anbefale som både dampbrems og vindspærre, da dampbrems er for tette mot dampdiffusjon til å brukes som vindspærre. Dessuten vil bruk av dampbrems innebære at det må benyttes en mer dampåpen vindspærre enn det som vanligvis kreves, for å kunne gi konstruksjonen god nok uttørkingsevne (Edwardsen & Ramstad, 2007). Derfor burde ikke OSB-plate benyttes som både dampbrems og vindspærre på samme konstruksjon. Dette vil undersøkes ved beregninger i WUFI. Disse beregningene vil avdekke om det oppstår fuktproblemer i konstruksjonen.

8.1.1 Standardkonstruksjon

Endimensjonale fuktregninger er utført for et fasadelement i tre med OSB-plate som dampbrems og GU-plate som vindspærre. Gjennom beregningene blir konstruksjonene testet på forskjellige måter, med forskjellige parametre og med bruk av OSB-plate som både vindspærre og dampbrems i samme element.

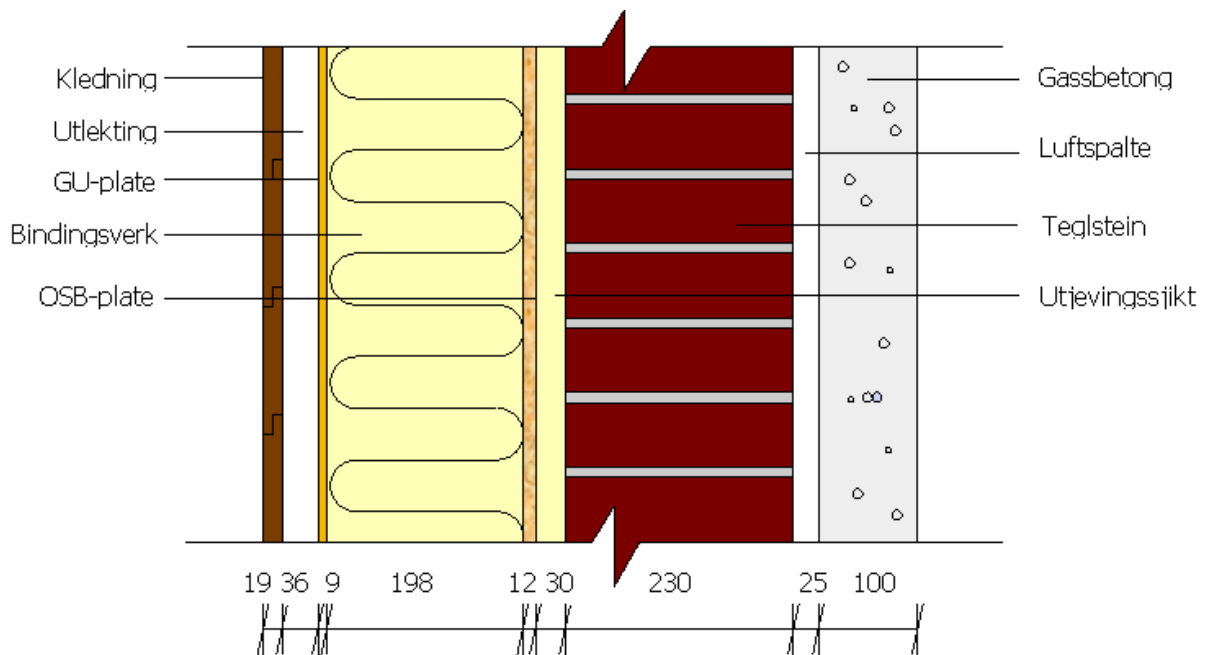
For å ha et sammenligningsgrunnlag for de ulike beregningsvariantene, er det definert ett standardelement. Materialer som benyttes i standardelementet fra innvendig side:

- Utjevningssjikt, 30 mm
- OSB-plate, 12 mm
- Bindingsverk med mineralull, 198 mm
- GU-plate, 9 mm
- Utlekting, 36 mm
- Utvendig kledning av brannbeskyttet tre, 19 mm

Fasadeelementet monteres på den eksisterende konstruksjonen i Nordahl Bruns, som også utgjør en del av standardkonstruksjonen. Denne har oppbygning:

- Gassbetong, 100 mm
- Luftspalte, 25 mm
- Teglstein, 230 mm

Figur 49 nedenfor viser oppbygningen av standardkonstruksjonen.



Figur 49. Standardkonstruksjon for simulering med OSB-plate.

8.1.2 Startbetingelser

Fuktinnholdet ved starten av beregningene er viktig. Det defineres ofte som ”normalt” fuktnivå for den tiden av året hvor beregningen starter, eller som byggefuktnivå. Det ”normale” fuktnivået kan finnes ved å gjøre en prøveberegning med tilnærmede startbetingelser. Ved å benytte byggefuktnivå er det vanlig å benytte RF på 80 % for materialer som har vært beskyttet mot direkte nedbør på byggeplass (Geving & Thue, 2002). Startfuktnivået stilles inn på 70 % for sjiktene i fasadeelementet. Disse er fremstilt i fabrikk og opptar ikke like mye byggefukt som elementer som bygges på byggeplass (Geving, 2012).

Starttemperaturen er konstant for hele konstruksjonen, og utjevner seg med utvendig og innvendig temperatur raskt. På den måten får parameteren liten betydning for fukt- og varmetransport i konstruksjonen, siden beregningene løper over flere år. Som oftest er det tilstrekkelig å velge en gjennomsnittstemperatur som ligger et sted mellom ute- og innetemperatur (Stellander, 2012).

Det er anbefalt at beregningene skjer over en tre-årsperiode slik at det kan undersøkes om det foregår fuktakkumulering over tid, og eventuelt om fuktinnholdet reduseres (Geving, 2012).

Uteklimate er en av de viktigste faktorene som påvirker fuktforholdene i yttervegger og tak. Det er benyttet et referanseår, (MDRY), for fuktberegningene. I forbindelse med fuktberegninger bør det benyttes referanseår med mer kritisk belastning på konstruksjonen enn gjennomsnittsåret. På den måten får man det ønskede sikkerhetsnivået mot fuktskader (Geving & Thue, 2002).

For inneklimate er det viktig med en korrekt og tilstrekkelig beskrivelse, slik at beregningene gir pålitelige resultater. Ofte har denne parameteren større betydning for fuktforholdene i ytterkonstruksjonene enn uteklimate. Stadig oppgis temperatur og RF som konstante verdier over året, noe som kan være en alvorlig overforenkling (Geving & Thue, 2002).

Fukttilskudd er den klart viktigste parameteren for innklimaet, og gir et direkte mål på hvor stor fuktbelastning konstruksjonen er utsatt for. Denne påvirker også inneluftas RF (Stellander, 2012).

Innetemperaturen settes konstant i beregningene. Temperaturen varierer som regel over året, sammen med RF som er høy om sommeren og lav om vinteren. Derfor blir det benyttet en innetemperatur som kan anses som gjennomsnittlig for hele året.

For forutsetninger og grunninnstillinger i programmet, se Tabell 3.

Tabell 3. Startbetingelser i WUFI beregningen.

Parameter	Verdi
Startfuktnivå element	RF = 70 % (elementene er bygd i fabrikk)
Starttemperatur	20 °C
Beregningsperiode	1. januar 2013 – 1. januar 2016
Uteklima	Oslo
Innklima	Fuktklasse 2
Innetemperatur	20 °C
Orientering	Nord, 90°
Regnvannabsorpsjonstall	0,7
Kortbølget strålingsabsorpsjonsfaktor	0,8 (Treverk, gran brunmalt)
Langbølget strålingsemissivitet	0,9 (Treverk, gran brunmalt)
Luftskifte hulrom	20 1/h

Det er gjort simuleringer i WUFI for å finne startfuktnivået i teglfasaden. På den måten var det mulig å finne en verdi som ga mer realistiske resultater for de videre beregningene. I disse simuleringene ble kun den eksisterende fasaden beregnet, med startbetingelser og materialeegenskaper som for standardkonstruksjonen. Uteklimaet ble endret til Bergen, etter som dette gir større påvirkning på ytterfasaden enn Oslo-klimaet. Videre ble også orienteringen endret til sørvest for å få størst effekt av klimapåkjenningene. Det ble først regnet på en eldre teglstein, og deretter på en av nyere art, for å se om dette ga noen forskjell i verdier. Beregningene ble gjort for å finne frem til brukbare verdier for ett normalt fuktnivå og ett høyt fuktnivå i teglsteinsfasaden. På den måten kan startfuktnivået i den eksisterende fasaden benyttes som en parametervariasjon, for å se om tilstanden på den eksisterende fasaden har noen innvirkning på fuktsituasjonen i elementet. Resultatene fra disse beregningene vises i Tabell 4, og vil benyttes som startfuktnivå i teglfasaden i de videre WUFI beregningene.

Tabell 4. Resultater på startfuktnivå for teglfasaden.

Tilstand	Startfuktnivå
Normalt	20 kg/m ³
Høyt	179,79 kg/m ³

For resultater og forutsetninger som er gjort i beregningene for å finne startfuktnivået i teglfasaden, se vedlegg 6.

De resterende inndataene i WUFI programmet er uendret.

8.1.3 Materialparametre

Materialparametrene i WUFI er inndelt i basis- og fuktavhengige parametre. Materialets egenskaper i tørr tilstand bestemmes av basisparametrene som består av:

- Romdensitet [kg/m^3]
- Porøsitet [m^3/m^3]
- Spesifikk varmekapasitet tørr [J/kgK]
- Varmekonduktivitet tørr, 10 °C [W/mK]
- Vanndampdiffusjonsmotstandstall [μ]

Mange materialer er kapillæraktive, og WUFI benytter derfor parametre som endrer seg i forhold til fuktnivået. Aktuelle parametre er:

- Fuktlagringsfunksjon (sorpsjonskurve) [Vanninnhold som funksjon av RF]
- Fuktdiffusivitetkoeffisient, oppsuging [m^2/s]
- Fuktavhengig varmekonduktivitet [W/mK]
- Vanndampdiffusjonsmotstand [μ]

Tilnærmet like materialgrupper kan inneholde relativt store forskjeller i materialparametre, og endringer kan føre til store utslag i beregningene. På den måten er det viktig å skaffe seg oversikt over hvilke parametre som er av betydning for beregningen, og hvilke som ikke er det (Stellander, 2012).

I denne beregningen er det endret på parametre for OSB-platen. Det er benyttet tall fra målinger utført av SINTEF Byggforsk. OSB-platen som benyttes er Nordbord Sterling OSB 3. Tykkelse 12 mm, og egenskaper som vist i Tabell 5 nedenfor.

Tabell 5. Egenskaper for Nordbord Sterling OSB 3 (Stig Geving, e-post, 16. april 2013).

RF (gjennomsnittlig)	S_d
25,1 %	4,6 m
84,7 %	0,94 m

Det benyttes lineær interpolering, med konstante verdier under 25,1 % og over 84,7 %. S_d verdiene regnes om til μ -verdi, og plottes inn som ”Vanndampdiffusjonsmotstand, fuktavhengig” ved hjelp av formelen: $S_d = \mu \cdot d$, der d er tykkelse i meter, og μ er vanndampdiffusjonsmotstand.

Videre er det kontrollert at GU-platen har tilstrekkelig S_d -verdi. Bortsett fra dette er det ikke justert noen parametre i de andre sjiktene.

8.1.4 Parametervariasjoner

De parametrene som vil varieres i beregningene er:

- Vindsperremateriale
- Fuktnivå i eksisterende konstruksjon
- Inneklima
- Orientering av fasaden
- Uteklima

Beregningene utføres både med GU-plate og OSB-plate som vindsperre. Dette gjøres for å se om OSB-platen er egnet som både vindsperre og dampbrems i samme konstruksjon. I litteraturen er det funnet eksempler på at bruk av OSB-plate ikke er å anbefale som både dampbrems og vindsperre i samme element. Dampbrems er for tette mot dampdiffusjon til å brukes som vindsperre (Edvardsen & Ramstad, 2007). Denne teorien vil derfor testes ut gjennom WUFI beregninger.

Fuktnivå i den eksisterende konstruksjonen er en parametervariasjon som synliggjør om fuktnivået i teglsteinen har betydning for det nye elementet. Teglsteinen kan bli veldig oppfuktet før montering, og dette må da tørke også etter at fasadeelementet er montert på konstruksjonen. For dårlige uttørkingsmuligheter gjennom konstruksjonen kan da by på problemer i forhold til fukt i konstruksjonen.

Inneklima vil påvirke hvor mye fukt som tilføres konstruksjonen, og vil vise om det oppstår fuktproblemer på baksiden av dampbremsen som følge av endring i fukttilskuddet. I tillegg vil det synliggjøre muligheter for å tørke utover i konstruksjonen, og om vindsperren er for tett slik at det skapes problemer med fukt på baksiden av vindsperren. I WUFI programmet varierer inneklimaet etter fuktclasser. I fuktclassene 1, 2, 3 og 4 settes fukttilskuddet med utetemperatur ≤ 0 °C til en konstant verdi henholdsvis lik 2, 4, 6, og 8 g/m³. For temperaturer mellom 0 og 20 °C, varierer fukttilskuddet lineært fra verdien ved 0 °C til 0 g/m³ ved 20 °C.

Orientering av fasaden benyttes for å teste om konstruksjonen kan benyttes både på fasader med gode tørkingsforhold, og fasader med mindre sol og ofte kaldere overflatetemperatur.

Uteklimate varierer over hele verden. Dersom man skal kunne anbefale et produkt er uavhengighet av lokalisering en fordel. Det er aktuelt å gjøre beregninger med uteklimate for Tyskland og Finland, siden disse landene er involvert i smartTES prosjektet.

Tabell 6 viser en oversikt over de parametrene som er aktuelle i WUFI beregningene.

Tabell 6. Parametervariasjon for WUFI beregninger.

Parametre	Variabler	Beregningstilfeller for bindingsverksvegg															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Vindsperre	GU-plate	X		X		X		X		X		X		X		X	
	OSB-plate		X		X		X		X		X		X		X		X
Fuktnivå i eksisterende konstruksjon	Normalt	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Høyt			X	X												
Inneklima	Fuktklasse 1					X	X										
	Fuktklasse 2	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X
	Fuktklasse 3							X	X								
Orientering av fasaden	Nord	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X
	Sør									X	X						
Uteklimate	Oslo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
	Bergen											X	X				
	Holzkirchen													X	X		
	Espoo															X	X

8.1.5 Betingelser for beregning

Det er risiko for muggvekst i elementet dersom RF er over 80 %, samt at temperaturen er over 5 °C. I tillegg vil risikoen bli større dersom RF og temperatur øker (Geving & Thue, 2002).

Monitorpunkter settes på kritiske steder i konstruksjonen, som mellom sjikt hvor det kan utvikles fukt. Målinger settes i sjiktet mellom vindsperren og isolasjonen, og mellom isolasjonen og utjevningssjiktet.

Luftesjiktet bak den utvendige kledningen fikk egenskaper som et vanlig luftsjikt med ”additional moisture capacity”. Altså med ekstra fuktkapasitet i luftspalten. Dette ble feil. Luftsjiktet skulle ikke hatt ekstra fuktkapasitet. Dette ble dessverre oppdaget etter alle beregningene var gjort. En test med luftsjikt uten ekstra fuktkapasitet ble gjort, og viste minimale forskjeller i resultatene. Derfor ble egenskapene for luftsjiktet beholdt. Det er antatt at dette ikke påvirker resultatene som er fremstilt senere i oppgaven. Likevel kan det være viktig å ha dette i bakhodet ved vurdering av resultatene.

8.2 Fuktrisiko ved bruk av ventilasjonskanaler i elementene.

I forbindelse med smartTES prosjektet og rehabilitering ved bruk av treelementer, er det mulig å integrere ventilasjonskanaler i elementene. Det aktuelt å gjøre beregninger for å kontrollere om det er fare for fuktrisiko i elementene ved bruk av ventilasjonskanaler. Isolasjonssjiktet blir mindre der ventilasjonskanalen er lokalisert, samtidig som at temperaturen inne i kanalen vil være forskjellig fra temperaturen inne i elementet. Konsekvensene av dette er ønskelig å kartlegge. Derfor gjøres det simuleringer for å finne fuktforholdet med og uten ventilasjonskanal i fasadeelementet, og for å kartlegge hvilken effekt variasjoner med utvalgte parametre vil ha.

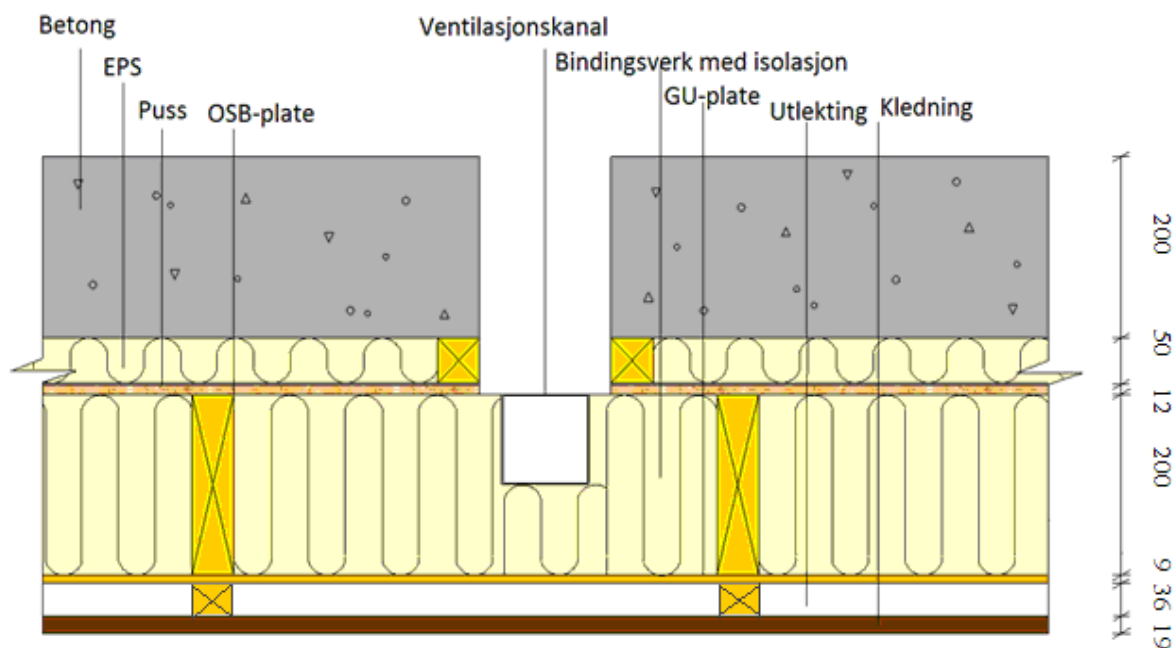
8.2.1 Standardkonstruksjon

Simuleringene gjøres med prefabrikkerte treelementer på utsiden av en betongfasade. Ut i fra tegninger er det antatt at betongveggen er isolert utvendig med 50 mm isolasjon, som deretter er pusset på utsiden. Det er antatt at pussene utenpå den utvendige isolasjonen vil gi en jevn fasade, slik at det ikke er nødvendig med utjevningssjikt på baksiden av disse elementene. Treelementene simuleres så med og uten ventilasjonskanaler. Ventilasjonskanalene vil simuleres som kvadrater med en diameter på 100 mm, etter som det ikke er mulig å tegne sirkler i WUFI programmet. Det er antatt et gapet i betongkonstruksjonen på 150 mm, for at kanalen skal kunne føres gjennom den eksisterende konstruksjonen.

Oppbygning av standard fasadeelementet vil være:

- OSB-plate, 12 mm
- Bindingsverk med isolasjon, 200 mm
- GU-plate, 9 mm

Dette fasadeelementet festes utenpå en 200 mm tykk murvegg med 50 mm utvendig isolasjon, se Figur 50.



Figur 50. Standardkonstruksjon for simulering med ventilasjonskanaler.

Det vil gjøres noen parametervariasjoner også med materialene i fasadeelementet, men figuren over viser standardkonstruksjonen som vil benyttes for sammenligning.

8.2.2 Startbetingelser

Startbetingelsene for standardkonstruksjonen er gjengitt i Tabell 7 nedenfor, og er i utgangspunktet lik startbetingelsene fra kapittel 8.1. Noen av disse vil påvirkes av parametervariasjoner i beregningene.

Tabell 7. Startbetingelser for beregning av fuktrisiko i forbindelse med ventilasjonskanaler i element.

Parameter	Verdi
Startfuktnivå i elementet	RF = 70 % (elementene er bygd i fabrikk)
Starttemperatur	20 °C
Beregningsperiode	1. januar 2013 – 1. januar 2015
Uteklima	Oslo
Inneklima	Fuktklasse 2
Innetemperatur	20 °C
Orientering	Nord, 180 °C
Helling	90°
Varmeovergangskoeffisient inne/ute	8 W/m ² K / 17 W/m ² K
Regnvannsabsorpsjonsfaktor	0,7
Kortbølget strålingsabsorpsjonsfaktor	0,8 (tre, gran, malt brunt)
Langbølget strålingsemissivitet	0,9 (tre, gran, malt brunt)
Luftskifte i ventilerert kledning	20 1/h

Startfuktnivået på den eksisterende konstruksjonen vil være forskjellig fra startfuktnivået i treelementet. Dette på grunn av at ytterveggen er en konstruksjon som har eksistert lengre enn

treelementet, og har et annet fuktnivå. Noe som kommer av at den eksisterende fasaden har vært utsatt for uteklimaet i en lang periode. Derfor er det antatt som normalt byggfuktnivå i betongen og EPSen på RF lik 80 %, mens et høyt nivå vil være på RF lik 90 % (Stig Geving, samtale, 14. mai 2013).

8.2.3 Parametervariasjoner

De parametrene som varieres i beregningene er:

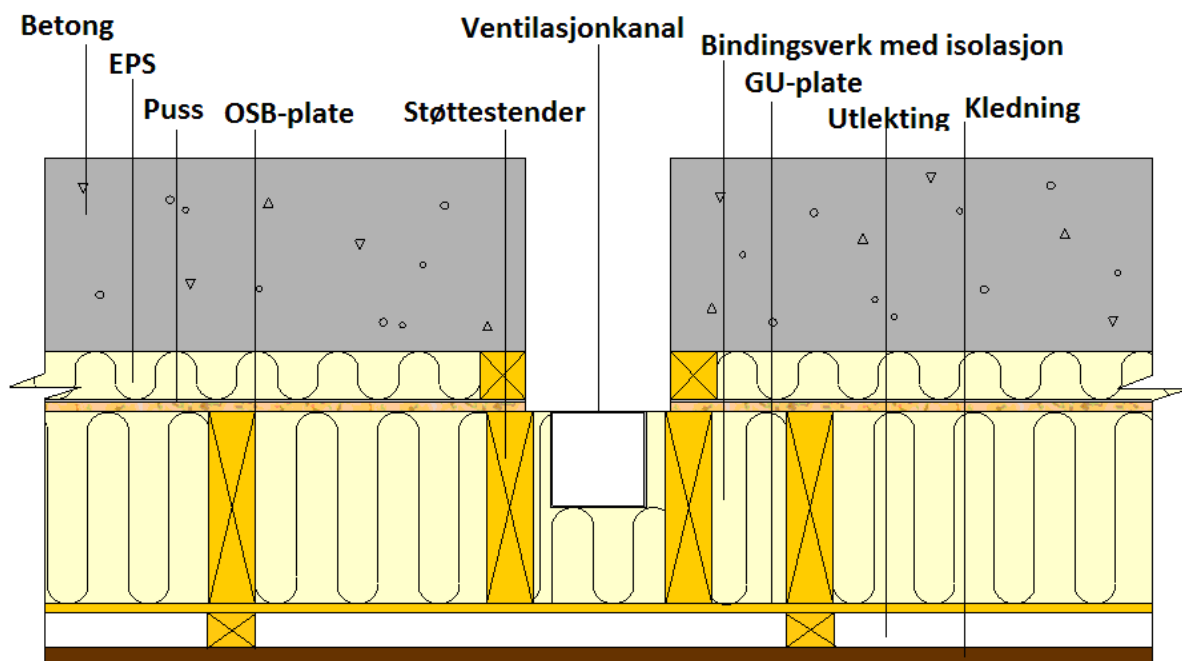
- Vindsperremateriale
- Temperatur i ventilasjonskanal
- Startfuktnivå på den eksisterende fasaden
- Støttestendere på siden av ventilasjonskanalen
- Overdekning lik 50 mm

Slik som beregningene i kapittel 8.1 vil det også her utføres simuleringer både med GU-plate og OSB-plate som vindsperre. Dette for å teste om utvendig dampmotstand kan ha påvirkning på fuktproblematikken i elementet. Disse beregningene vil også kunne forsterke/avkrefte påstanden om at OSB-plate ikke er anbefalt å benytte både som vindsperre og dampbrems i samme konstruksjon (Edvardsen & Ramstad, 2007). Her vil det benyttes samme data som i simuleringene i kapittel 8.1.

Temperaturen i ventilasjonskanalen kan variere ut i fra virkningsgraden på varmegjenvinneren og temperaturforskjellen mellom inne- og utelufta. Derfor er det viktig å variere temperaturen inne i kanalen også i beregningene for å kontrollere hvordan fuktnivået endrer seg. For å gjøre dette på best mulig måte er det lagt inn en ventilasjonskilde i kanalen, der luftskiftet kan justeres. Dette vil tilnærmet utgjøre endringer i temperaturen inne i kanalen, og dermed simulere fuktsituasjonen i elementet med forskjellig virkningsgrad på varmegjenvinneren. Dersom varmegjenvinneren ikke fungerer er det antatt ett luftskifte på 1000, for å få temperaturen i kanalen lik utetemperatur. Mens det simuleres med luftskifte på 100 som normalt, da dette gir en temperatur der lufta er oppvarmet i varmegjenvinneren.

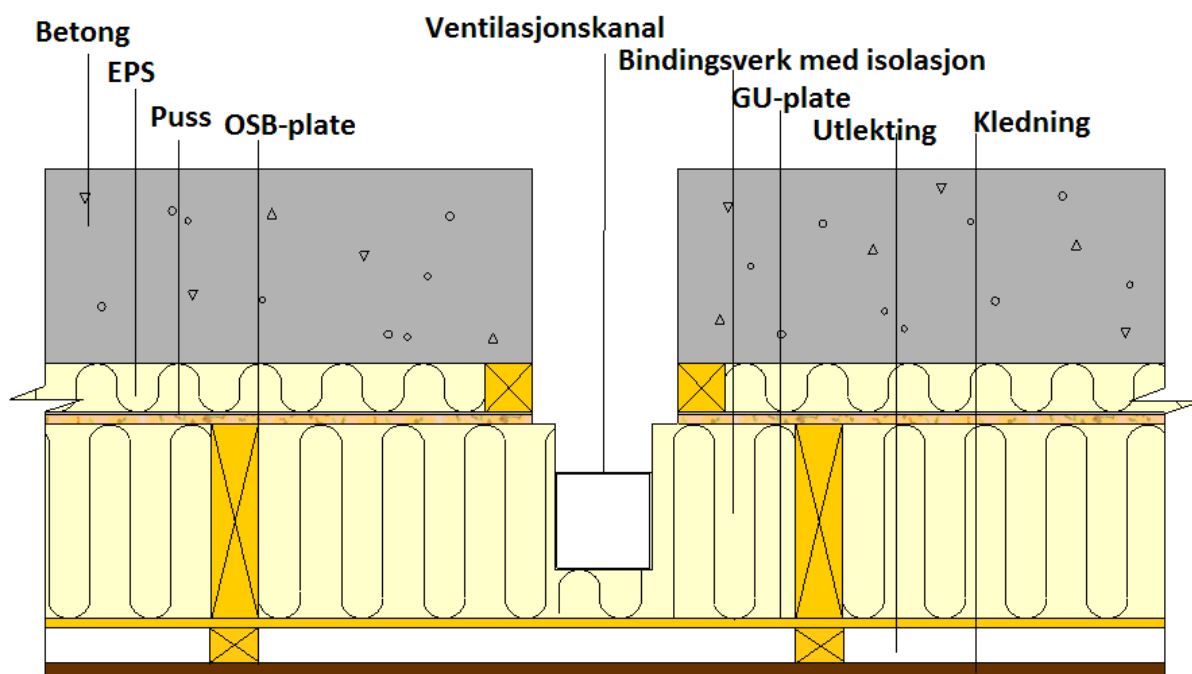
I forhold til den eksisterende veggen er startfuktnivået varierende, og denne parameteren vil kunne påvirke fuktsituasjonen i fasadeelementet i stor grad. Elementet monteres direkte på den eksisterende fasaden, og vil derfor påvirkes av forholdene som eksisterer i veggen. Det er derfor gjort beregninger både med normalt og høyt startfuktnivå. Det antas at veggen er direkte utsatt for klimapåkjenninger, og at sannsynlig fuktnivå på betongen og EPSen på 80 % RF for normalt nivå og 90 % RF på høyt nivå.

I tillegg vil det simuleres en konstruksjon med støttestendere så tett inntil ventilasjonskanalen som mulig. Figur 51 illustrerer dette. Det gjøres for å observere hvilken effekt stenderen vil ha på fuktsituasjonen i elementet, etter som det er vanlig å benytte støttestendere i denne typen konstruksjoner. Ved bruk av støttestendere i nærheten av ventilasjonskanalen vil luften ikke kunne flyte like fritt forbi kanalen, og det kan derfor forventes at fuktproblemer kan oppstå.



Figur 51. Støttestendere i elementet med ventilasjonskanal.

Videre vil det gjøres beregninger med variasjon i overdekningshøyden for isolasjonen på utsiden av ventilasjonskanalen. Her vil det simuleres både med en standardkonstruksjon med 100 mm og med overdekning 50 mm. Dette gjøres for å kontrollere om mengden isolasjon på utsiden av kanalen har betydning for fuktforholdet i konstruksjonen. Figur 52 viser hvordan elementet er tenkt utformet med 50 mm isolasjon som overdekning.



Figur 52. Element med 50 mm isolasjonsoverdekning foran kanalen.

Tabell 8 viser variasjonene i parametre for beregning av fuktproblematikk i forbindelse med integrering av ventilasjonskanaler i fasadeelementene.

Tabell 8. Parametervariasjoner for beregning med ventilasjonskanaler i fasadeelementene.

Parametre	Variabler	Beregningstilfeller for fasadeelementet					
		1	2	3	4	5	6
Vindsperre	GU-plate	X		X	X	X	X
	OSB-plate		X				
Temperatur i ventilasjonskanal	Normal	X	X		X	X	X
	Kald			X			
Startfuktnivå i betongfasaden	Normalt	X	X	X		X	X
	Høyt				X		
Støttestendere	2 cm fra kanalen					X	
Overdekning	100 med mer	X	X	X	X	X	
	50 med mer						X

Steder som er betraktet som mest utsatt for fuktproblematikk er på innside og utside av ventilasjonskanalen i elementet, samt på hjørnene av kanalen. Derfor er det disse punktene som vil vurderes og fokuseres på i fremstillingen av resultater for beregningene.

9 Resultater av WUFI beregninger

Her presenteres resultatene fra WUFI beregningene i kapittel 8.

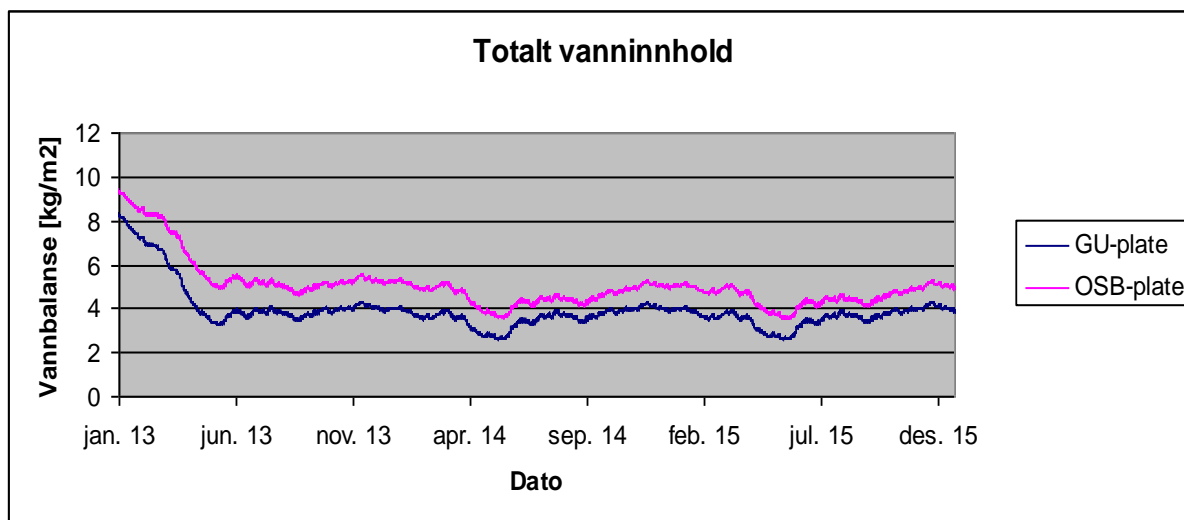
9.1 Resultater for bruk av OSB-plater i elementene

Resultatene av simulering for kartlegging av eventuell fuktproblematikk i konstruksjonen, ble hentet ut og plottet inn i nye grafer ved hjelp av Excel. Her ble grafene fra forskjellige beregninger plottet sammen etter behov, slik at det ble lettere å sammenligne og analysere resultatene.

9.1.1 Sammenligning av standardkonstruksjonene

Hovedhensikten med beregningene er å kartlegge om fuktproblematikk vil oppstå på baksiden av vindspærren og dampbremsen. Derfor vil det først være aktuelt å se om det oppstår fuktproblematikk i standardkonstruksjonene, altså med GU-plate og OSB-plate som vindspærre, og i tillegg sammenligne disse.

I forhold til totalt vanninnhold i konstruksjonene, så viser resultatene at vanninnholdet er større med bruk av OSB-plate som vindspærre istedenfor GU-plate. Vanninnholdet er høyere fra starten av simuleringene, og det legger seg på en høyere fuktlikevekt med bruk av OSB-plate. Dette er på grunn av at OSB-plate har høyere fuktlikevekt enn GU-platen. Grafene viser, se Figur 53, at vanninnholdet ikke er akkumulerende i konstruksjonen i løpet av simuleringsperioden. Dette betyr at begge elementtypene har mulighet til å tørke i løpet av perioden.



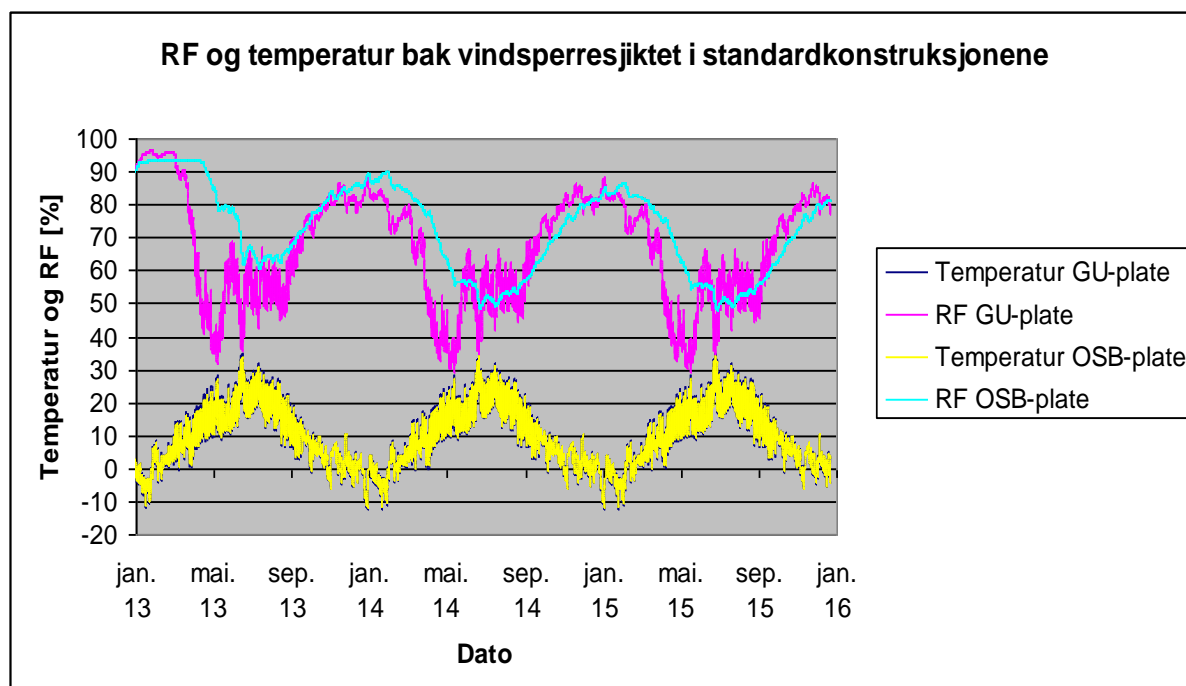
Figur 53. Totalt vanninnhold i standardkonstruksjonene.

Når det gjelder RF og temperatur viser resultatene for simulering med bruk av GU-plate, at det finnes noen tilfeller rundt november og februar hvert år hvor RF er over 80 % og temperaturen ligger rundt 5 °C. Temperaturen synker så raskt under 5 °C når RF stiger høyere enn 80 %. I forhold til dampbremsen er RF jevnt under 80 %, selv om temperaturen aldri er lavere enn 9 °C.

For simulering med bruk av OSB-plate som vindspærre, er det også tilfeller i desember og mars hvor RF er over 80 % og temperaturen ligger over 5 °C. Temperaturen legger seg så

under 5 °C, mens RF stiger over 80 %. Grafen for dampbremsen viser at RF legger seg jevnt under 80 %, mens temperaturen som oftest ligger godt over 9 °C.

Figur 54 viser en sammenligning av simulering av RF og temperatur på baksiden av vindsperrsjiktet i standardkonstruksjonene. Verdiene og utviklingen av RF og temperatur er veldig lik for begge konstruksjonene.



Figur 54. RF og temperatur bak vindsperrsjiktet i standardkonstruksjonene.

Grafer for simulering av fuktproblematikk på baksiden av dampbremsen er vist i vedlegg 7. Vedlegg 7 viser resultater som ikke er av spesiell interesse, men som kan være nødvendige for å dokumentere resultater som blir gjengitt og kommentert. Dette gjelder resultater som er lik grafer som allerede er vist i rapporten, eller resultater som dokumenterer situasjoner uten fuktproblematikk. Her er grafene stort sett tatt direkte ut fra WUFI programmet, siden resultatene er ment for dokumentasjon. Derfor er det ikke nødvendig med mer sammenligning enn det man kan se ut i fra å sidestille grafene.

9.1.2 Høyt startfuktnivå

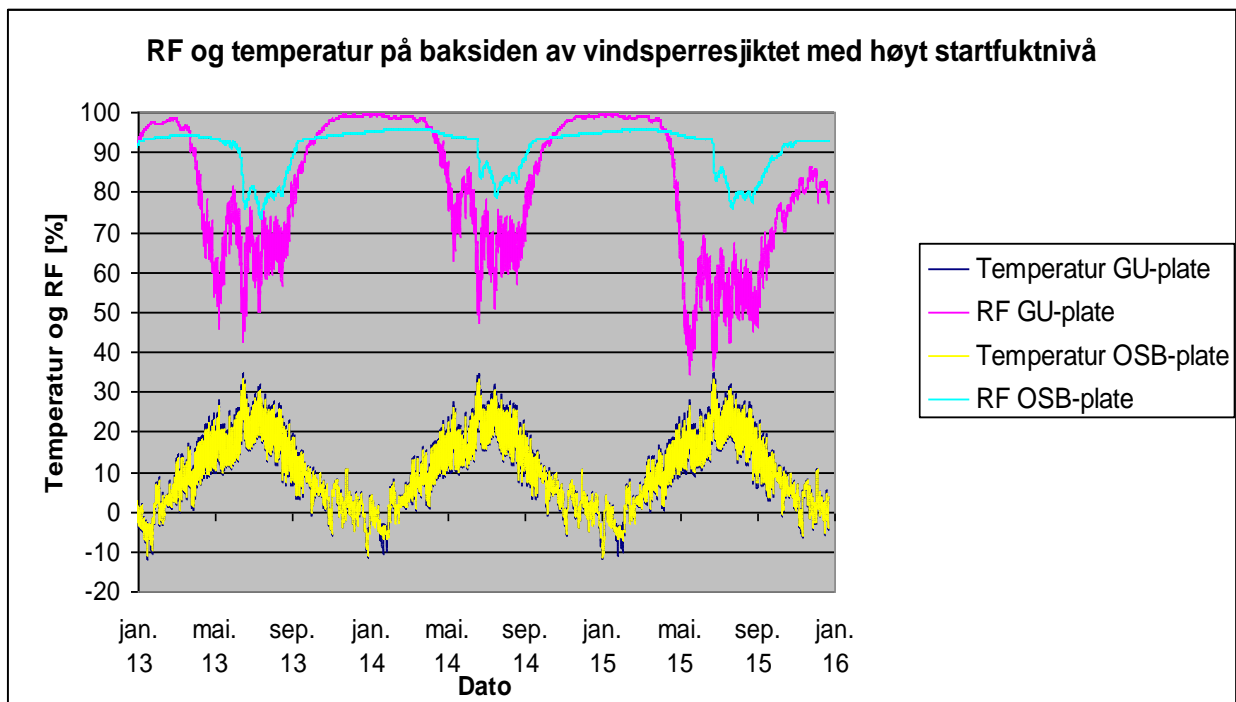
Her er det totale vanninnholdet synkende for begge konstruksjonene, og det er ikke stor forskjell i verdiene for variantene. Likevel er nivået høyere enn hos standardkonstruksjonen, se vedlegg 7.

I forhold til RF og temperatur for bruk av GU-platen, viser resultatene at disse er høyere enn for standardkonstruksjonen. I lengre perioder både på høsten og på våren, er temperaturen over 5 °C samtidig som RF ligger høyt over 80 %. Dette gjelder også på baksiden av dampbremsen, der RF ligger jevnt på ca 95 % helt til våren i det andre simuleringsåret, og hvor temperaturen aldri ligger under 5 °C.

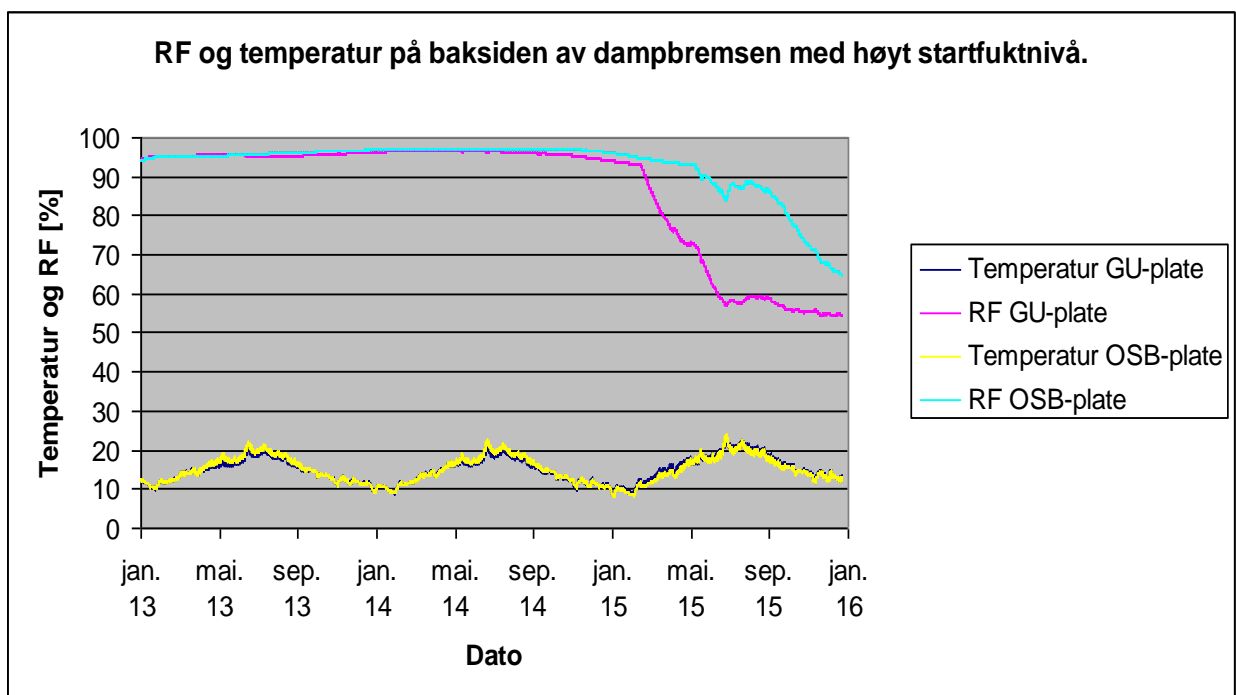
For bruk av OSB-plate som vindsperre vises det også at RF og temperatur ligger høyere enn normalt. Også her vil det være lengre perioder både på våren og høsten med RF over 80 % og hvor temperaturen ligger over 5 °C. Dette gjelder også på baksiden av dampbremsen, der RF

ligger rundt 95 % for omtrent hele simuleringsperioden og temperaturen aldri er lavere enn 8 °C. Likevel er RF verdiene lavere for simulering av OSB-platen som vindspærre, enn ved bruk av GU-plate.

Figur 55 viser en sammenligning for RF og temperatur på baksiden av vindspærresjiktet i konstruksjonene med høyt startfuktnivå i teglfasaden. Mens Figur 56 viser en sammenligning for RF og temperatur på baksiden av dampbremsen for konstruksjonene med høyt startfuktnivå i teglveggen.



Figur 55. RF og temperatur på baksiden av vindspærresjiktet med høyt startfuktnivå.



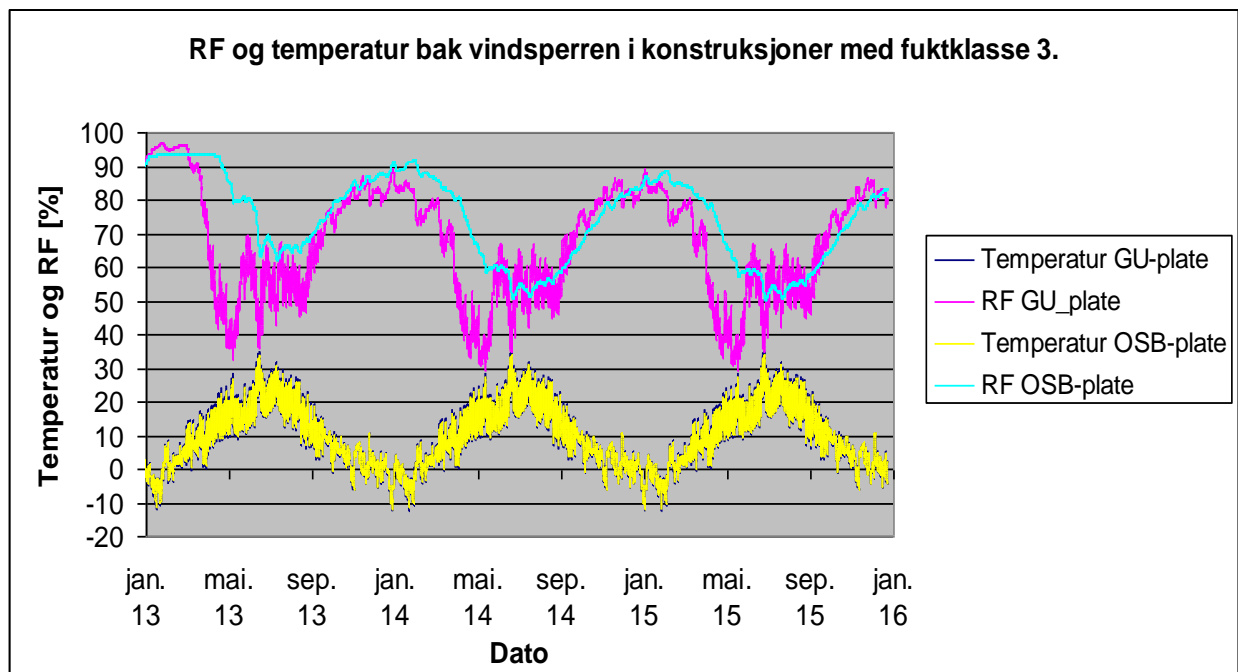
Figur 56. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med høyt startfuktnivå.

9.1.3 Variasjon i fuktklasse

Resultatene for simulering med variasjon i fuktklasse viser jevnt over små forskjeller fra standardkonstruksjonene, og vanninnholdet er fortsatt synkende. For totalt vanninnhold med fuktklasse 1 er verdiene mindre og fuktlikevekten oppnås på et lavere nivå enn for standardkonstruksjonene. Dette gjelder både for bruk av GU-plate og for OSB-plate. For fuktklasse 3 blir verdiene høyere, og likevekt oppnås på et litt høyere nivå enn for standardkonstruksjonen. For grafer som viser totalt vanninnhold i elementene, se vedlegg 7.

I fuktklasse 1 har man små perioder, både med bruk av GU-plate og OSB-plate, hvor RF er høyere enn 80 % samtidig som temperaturen er over 5 °C. Disse periodene er veldig korte. Resultatene for dampbremsen viser at RF legger seg på et jevnt nivå på omtrent 50 %, mens temperaturen aldri er under 9 °C, se vedlegg 7 for grafer.

For simulering av fuktproblematikk på baksiden av GU-platen i fuktklasse 3, viser grafen at det fortsatt kun er små perioder på høsten og på våren med RF høyere enn 80 %, samtidig som at temperatur over 5 °C kan forekomme. Simulering med OSB-plate som vindsperre viser at periodene på høsten og våren med RF over 80 % og temperatur over 5 °C er lengre. Se Figur 57. Videre viser resultatene at det ikke er fare for fuktproblematikk på baksiden av dampbremsen med verken GU-plate eller OSB-plate, etter som RF ligger på et jevnt nivå godt under 80 %, selv om temperaturen aldri er lavere enn 9 °C. Vedlegg 7 viser resultatene for simulering av fuktproblematikk på baksiden av dampbremsen med fuktklasse 3.

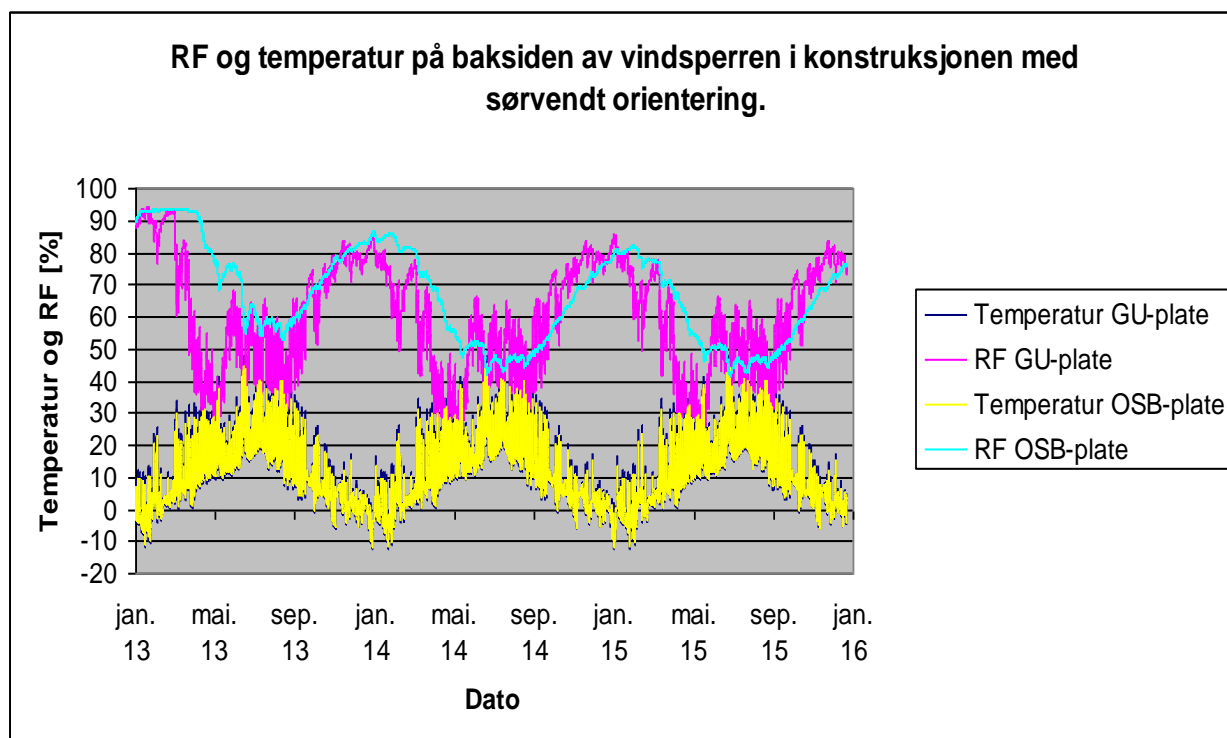


Figur 57. RF og temperatur bak vindspærren i konstruksjoner med fuktklasse 3.

9.1.4 Orientering av fasaden

Simulering med orientering mot sør viser at vanninnholdet ikke er akkumulereende, verken for bruk av GU-plate eller OSB-plate. Dessuten er grafen veldig lik vanninnholdet i standardkonstruksjonene, og har derfor høyere verdier for OSB-plate enn for GU-plate, se grafer i vedlegg 7.

Videre viser resultatene for RF og temperatur i konstruksjonene at periodene med RF over 80 % og temperatur over 5 °C er sjeldne og kortvarige, se Figur 58. Dette gjelder først og fremst på baksiden av vindspærren. På baksiden av dampbremsen ligger også RF stabilt under 80 %, selv om temperaturen ligger jevnt over 5 °C i begge tilfellene. Se grafer i vedlegg 7.



Figur 58. RF og temperatur på baksiden av vindspærren i konstruksjonen med sørvendt orientering.

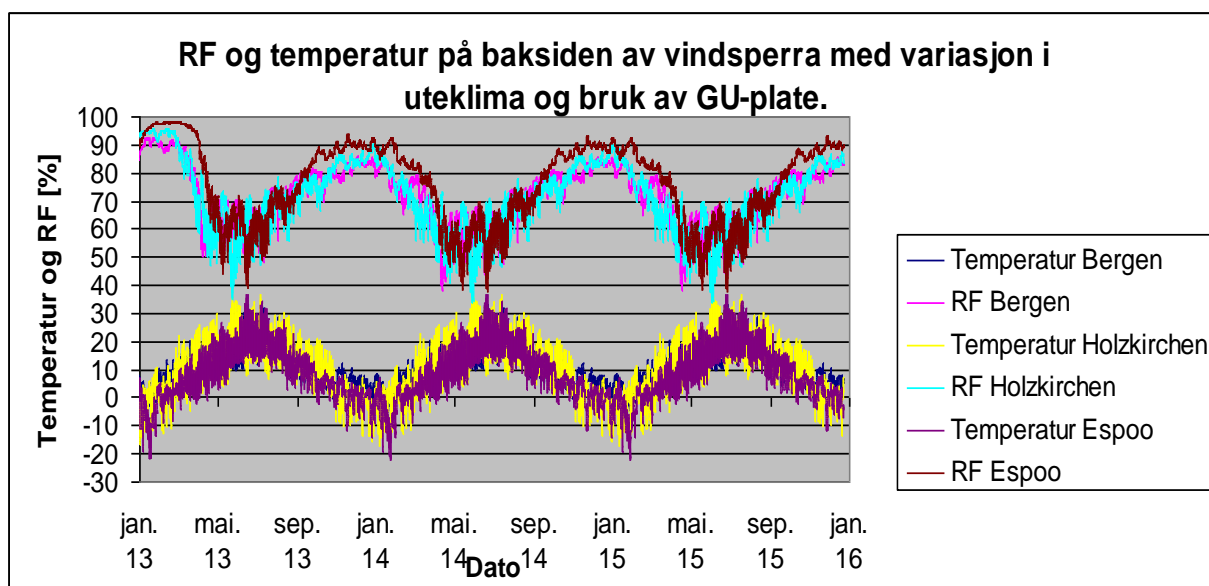
9.1.5 Uteklima

Med parametervariasjon i uteklima er forskjellene større. Beregninger av total vanninnhold viser at grafene er synkende, det vil si at vanninnholdet ikke akkumulerer. Både startverdi og fuktlikevektnivå ligger litt høyere for begge konstruksjonene. Dette gjelder faktisk for både Bergen, Holzkirchen og Espoo. Dette vises i vedlegg 7.

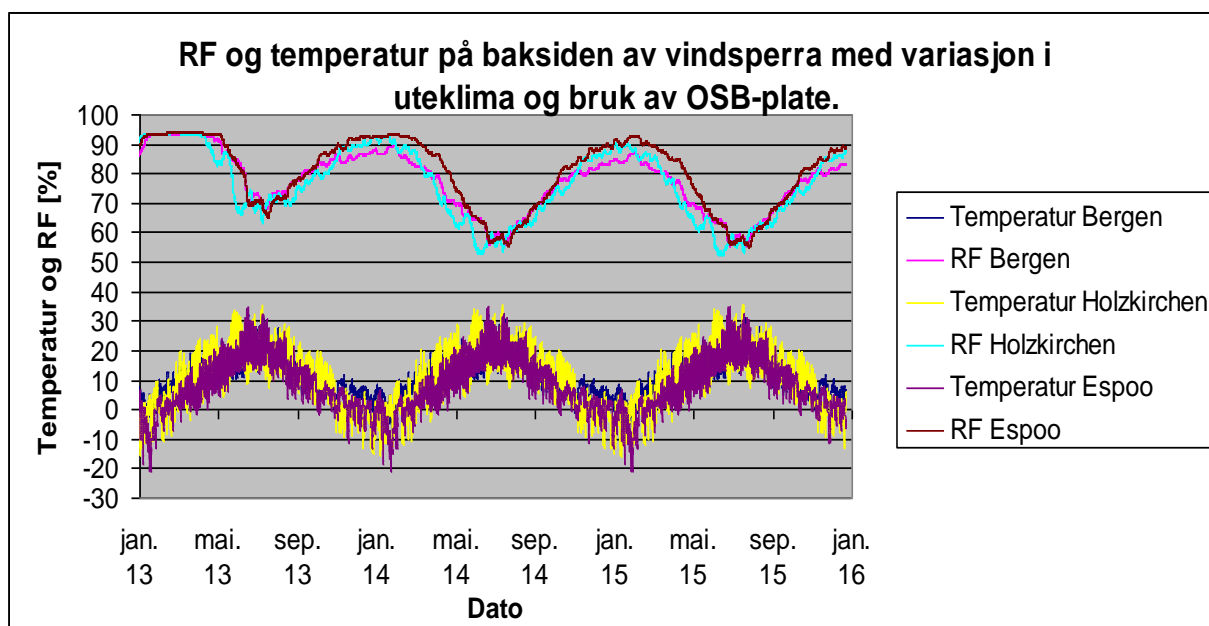
Perioden hvor RF ligger over 80 % samtidig som temperaturen ligger over 5 °C er lengre for variasjoner i uteklima enn for standardkonstruksjonen. For simulering av Bergensklima viser resultatene at temperaturen ligger høyere enn for simulering med Osloklima. Det vil si at i den kritiske perioden hvor RF ligger over 80 %, ligger temperaturen oftere og lengre over 5 °C. Simuleringer for bruk av GU-platen viser at temperaturen oftere ligger rundt 5 °C og høyere, i løpet av den perioden med RF over 80 %. Med bruk av OSB-plate er perioden med RF over 80 % og temperatur over 5 °C, lengre enn for standardkonstruksjonen. Den varer fra høsten til våren, der temperaturen ofte ligger over 5 °C. Forholdene på baksiden av dampbremsen viser et jevnt nivå med RF rundt 60 % og temperatur aldri lavere enn 10 °C. Se vedlegg 7.

Resultatene fra Holzkirchen og Espoo har samme tendenser. De viser at med bruk av GU-plate som vindspærre vil det kun være små perioder der RF er over 80 % samtidig som temperaturen er over 5 °C, spesielt på våren. For OSB-platen derimot ligger RF nivået høyere, og periodene med kritiske verdier er lengre spesielt på våren. For både Holzkirchen og Espoo ligger RF stabilt på omtrent 60 % på baksiden av dampbremsen. Temperaturen er aldri lavere enn 7 °C. Resultatene fra dette kan vises i vedlegg 7.

Figur 59 viser grafene for RF og temperatur på baksiden av vindsperran for klimavariasjon mellom Bergen, Holzkirchen og Espoo. Mens Figur 60 viser resultatene for simulering av RF og temperatur på baksiden av vindsperran med variasjon i uteklima.



Figur 59. RF og temperatur på baksiden av vindsperran med variasjon i uteklima og bruk av GU-plate.



Figur 60. RF og temperatur på baksiden av vindsperran med variasjon i uteklima og bruk av OSB-plate.

9.2 Resultater for fuktrisiko ved bruk av ventilasjonskanaler i elementene

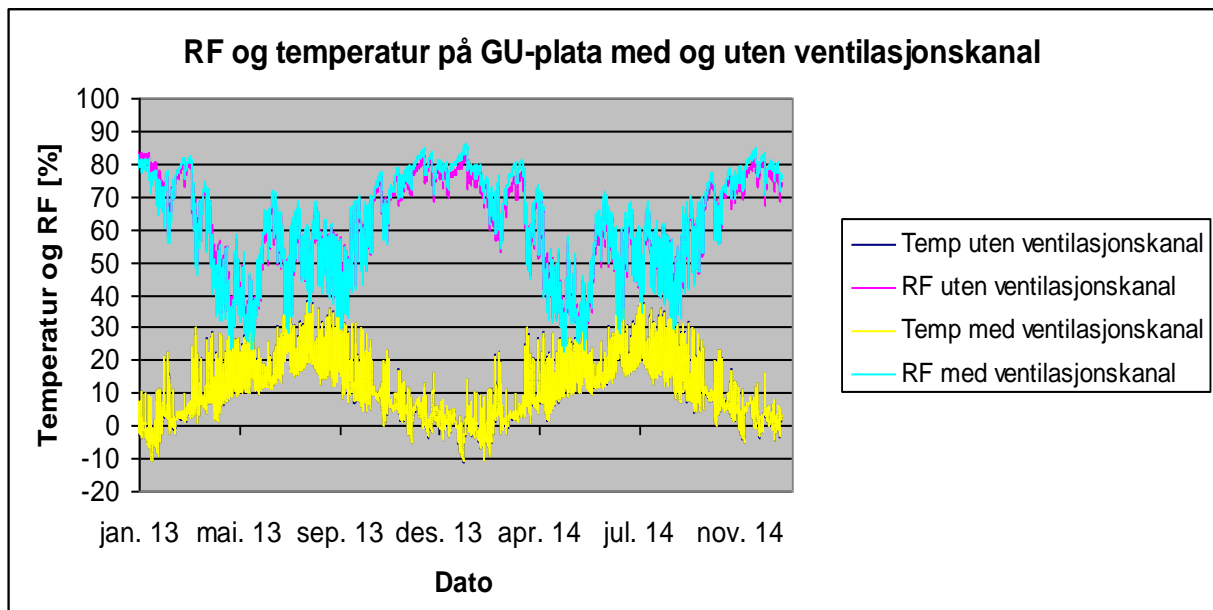
Her presenteres resultatene fra simuleringene med ventilasjonskanal integrert i fasadeelementet. Disse resultatene avdekker om fuktproblematikk bør forventes i forbindelse med ventilasjonskanaler, og ut i fra forskjellige parametervariasjoner.

9.2.1 Standardkonstruksjon med og uten ventilasjonskanal

Resultatene for standardkonstruksjonen uten ventilasjonskanal viser et synkende vanninnhold. Dersom hele konstruksjonen skal vurderes i ett, ligger RF stabilt under 80 %, mens temperaturen ligger over 8 °C. Videre er det sett spesielt på vindsperren og dampbremsen, for å kontrollere om det vil dannes fuktproblematikk på disse stedene. For vindsperren, GU-platen, ligger RF rundt 80 % i noen tilfeller midt på vinteren, og da med temperatur under 5 °C. Perioder hvor RF er over 80 %, samtidig som temperatur er over 5 °C, er veldig korte. For dampbremsen, OSB-platen, ligger temperaturen alltid over 13 °C, men RF er aldri over 80 %.

Simuleringene for standardkonstruksjonen med ventilasjonskanal viser at vanninnholdet i elementet er synkende. En vurdering av den totale konstruksjonen viser at selv om temperaturen stort sett ligger over 5 °C, er RF aldri over 80 %. Nærmere studering av GU-platen viser at RF i perioder ligger over 80 %. Dette skjer rundt desember – februar. Temperaturen i denne perioden er likevel stort sett under 5 °C. Også her er perioden der RF over 80 % samt temperatur over 5 °C veldig kort. OSB-platen gir ingen grunn til bekymring i forhold til fuktproblematikk, da RF aldri er over 80 %, selv om temperaturen er over 14 °C. Vedlegg 8 viser resultater for totalt vanninnhold for alle simuleringene. I tillegg vises resultater for simulering av RF og temperatur på OSB-platen for alle simuleringsvariantene.

Figur 61 viser en sammenligning mellom RF og temperatur på GU-platen i konstruksjonen med og uten ventilasjonskanal.

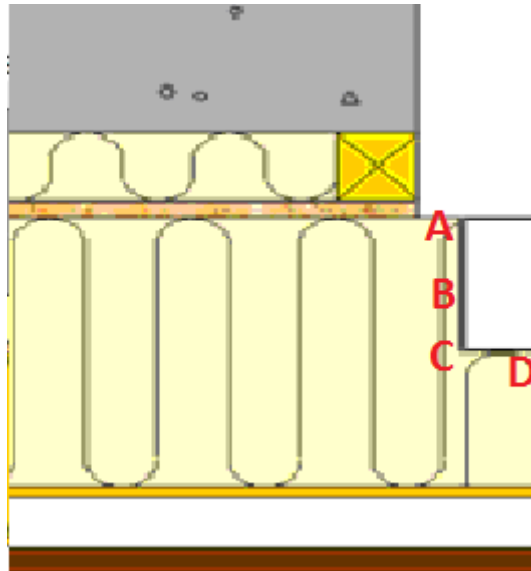


Figur 61. RF og temperatur på GU-plata med og uten ventilasjonskanal i elementet.

I vedlegg 8 finnes noen resultater som benyttes for å dokumentere påstander og resultater i rapporten. Disse resultatene blir vurdert som ikke interessant nok til å være med i selve rapporten. Dette kommer av at de enten er veldig lik andre grafer som er tatt med i dette kapitlet, eller at grafene dokumenterer forhold som er ukritiske med tanke på fuktskader. Det er ikke nødvendig å vise alle resultatene i form av grafer, og derfor er de lagt inn i vedlegg 8 istedenfor.

9.2.2 Variasjon i vindsperrematerial

Relativ fuktighet og temperatur er kontrollert for fire punkter rundt ventilasjonskanalen, merket A, B, C og D på Figur 62 nedenfor. Det er disse punktene som er ansett som mest utsatt i forbindelse med fuktproblematikk for elementer med integrerte ventilasjonskanaler. Disse punktene vil sammenlignes for parametervariasjonene videre i oppgaven.

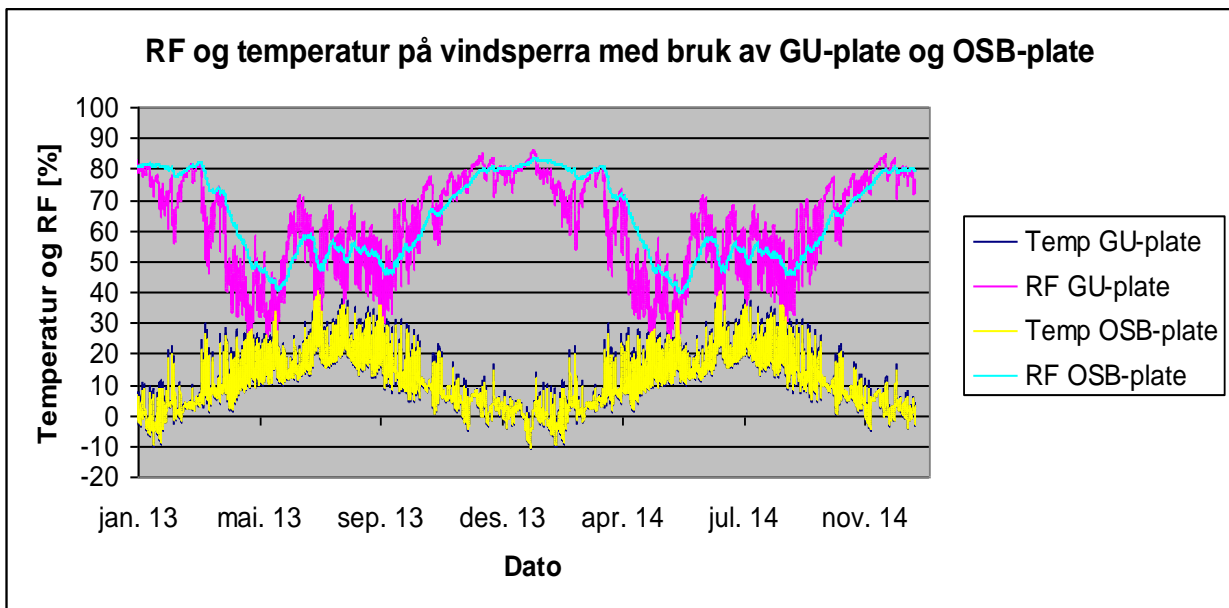


Figur 62. Punkter for simulering av RF og temperatur rundt ventilasjonskanalen.

For elementet med ventilasjonskanal integrert og GU-plate som vindsperre, viser simuleringene av punktene omkring ventilasjonskanalen at RF aldri ligger over 80 %, selv om temperaturen stort sett ligger over 5 °C. Figur 64 viser resultatet for RF og temperatur for punkt D i elementet, mens vedlegg 8 viser resultater for alle fire punktene.

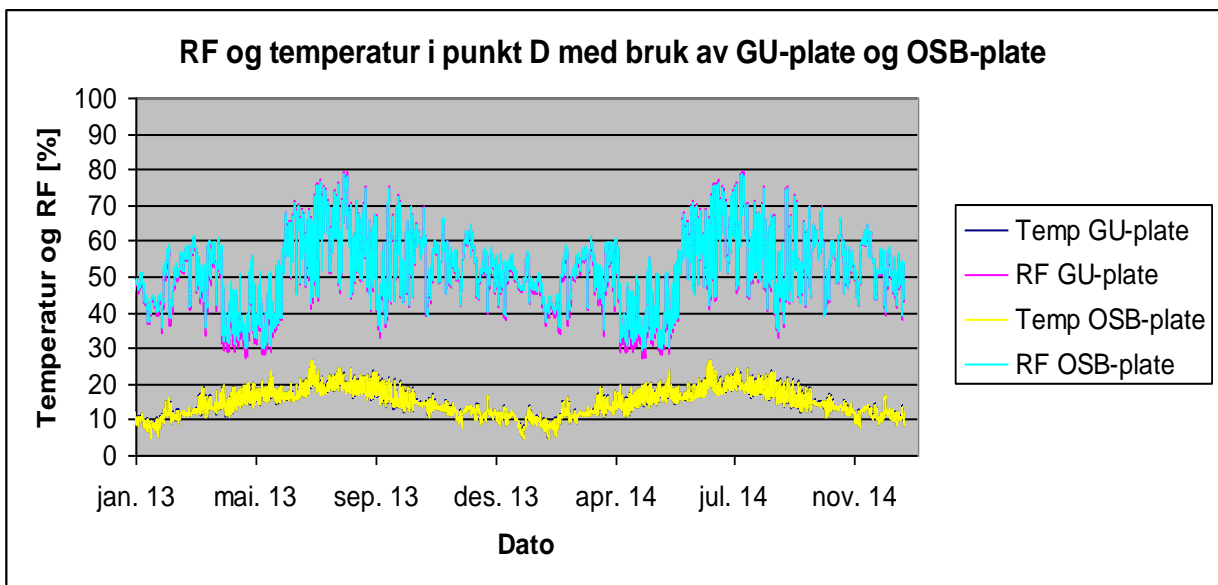
Simulering med bruk av OSB-plate som vindsperre istedenfor GU-plate, og ventilasjonskanal integrert i elementet, viser at vanninnholdet i konstruksjonen er synkende. En vurdering av hele konstruksjonen viser at RF aldri ligger over 80 %. Mens temperaturen alltid er over 8 °C. En nærmere vurdering av vindsperren viser at RF ligger over 80 % i perioder rundt desember – februar. Temperaturen i disse periodene ligger stort sett under 5 °C, men det er perioder hvor RF over 80 % inntreffer samtidig som temperaturen er over 5 °C. Situasjonen på dampbremsen viser ingen grunn til bekymring, da RF aldri ligger over 80 %. Temperaturen her ligger alltid over 14 °C. Vedlegg 8 viser en graf for RF og temperatur forholdene på baksiden av dampbremsen for alle konstruksjonene.

Figur 63 viser en sammenligning for bruk av GU-plate og OSB-plate som vindsperre i element med ventilasjonskanal.



Figur 63. RF og temperatur på vindsperran med bruk av GU-plate og OSB-plate.

For punktene omkring ventilasjonskanalen, viser simuleringene omtrent samme resultat som for elementet med GU-platen. Her er RF aldri over 80 %, selv om temperaturen som oftest ligger godt over 5 °C. Figur 64 viser RF og temperatur for punkt D i elementet med bruk av både GU-plate og OSB-plate. Punkt D er valgt siden det har de høyeste RF verdiene samt at temperaturen er lavest. Vedlegg 8 viser en oversikt over RF og temperatur for alle punktene omkring ventilasjonskanalen, med bruk av OSB-plate som vindsperre.

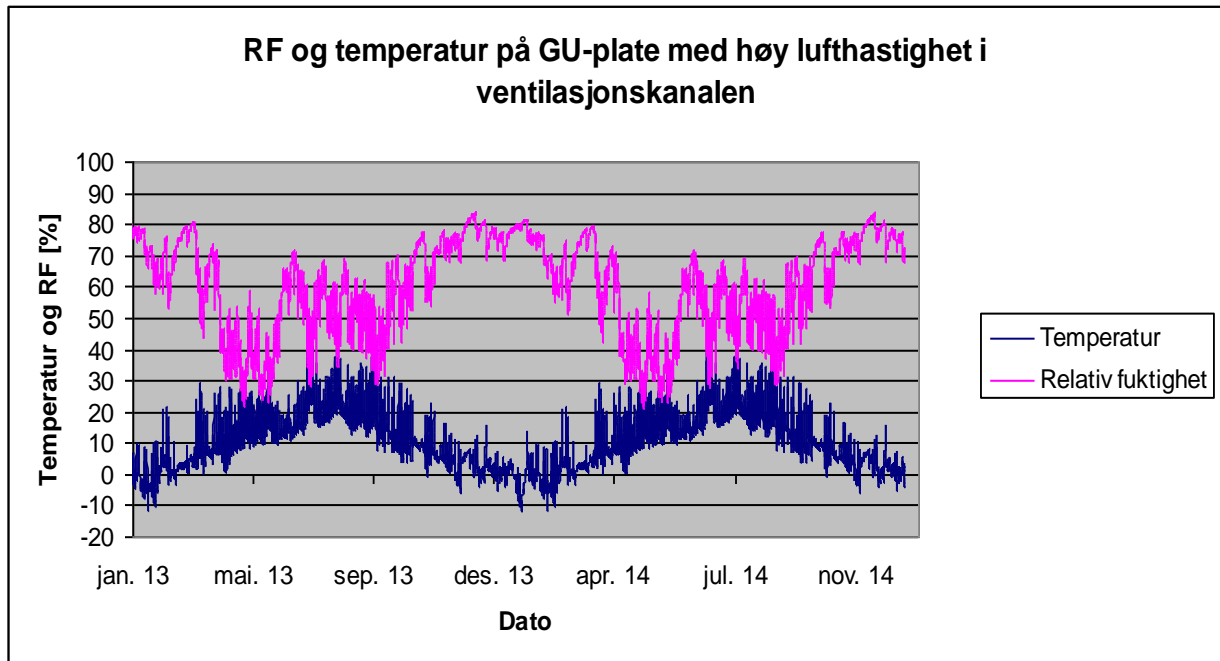


Figur 64. RF og temperatur i punkt D med bruk av GU-plate og OSB-plate.

9.2.3 Temperatur i ventilasjonskanal

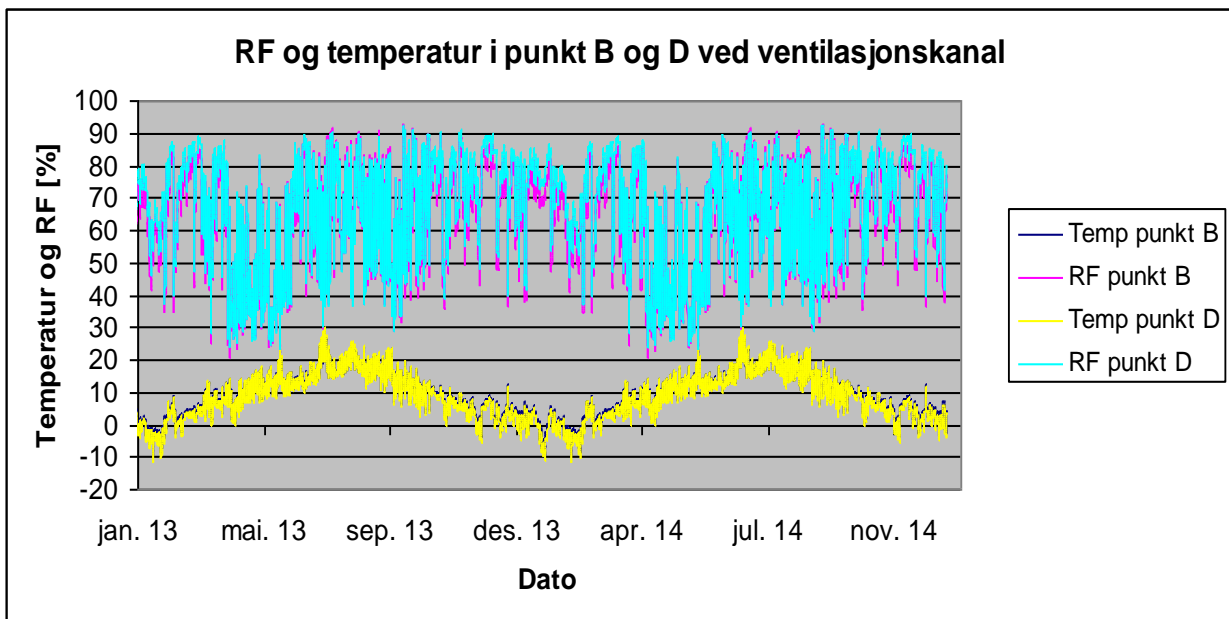
Beregninger utført med høyere lufthastighet i ventilasjonskanalen skal simulere en lavere temperatur i kanalen. Temperatursenkingen kan komme av at varmegjenvinneren for eksempel ikke fungerer på optimal måte.

Disse beregningene viser at vanninnholdet i elementet er synkende, det vil si at det ikke akkumulerer, se vedlegg 8. Videre viser en totalvurdering av konstruksjonen at RF aldri ligger over 80 %, mens temperaturen ligger over 5 °C. Simulering på GU-platen viser at RF ligger over 80 % i perioden desember – februar. Mens temperaturen i samme tidsperiode til tider ligger over 5 °C. Disse periodene er korte, og dette illustreres best i Figur 65 nedenfor. På OSB-platen ligger aldri RF over 80 %, og temperaturen ligger aldri lavere enn 12 °C, se graf vedlegg 8.



Figur 65. RF og temperatur på GU-plate med høy lufthastighet i ventilasjonskanalen.

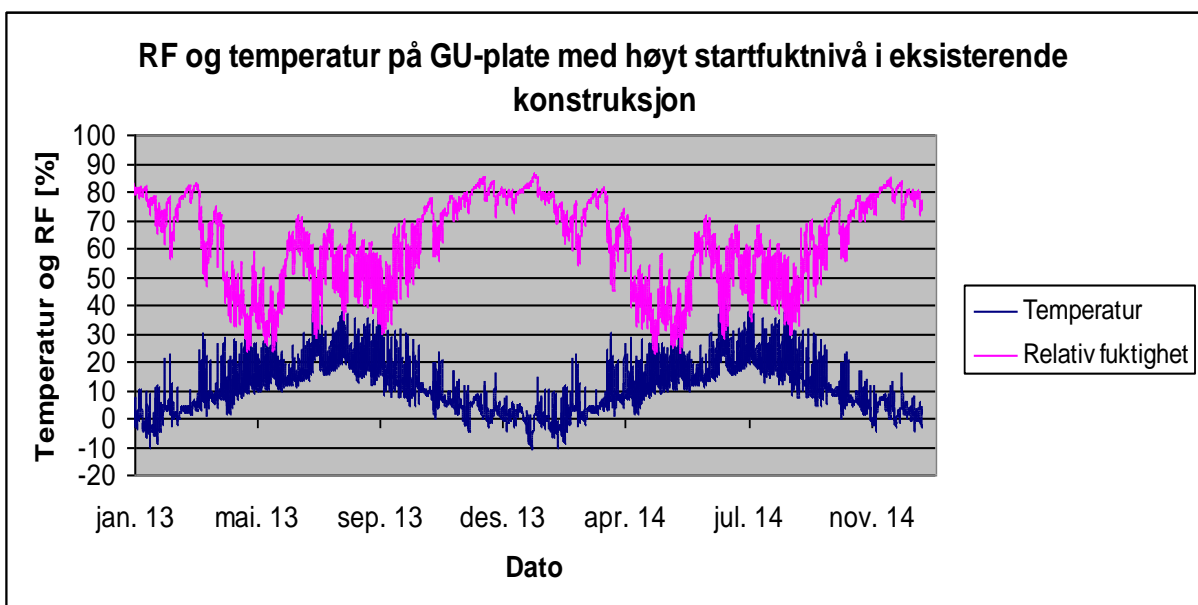
Simulering av forholdene rundt ventilasjonskanalen viser at RF tidvis ligger over 80 % i alle punktene, samtidig som at temperaturene i disse periodene stort sett ligger over 5 °C. De verste forholdene finnes i punkt B og D, hvor RF ligger jevnt over 80 %. Se Figur 66 nedenfor. Vedlegg 8 viser en oversikt over RF og temperatur for alle punktene rundt kanalen.



Figur 66. RF og temperatur i punkt B og D ved ventilasjonskanal med høy lufthastighet i ventilasjonskanalen.

9.2.4 Startfuktnivå på eksisterende vegg

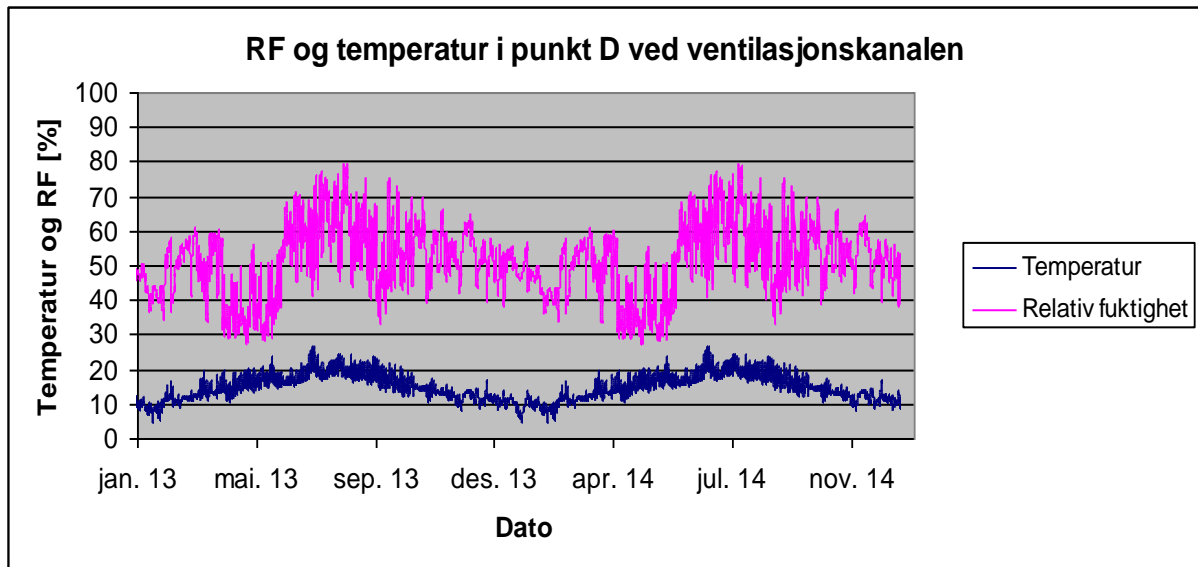
For simulering med bruk av et høyere startfuktnivå på eksisterende vegg, viser resultatene at vanninnholdet i konstruksjonen ikke akkumulerer. Dette vises ved hjelp av graf i vedlegg 8. For temperatur og RF over hele konstruksjonen, ligger RF aldri over 80 % mens temperaturen ligger over 8 °C. Tilstanden på GU-platen er at RF ligger over 80 % fra desember – februar, mens temperaturen i disse periodene til tider ligger over 5 °C. Dette illustreres ved hjelp av Figur 67 nedenfor. For OSB-platen er RF under 80 %, mens temperaturen ligger over 13 °C, se graf i vedlegg 8.



Figur 67. RF og temperatur på GU-plate med høyt startfuktnivå i eksisterende konstruksjon.

Når det gjelder de utvalgte punktene rundt ventilasjonskanalen, er RF aldri over 80 % i noen av punktene. Temperaturen ligger som regel godt over 5 °C. Figur 68 under viser RF og

temperatur i punkt D, som har det høyeste nivået for RF. Graf for RF og temperaturforhold for alle punktene vises i vedlegg 8.

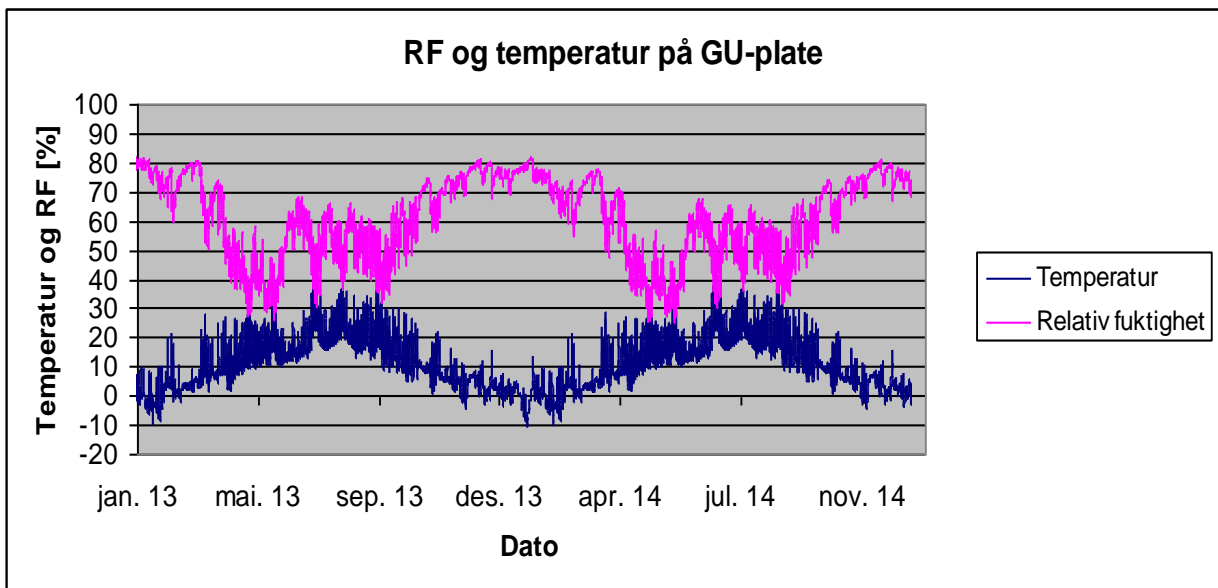


Figur 68. RF og temperatur i punkt D ved ventilasjonskanalen med høyt startfuktnivå i eksisterende konstruksjon.

9.2.5 Støttestendere

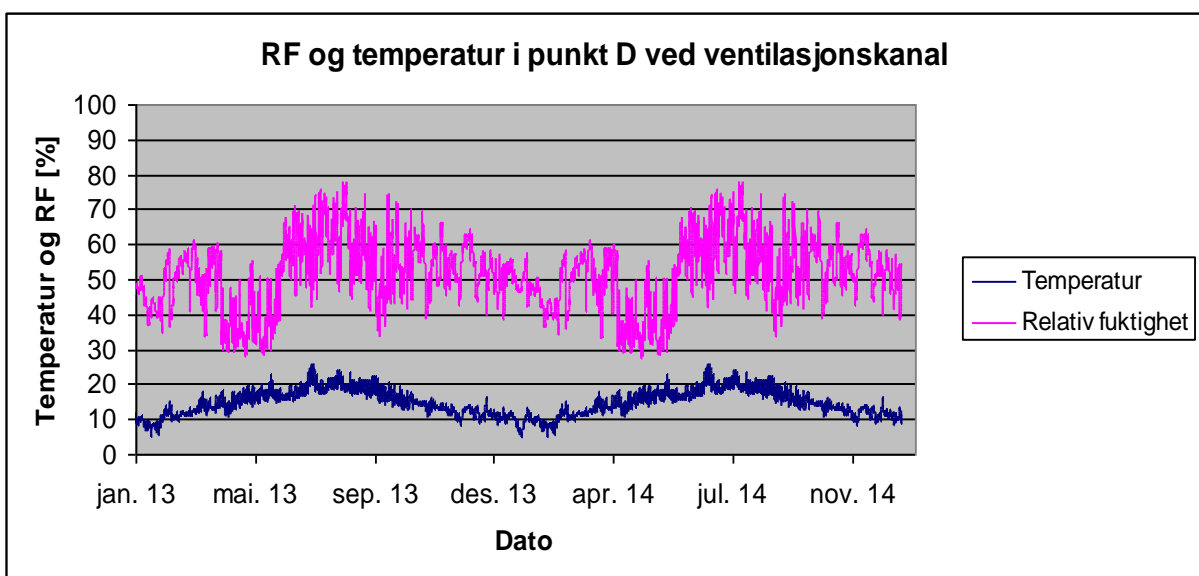
Siden det noen ganger benyttes støttestendere i forbindelse med integrering av ventilasjonskanaler i elementer, er det også gjort simuleringer for å finne fuktforholdet i en slik konstruksjon. Her er støttestenderne satt inn på siden av ventilasjonskanalen, og det er forventet at det kan oppstå fuktproblemer mellom kanalen og stenderen etter som luften ikke får like fri gjennomstrømning her. I tillegg til å undersøke punktene rundt kanalen, er det også hentet ut informasjon om RF og temperatur på punkter ved stenderen.

Vanninnholdet i hele konstruksjonen er synkende, det vil si at det ikke akkumulerer. Se graf for totalt vanninnhold i vedlegg 8. RF nivået for hele konstruksjonen ligger under 80 %, mens temperaturen ligger over 8 °C. Mens RF på GU-platen i perioder så vidt ligger rundt 80 %. Dette er i perioden desember – februar. I denne perioden ligger også temperaturen over 5 °C til tider. Likevel er dette veldig korte perioder, med lave temperaturer og RF så vidt over 80 %. Figur 69 illustrer nettopp dette. Mens RF for OSB-platen aldri ligger over 80 %, og temperaturen ligger over 13 °C, se vedlegg 8.



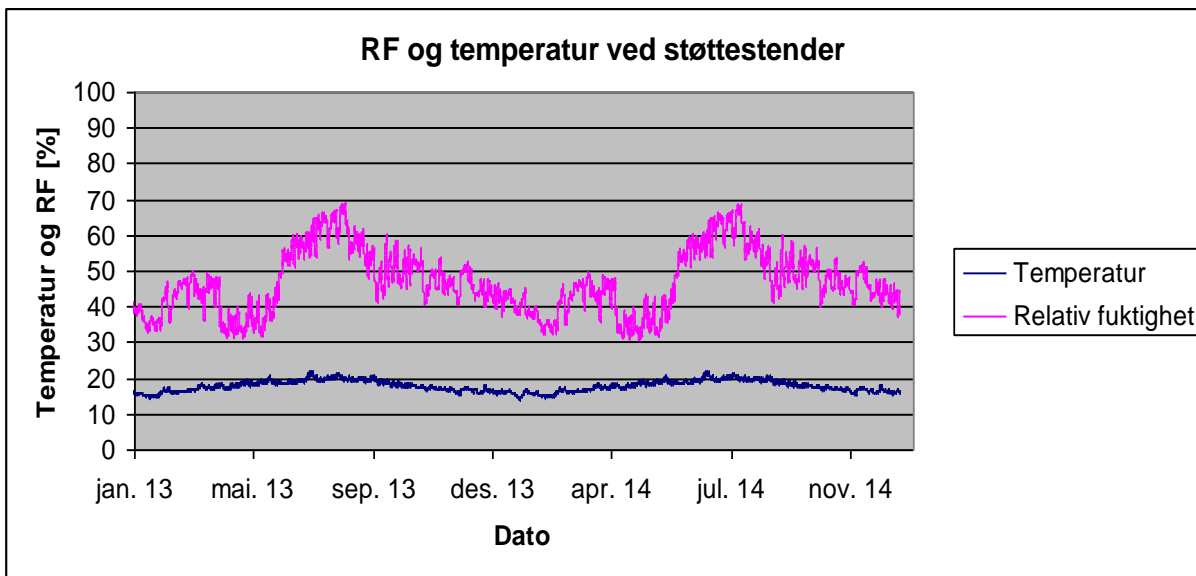
Figur 69. RF og temperatur på GU-platen med bruk av støttestendere i konstruksjonen.

For punktene rundt ventilasjonskanalen ligger RF alltid under 80 %, og temperaturen ligger oftest over 5 °C. Figur 70 nedenfor viser temperatur og RF for punkt D. I denne simuleringen var RF nivået ganske jevnt for alle punktene, og det var ingen av punktene som skilte seg ut like tydelig som punkt D har gjort i de tidligere simuleringene. Se vedlegg 8 for resultater for alle punktene.



Figur 70. RF og temperatur i punkt D ved ventilasjonskanal med støttestender i konstruksjonen.

Beregningene viser at forholdene omkring støttestenderne heller ikke er kritiske. Det ble lagt inn to punkter i isolasjonssjiktet helt inntil stenderen mot ventilasjonskanalen. Det ene punktet ble lagt ca midt på stenderen, mens det andre ble lagt helt oppe mot overgangen til OSB-platen. For begge punktene ligger RF under 80 % for hele simuleringsperioden, mens temperaturen ligger jevnt over 5 °C. Figur 71 viser RF og temperaturforholdet i punktet midt på stenderen, siden temperaturen er lavere i dette punktet enn i punktet helt opp mot OSB-platen.

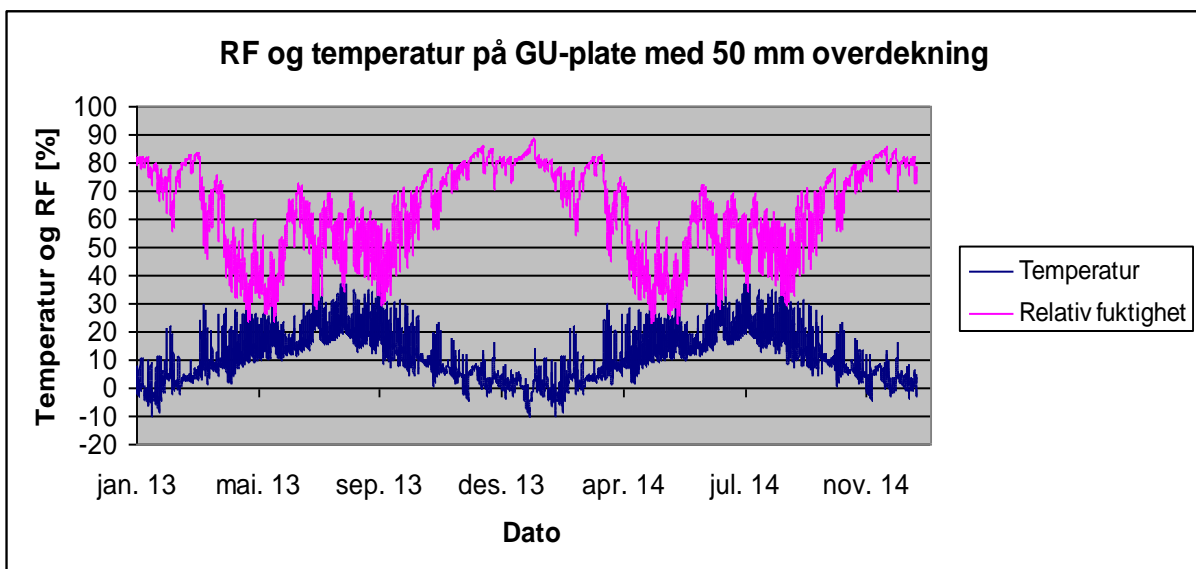


Figur 71. RF og temperatur ved støttestender.

9.2.6 Overdekning

Den siste parametervariasjonen går ut på å minske overdekningen mellom ventilasjonskanalen og vindspærren. Elementet er simulert med 50 mm isolasjon som overdekning.

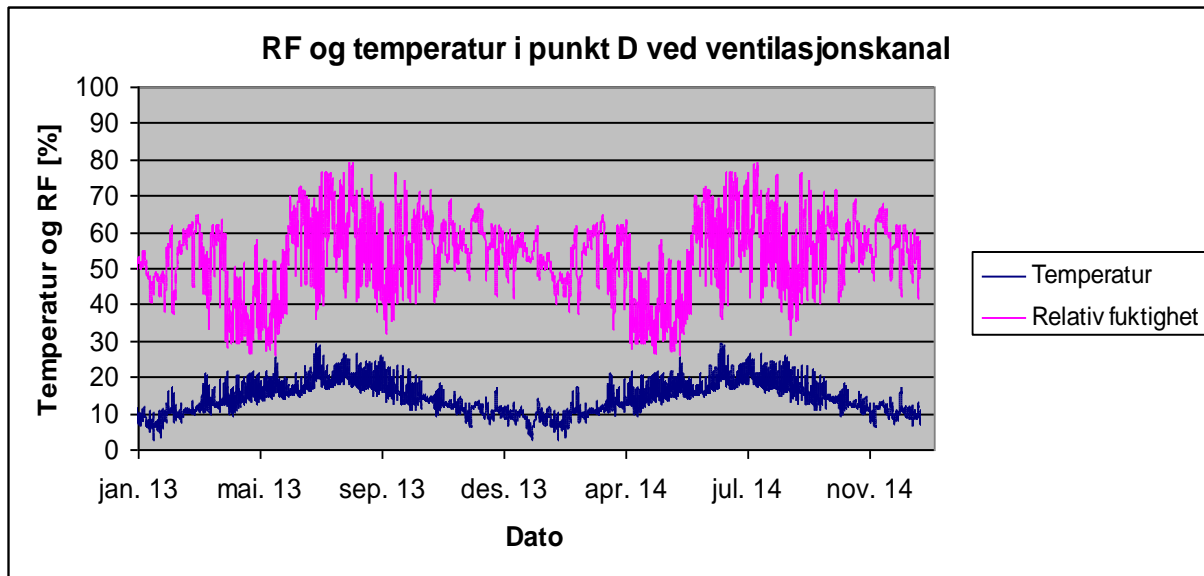
Resultatene for denne simuleringen viser at vanninnholdet er synkende for denne situasjonen. For illustrasjon av totalt vanninnhold for alle konstruksjonene, se vedlegg 8. Videre er RF for hele konstruksjonen under 80 %, mens temperaturen ligger over 9 °C. For GU-platen er RF over 80 % i perioden desember – februar, mens temperaturen enkelte ganger ligger over 5 °C i denne tidsperioden, se Figur 72. For OSB-platen er det ikke noen grunn til bekymring for fuktskader. RF ligger jevnt under 80 %, mens temperaturen ligger over 15 °C. Se vedlegg 8.



Figur 72. RF og temperatur på GU-platen med 50 mm overdekning.

Resultatene hentet fra punktene rundt ventilasjonskanalen viser at RF ligger under 80 % både i punkt A, B, C og D. Mens temperaturen stort sett ligger godt over 5 °C. Også her illustreres

RF og temperatur forholdene i punkt D i Figur 73 under. Vedlegg 8 viser oversikt over alle punktene.



Figur 73. RF og temperatur i punkt D ved ventilasjonskanal med 50 mm overdekning.

10 Diskusjon

For en rehabilitering av eldre boligblokker, slik som planlagt i Nordahl Bruns gate, er det en klar fordel med prefabrikkerte fasadeelementer i tre. Først og fremst er rask monterings tid en betydelig faktor, siden boligblokken ofte er bebodd under rehabiliteringen. Selv om boligblokken ikke er bebodd, vil kort rehabiliteringsperiode være fordelaktig, da man ønsker å ta i bruk boenhetene fortrest mulig. Bygging av elementer medfører større effektivitet i produksjonen sammenlignet med plassbygging (Edvardsen & Ramstad, 2007). Man sparer tid i montering og har redusert behov for bemanning på byggeplassen (Farstad, 2012). Begge disse faktorene vil gi en positiv effekt på rehabiliteringsprosjektet i forhold til både tid og penger. I tillegg vil muligheten for integrering av både vinduer, dører og tekniske systemer bidra positivt, etter som dette også kan spare mye arbeid på byggeplassen (Noreng & Geving, 2008). Videre vil klare fordeler som reduserte kuldebroer og fuktsikre bygningselementer gi bedre boforhold og inn klima i leilighetene (Farstad, 2012). Slik vil også beboerne oppleve en positiv effekt av å benytte prefabrikkerte elementer.

Rehabiliteringsprosjektet i Nordahl Bruns gate er godt egnet som smartTES prosjekt. Målet med rehabiliteringen av Nordahl Bruns gate er de samme målene som for smartTES prosjektet, der det er ønskelig med en bærekraftig metode som energieffektiviserer bygninger gjennom å utvikle en multifunksjonell bygningskropp (Lattke et al. 2009). Dette målet passer godt for Nordahl Bruns gate, siden bygget skal rehabiliteres mot passivhus nivå. I tillegg er det mye å hente innenfor energieffektivisering gjennom å rehabilitere boligblokken. Nordahl Bruns gate er bygd på 1950 tallet, og det er nettopp bygninger fra 1950 – 1980 som er fokusert på i TES metoden (Lattke et al. 2009).

Ulempene tilknyttet bruk av prefabrikkerte elementer av tre, er først og fremst kostnader tilknyttet transport og montering, etter som disse er større for elementer enn for plassbygging (Edvardsen & Ramstad, 2007). Likevel må det være mulig å spare inn mye av dette, etter som elementer har besparelser både innenfor monterings tid og mindre arbeidskraft på byggeplassen (Farstad, 2012). Videre vil montering av store elementer være krevende i forhold til atkomst for transportbil eller mobilkran (Edvardsen & Ramstad, 2007). Mobilkran vil være ønskelig å benytte i større prosjekter, da det gir bedre fleksibilitet for montering av elementene (Halstedt, 2013). Derfor vil bruk av mobilkran være ønskelig uansett for et større prosjekt som rehabiliteres med elementer, og vil ikke være en faktor som kan påvirke montering av elementer negativt. Dessuten vil også plassbygging kreve en del areal for levering og lagring av materialer. I tillegg anses risiko for oppfukning av elementene som en ulempe i forbindelse med transport og montering. Dette er uansett en risiko dersom man plassbygger. Videre er det ansett som lite aktuelt da elementene blir godt innpakket. Produsentene har dessuten mye erfaring på hvordan disse skadene kan unngås, da elementer har vært brukt i mange år i byggebransjen. Dessuten blir det stadig bedre og flere hjelpemidler som kan redusere denne risikoen betraktelig.

Rehabiliteringen av Nordahl Bruns gate gir mange muligheter. Siden det er ytterveggene som er den bærende konstruksjonen, må rehabiliteringen gjøres ved hjelp av fasadeelementer som monteres utenpå ytterveggene (Wærnes, 2011). Dette gir mulighet til både å oppgradere bygningskroppen, det tekniske systemet, den arkitektoniske fremstillingen og til å utvide boligarealet. Den arkitektoniske fremstillingen kan forbedres betraktelig, da blokkene fremstår som kjedelig teglsteinsfasader, og på den måten skape nye verdier i den eksisterende boligmassen (Lattke et al. 2009). Med en ny, moderne fasade vil verdien på området stige, og det kan bidra til bedre trivsel blant beboerne og større bruk av uteområdet. Den gamle

fasaden er planlagt oppgradert til en ny og flott trefasade, som vil bidra til et bedre utemiljø og bedre inntrykk av området. Dette kan også bidra til å gjøre området mer attraktivt. På den måten er det mulig å skape verdier selv om man ikke river og bygger nytt. Utvidelsen av bygningskroppen og påbygg av to ekstra etasjer sørger også for å øke verdien i prosjektet.

Etterisolering av grunnmurene med bruk av ESP for boligblokken anses som nødvendig. Det er ønskelig at bygget skal tilfredsstillere passivhuskrav, og da er isolering av kjelleren en måte å redusere store kuldebroer på. Selv om kjelleren ikke er bebodd, og kun benyttes til lagerrom og boder, vil det likevel være behov for noe oppvarming der nede. I tillegg vil den kreve varme fra etasjene over, siden temperaturforskjellen blir veldig stor. En utvendig isolering av kjelleren kan bedre forholdene i kjelleren, og i tillegg redusere kuldebroen og varmetapet ut fra konstruksjonen. Videre anses en oppgradering av dreneringssystemet som nødvendig, da systemet fra 1950 antagelig ikke er tilstrekkelig etter dagens krav. Dette vil også sikre mot vannskader i kjelleren. Det er gunstig å gjøre dette samtidig som bygget skal rehabiliteres, da det sikrer bedre forhold for bygget og for beboerne.

For lastbæring av fasadeelementene er det i hovedsak fire metoder å velge mellom. I denne rapporten ble det lagt vekt på å gjøre lastsituasjonen så enkel som mulig, og sørge for at man ikke behøver å ta hensyn til at krefter overføres fra ett element til ett annet. På den måten ble en etasjevis montering av elementene tidlig plukket ut som den beste løsningen. Det var den antatt enkleste metoden, siden det ikke ble utført noen statiske beregninger i oppgaven. Videre ga dette mulighet for å tegne innfestingsdetaljene med stålvinkler og skruer beregnet for innfesting i betong. Gjennom bruk av etasjevis innfesting av elementene som vist i denne oppgaven, vil likevel krefter overføres mellom elementene, siden de festes i hverandre ved hjelp av skrå skruer. I tillegg vil de vertikale kreftene være gjennomgående, og føres ned til den store stålvinkelen i bunnen av konstruksjonen. Dette var nødvendig for å sikre best mulig innfesting i forhold til de faktorene som påvirker lastsituasjonen og innfestingsmetoden. Derfor vil ikke den viktigste faktoren som taler for etasjevis innfesting gjelde for dette caset. Med bruk av betongfasade ville situasjonen trolig vært en annen, og overføring av krefter fra ett element til ett annet ville antagelig ikke vært nødvendig.

Selv om det er bærende teglsteinsfasade i Nordahl Bruns gate, er det antatt at innfesting med hjelp av stålvinkler vil fungere, men med noen tilpasninger. Det er viktig å skille mellom innfesting i betong og tegl, da disse har forskjellige egenskaper. Det er også nødvendig å undersøke tilstanden til teglfasaden grundig på forhånd. Stålvinklene vil boltes inn i etasjeskilleren av betong. Dette er gjort for å sikre bedre innfesting, da innfesting i betongen gir bedre stabilitet enn i teglfasaden, siden teglstein ikke tar opp de horisontale kreftene.

Dersom de planlagte løsningene skal tas i bruk er det nødvendig med dokumentasjon og statiske beregninger for festemidlene. Antall festepunkter må også beregnes, da det kun er anslått en avstand ut i fra erfaringer. Dette ble gjort for å få et innblikk i hvordan detaljen er utformet og hvordan hele elementet skal festes inn. Lasten på festemidlet vil hovedsakelig være skjærkrefter og aksialkrefter (Time, 2013), noe som er tatt hensyn til gjennom utforming av detaljene og dermed gjennom stålvinkler og skruer inn i elementene. Der de nederste stålvinklene tar opp de vertikale kreftene fra alle elementene, mens bolter og mindre stålvinkler tar opp de horisontale kreftene.

Tidlig i masterperioden ble det foreslått forborring i stenderne i elementene, for deretter å skru elementene inn i teglet ved hjelp av lange skruer. Dette ble det gått bort i fra etter samtale og diskusjon omkring utforming av elementene, på grunn av at prosessen er veldig tidkrevende

da det først må borres hull i teglfasaden og stenderne før de kan skrues inn (Halstedt, 2013). I tillegg kreves det stor nøyaktighet ved en slik innfestingsmetode.

Ut i fra samtalene om utforming av element, ble bruk av separat fundament i front av fasaden fastslått som den beste måten å løse lastbæringen på, vurdert ut i fra kostnader og dokumentasjon av krefter. Stålvinklene nederst i konstruksjonen kan bli dyre, og lastsituasjonen med bruk av etasjevis innfesting ble mer komplisert enn først antatt. Ved å benytte et eget fundament vil elementene stå oppå hverandre, og den vertikale lasten blir ledet ned i fundamentet. Den horisontale lasten påføres den eksisterende konstruksjonen gjennom forankring av elementer til teglfasaden. På den måten er ikke stålvinkler nødvendig, og dette sparer en del arbeid med å feste inn stålvinklene i den eksisterende teglfasaden (Halstedt, 2013). Lastsituasjonen kunne blitt betydelig forenklet ved at fundamentet hadde tatt opp tyngden til alle elementene. Det er fortsatt nødvendig å skru elementene sammen, på samme måte som i de detaljene som er tegnet ut. I tillegg måtte nok elementene blitt festet inn i den eksisterende fasaden, slik at de horisontale kreftene ville gått inn i den eksisterende fasaden. Siden dette forslaget ikke ble synlig før et godt stykke ut i masterperioden, ble det valgt å beholde løsningen med etasjevis montering av elementene. Denne løsningen var også best beskrevet i forhold til lastsituasjon og fordeling av krefter. Dessuten virket den som den enkleste løsningen ut i fra teorien, noe som trolig ga feil inntrykk.

Vurderinger i etterkant gir innsikt i at et eget fundament kan løse mange utfordringer tilknyttet innfesting av elementene. Dessuten vil bruk av eget fundament ikke være så krevende som først antatt, da det likevel er nødvendig å grave opp rundt grunnmurene for etterisolering og drenering. Vekten av elementene vil heller ikke bli betydelig, slik at fundamentet ikke behøver å være så stort. Denne typen lastbæring kunne også gitt en bedre situasjon med tanke på de to ekstra etasjene og lastfordeling. Med eget fundament kunne disse elementene stått direkte på de nedre elementene, og dermed hadde tyngden blitt fordelt på det nye fundamentet og den eksisterende konstruksjonen. Lastsituasjonen hadde derfor blitt vesentlig forandret og trolig også forenklet. Dersom den eksisterende konstruksjonen ikke kan ta opp lastene fra elementene montert direkte på fasaden, og tyngden fra de frittstående elementene i de to ekstra etasjene slik antatt, er eget fundament den beste løsningen. Siden en full utredning av bygningen likevel må gjennomføres før rehabiliteringen, vil det være lønnsomt å gjøre en vurdering på metode for lastbæring. Dette for å se om separat fundament vil være en bedre løsning enn den som er skissert her.

For etasjevis innfesting av elementene finnes det trolig løsninger som er bedre enn de som er foreslått gjennom detaljtegningene. Det krever ofte både tid og erfaring å komme opp med gode løsninger for innfesting av elementet. Studenten har ikke den erfaringen som kreves for å utforme gode løsninger med tanke på innfesting av detaljer, og må ta utgangspunkt i det som finnes i teorien. Det kan heller ikke forventes at erfarne personer utenfor masteroppgaven skal benytte mye tid på å utforme løsninger som kan benyttes. Innfestingsdetaljene er derfor ikke like gjennomarbeidet som de burde vært, da det er vanlig at det tar uker å få frem gode løsninger. Likevel er det arbeidet frem gode forslag som er vist i detaljene. Disse er mulig å benytte, og vil være tilstrekkelig for innfesting av elementene. Dette ble sikret med hjelp fra erfaren ingeniør. Detaljene er tegnet ut i fra de forslagene som studenten kom med, og de løsningene som ble funnet gjennom samtaler og diskusjoner. Løsningene ville vært bedre dersom en ingeniør med erfaring innenfor elementbygging hadde prosjektert dem. Spesielt er monteringen av det nederste elementet krevende, og vinkelen kan fort bli dyr etter som det kreves at denne festes inn i teglsteinen. En bedre løsning på dette vil nok være å foretrekke. I tillegg må disse vinklene trolig bestilles hos en produsent av stålvinkler, og beregninger er

nødvendig. Tilpasninger er vanlig og nødvendig i noen tilfeller, og spesielt i større bygg som denne boligblokken i Nordahl Bruns gate. Dette gjelder forøvrig rehabilitering av hele bygget. Prosjektet er større enn for bygging av småhus med elementer. Krevende løsninger og tilpasninger på byggeplass må forventes ved slike prosjekter. Det er vanlig at ikke alt er helt ferdig når det kommer fra fabrikk, og dette må utførende entreprenør og ingeniører være forberedt på (Halstedt, 2013).

I forbindelse med utformingen av fasaden måtte det avgjøres om fasadeelementene skulle utformes vertikale eller horisontale. For å avgjøre hvilken retning som er best egnet for dette prosjektet er det flere faktorer som må vurderes. Maksimum størrelse på elementet er en av de grunnleggende faktorene som må tas hensyn til. Videre vil forhold som geometrisk utførelse, tekniske krav, funksjonalitet og sammenføring av elementer kunne påvirke valget (Lattke et al. 2009). Utformingen av elementene vil også bero på utforming av takelementer, andre fasader, heissjakter, utforming av fasaden, elementer i etasjeskiller osv. I forhold til utformingen av elementene er det en fordel dersom elementene er like og de har standardiserte mål. Dette gjør produksjonen enklere og sparer tid og penger. I tillegg vil like elementer gjøre monteringen lettere, da det ikke har betydning hvilket av elementene som monteres hvor. Små forskjeller i elementene kan medføre feil montering, og dermed ekstra tid for oppretting. Størrelsen på elementene vil også være avhengig av størrelser på bruer og tunneller på transportstrekningen. Det må være mulig å transportere elementene fra fabrikk og til byggeplass, og da kan størrelsen begrenses av hindringer på veistrekningen (Halstedt, 2013).

En horisontal retning på elementene gir elementer som er tilpasset etasjehøyden. Disse leveres i monteringsretningen, og kan være lastbærende både etasjevis og i bunnen. I tillegg er det enklere å dele inn de horisontale elementene etter brannseksjoner. De vertikale elementene er tilpasset bygningens høyde. Disse elementene må roteres fra transport til montering, og de er lastbærende i bunnen (Lattke et al. 2009). Videre kan vertikale elementer være mer utfordrende i forhold til tilpasning til vindusåpninger, og det kan være utfordrende å vippe elementene. Dessuten er det bedre innfestningsvilkår for horisontale elementer, men det kreves ofte flere innfestingspunkter og på den måten kan de vertikale elementene bli mer økonomiske (Halstedt, 2013).

Sett ut i fra faktorene over og fasadetegningene for Nordahl Bruns gate er det valgt å benytte horisontale elementer. Dette på grunn av at elementene kan monteres i den retningen de leveres. Det blir tre like elementer, noe som vil gi en enklere og muligens litt billigere produksjon. Dessuten vil dette også gjøre monteringen enklere, siden det ikke har betydning hvilket av elementene som monteres hvor. I tillegg skal de frittstående elementene monteres horisontalt, noe som vil tale for at alle elementer monteres horisontalt. Det er en fordel med lik monteringsmetode for alle elementene, da det kan lette arbeidet for de som monterer. Videre er det funnet en god løsning for innfestingen av de horisontale elementene, ved å monteres dem etasjevis. Dette vil redusere kreftene som påføres på innfestingen helt i bunn av elementene, og det forenkler lastsituasjonen (Time, 2013). Det er også enklere å tilfredsstille kravene til brannsikkerhet og brannseksjonering for elementene når de er horisontale. I forhold til størrelsen på elementene, vil dette ikke ha noen betydning for den aktuelle fasaden. De får omtrent samme størrelse både i horisontal og vertikal retning. Derfor vil verken størrelse eller transportmuligheter fra fabrikk kunne påvirke avgjørelsen. Retning for elementer på de resterende fasadene er ikke tatt hensyn til. Dette da det mangler en del tegninger, og dessuten er det kun den ene fasaden som er gjeldende i oppgaven. Dersom dette skal prosjekteres og gjennomføres, er det nødvendig å betrakte de andre fasadene i tillegg.

Videre vil faktoren om integrerte ventilasjonskanaler kunne påvirke retningen av elementet. Det kommer frem av litteraturen at vertikale elementer er å foretrekke dersom ventilasjonskanaler skal integreres (Johansen, 2012). I denne oppgaven er likevel ikke integrerte ventilasjonskanaler vurdert, og derfor er ikke denne faktoren vurdert i forbindelse med valg av retning på elementer. I tillegg kan ventilasjonskanalene integreres på en av de andre fasadene.

Vurdering av retning på elementene og andre bestemmelser som er tatt i oppgaven, er basert på en del antagelser i forhold til at tegninger og opplysninger i prosjektet ikke var avklart til nødvendig tidspunkt. Dette får selvsagt følger i forhold til at løsningene ikke vil stemme like godt overens med det virkelige prosjektet. Det optimale hadde vært om løsningene og ideene kunne blitt brukt direkte i rehabiliteringsprosjektet, og dermed vært et godt utgangspunkt før prosjekteringen starter. Likevel var det nødvendig å gjøre antagelser i oppgaven for å kunne komme videre, og nye løsninger må uansett prosjekteres. Det er nødvendig etter som oppgaven kun tar hensyn til en av fasadene, mens en vurdering av hele bygget kan gi helt andre løsninger (Halstedt, 2013).

Transport og montering er viktig å vurdere når elementene prosjekteres. I forhold til dette vil vekt være faktoren som påvirker monteringen mest. Elementer med store isolasjonstykkelser og mye glassarealer blir fort tunge (Lattke et al. 2009). Dette kan sette begrensninger for de frittstående elementene, som er 300 mm tykke og inneholder flere vinduer. Likevel er elementene utformet lange nok til å strekke over hele lengden til fasaden. Dette er i utgangspunktet ikke er noe problem med hensyn til transport, montering og produksjon, dersom man har de rette hjelpemidlene. Det er ansett som nødvendig å benytte mobilkran i montering av så store elementer, selv om de kan være dyre å leie. I tillegg kan det være utfordringer tilknyttet innfesting av store elementer, men dette kan løses ved å benytte flere tilkoblingspunkter mellom kranen og elementet. På den måten får man festet elementet til den eksisterende fasaden, mens det fremdeles holdes på plass i kranen. Etter som elementet forankres i konstruksjonen, kan festepunktene til kranen fjernes (Halstedt, 2013).

Tette skjøter mellom elementene er viktig. Spesielt siden det er planlagt rehabilitering mot passivhusnivå for Nordahl Bruns gate. For sammenføring av elementene er det anbefalt å forme den vertikale skjøten som en Z, og dermed unngå en udefinert fuge. En Z-formet vertikalskjøt mellom elementene går ut på at elementene ikke avsluttes med stenderne mot hverandre, men at det skapes et mellomrom mellom dem. Mellomrommet fylles med isolasjon, og tettes med vindsperreplate og rullprodukt. På den måten skapes en optimal skjøt mellom elementene som også tilfredsstillende kravene til passivhus, etter som skjøten utføres så tett at kuldebroer og varmetap blir så lite som mulig. Dersom stenderne i elementene settes rett mot hverandre vil det alltid være luftgjennomgang og stor fare for luftlekkasjer gjennom elementene. Mens et mellomrom fylt med isolasjon gir bedre lufttetting og varmeisolering av sammenføyingen av elementene (Halstedt, 2013). Selv om en slik Z-formet sammenføring vil være mer arbeidskrevende i form av etterisolering av isolasjon og montering av vindsperreplate og rullprodukt, vil man i lengden være tjent med å gjøre sammenføyingen best mulig. Desstuen er det mulig å tilpasse mest mulig på forhånd, slik at det ikke er nødvendig å kappe vindsperreplater og isolasjon på byggeplassen. Mest mulig tilpasning på forhånd kan bidra til å lette arbeidet, og redusere arbeidstimer på byggeplassen.

For den vertikale skjøten er det planlagt tetting med fugging og isolering mellom elementene, og deretter klemmes et vindsperrerullprodukt over skjøten. Dette vil gi optimal utforming av skjøten. Elementene settes butt-i-butt med en toleranse på 2 cm imellom. Dette gapet isoleres

så med isolasjonsremse før det fuges og tettes med vindsperre (Halstedt, 2013). Til tross for at det ikke er nødvendig å både fuge og benytte vindsperrerullprodukt (Noreng & Geving, 2008), er det her valgt å gjennomføre detaljen på denne måten, da det er sikrere for å få en best mulig løsning. Dette er spesielt viktig etter som kravene til passivhus skal tilfredsstilles, og utette skjøter mellom elementene kan føre til kuldebroer. I tillegg vil kostnadene med å både fuge og klemme vindsperren tjenes inn ved at skjøten er best mulig utført.

Siden elementene skal sammenføres i skjøtene er det viktig at det er tilstrekkelig med plass for monteringen. Det må være en glippe i ytterkledningen slik at det er tilgang rett inn på skjøtene. Det aktuelt å vurdere om kledningen skal monteres i fabrikk, eller om den burde ettermonteres på byggeplassen. Dette går på graden av prefabrikasjon på elementet. Det er en tydelig fordel dersom elementene er lukket, og så godt som ferdige når de kommer ut på byggeplassen, da det gir kortere byggetid (Edwardsen & Ramstad, 2007). Det vil ikke være aktuelt å lage åpne elementer for ettermontering av isolasjon for de elementene som monteres rett på den eksisterende fasaden. For de frittstående elementene vil det være en fordel om tekniske rør og kabler kan trekkes i påforingen på innsiden av elementet. Derfor er det aktuelt å ta stilling til hvilken grad disse elementene skal være åpne når de leveres på byggeplassen. For disse elementene er det trolig mest gunstig om påforingen ikke er ferdig isolert og kledd, slik at det kan trekkes rør og kabler skjult i veggene. Elementene må derfor isoleres og kles etter montering. Dette kan gjøres etter at bygget er tett. I tillegg er det nødvendig at påforingen ikke er ferdig isolert og kledd, da stålvinkele må skrues ned i den eksisterende konstruksjonen. Det må også utføres noen tilpasninger og justeringer av bunnsvilla før elementet kan kles igjen.

I forhold til ferdigstillelsesgraden på ytterkledningen, vil denne være lik både for de frittstående elementene, og de elementene som monteres direkte på fasaden. Ingen av elementene har behov for en åpen utside, bortsett fra i skjøtene. Derfor vil det lette arbeidet på byggeplassen betydelig, dersom mest mulig er ferdig montert når elementene ankommer byggeplassen. I tillegg er det beskrevet tilfredsstillende løsninger for tetting og kledning av elementskjøtene. Derfor er detaljene tegnet med forslag om å montere mest mulig av ytterkledningen på fabrikk, slik at det kun gjenstår å kle igjen skjøtene mellom elementene.

Lukking av elementene slik at ytterkledningen stort sett er ferdigmontert vil kreve mer i forhold til tetting i skjøter. Dersom kledningen ikke er ferdigmontert fra fabrikk vil det være mulig å montere vindsperrerullprodukt, lekting og kledning på byggeplass, og enklere å sikre tette elementskjøter og tilslutninger (Edwardsen & Ramstad, 2007). Likevel vil de planlagte løsningene gi tilstrekkelig tetting av skjøtene. Selv om montering av kledningen utenpå skjøtene vil være arbeidskrevende, vil det likevel ta mindre tid enn å måtte ettermontere hele kledningen. Det er mulig å tilpasse glippene og kledningsbordene som ettermonteres slik at denne prosessen kan gjøres enklest mulig. Dette kan være for eksempel å lage alle glippene like lange, slik at kledningsbordene som ettermonteres har lik lengde. Dessuten kan glippene gjøres minst mulig, slik at det ikke krever for mye å ettermontere dem med tanke på tyngde og utstyr. Lukkede elementer kan også være mer krevende i forhold til transport, montering og planlegging (Edwardsen & Ramstad, 2007), men tiden man sparer vil trolig utjevne disse faktorene siden de er mulig å løse.

Ut i fra en bygningsfysisk vurdering, er det en klar fordel om de eksisterende vinduene skiftes ut. Både med tanke på U-verdi for å tilfredsstille passivhuskravene, og for å unngå store kuldebroer i overgang mellom vindu og vegg (SINTEF Byggforsk, 2003b). Den optimale plasseringen av vinduet er omtrent midt i vegg, og kuldebroverdien øker både ved å

plassere det lengre inn og lengre ut (Gustavsen, Thue, Blom, Dalehaug, Aurlien, Gynning & Uvsløkk, 2008). Selv om vinduet er trukket en del inn i elementet for å få plass til solskjermingen utenpå, vil ikke dette ha store konsekvenser med tanke på kuldebroer. Det vil alltid være en liten kuldebro rundt vindu, men bruk av passivhusvinduer vil kunne eliminere en del av denne. Dessuten vil den største kuldebroen tilknyttet vinduer bli fjernet på grunn av at vinduet er flyttet ut i det nye elementet, og ikke lengre vil ha direkte kontakt med fasadens teglstein (Aarnes, 2011).

Plasseringen av vinduet midt i veggen vil ikke være kritisk med tanke på kuldeboer, og det har mange fordeler som vil være til nytte for forholdene i Nordahl Bruns gate, som for eksempel redusert varmetap og kondensfare (SINTEF Byggforsk, 2012). Noe av det viktigste vil isteden være å tette godt nok, og benytte gode beslag slik at det ikke kan trenge vann inn i elementkonstruksjonen. Detaljen som viser overgangen mellom bunnkarm og vegg viser at membran er planlagt under vinduet. Dermed vil ikke plassering av vinduet midt i veggen få noen negativ påvirkning på de bygningsfysiske forholdene i veggen. Vindusplassering midt i veggen vil være den best mulige løsningen for elementet.

Fasadeelementet er prosjektert med totrinns tetting med ventilert kledning. Dette vil tilfredsstillende kravene om et drenerende og ventilerende lag på baksiden av kledningen. Videre er elementet tenkt utformet med materialer som er mer diffusjonsåpne enn den eksisterende fasaden, slik at det er mulighet for tørking av de eksisterende veggene. Elementet blir vindtett gjennom benyttelse av GU-plate og vindsperrerullprodukt. Med bruk av OSB-plate som dampbrems på innsiden av elementet vil denne siden ikke bli lufttett. Dette er heller ikke nødvendig etter som den eksisterende teglfasaden er vurdert som lufttett (Lattke et al. 2009). På den måten vil den eksisterende fasaden få en varm konstruksjon montert utenpå, som sikrer tørkemulighetene og gunstigere forhold med tanke på motvirkning av fukt.

I tillegg vil en rehabilitering med fasadeelementer utenpå den eksisterende fasaden gi en bedre U-verdi. Dette medfører både mindre varmetap, bedre forhold i inneklimate samt energieffektivisering. Videre vil montering av fasadeelementet på den eksisterende konstruksjonen bidra til å redusere kuldebroer gjennom ytterveggen. Fasadeelementet gir et kontinuerlig isolasjonslag på utsiden av den eksisterende fasaden, noe som reduserer varmetapet gjennom veggen (SINTEF Byggforsk, 2003b).

Fuktsituasjonen for den eksisterende fasaden forbedres ved å montere TES elementer. Vann kan trenge gjennom teglsteinen og må dreneres vekk. Dersom problemer oppstår og vannet ikke dreneres vekk kan vannet trenge inn i betongen, og dermed ledes videre inn i konstruksjonen. Dette kan skape problemer (Geving & Thue, 2002). Med nye fasadeelementer på utsiden av teglfasaden blir denne beskyttet mot vær og vind. Dessuten vil totrinnsstetting av de nye fasadeelementene, og dampbrems på baksiden sikre mot at vann trenger inn gjennom elementet og videre inn i den opprinnelige konstruksjonen. Utvendig etterisolering vil også sikre gode forhold med tanke på fuktproblematikk og uttørking av konstruksjonen. Det vil redusere kuldebroer og luftlekkasjer, og gi en bedre kontroll av den ytre klimaskjermen (Geving & Thue, 2002). Dessuten antas det at en teglforblending fra 1950 tydelig viser tegn på behov for reparasjon og oppussing.

Denne typen eksisterende vegg utføres normalt uten egen dampspærre. Dette kan føre til kondens på utvendig side av teglsteinen, men dette dreier seg om små mengder vann som kan suges opp. Dette anses ikke som noe problem i dette tilfellet, da det er benyttet en dampbrems av OSB-plate i elementet. OSB-platen gir teglfasaden mulighet til å tørke utover i

konstruksjonen slik at det ikke dannes mugg og råteskader. Videre vil utvendig isolering av teglfasaden være den sikreste måten å etterisolere en teglvegg. Den eksisterende veggen får en varmere temperatur, og kuldebroer og luftlekkasjer reduseres (Geving & Thue, 2002). Etter som det ikke er noen dampsperre i den eksisterende konstruksjonen, er det ikke nødvendig å bekymre seg for kondensproblemer mellom dampsperran og dampbremsen. Likevel må man kontrollere at OSB-platen ligger med minimum $\frac{3}{4}$ av isolasjonstykkelsen på utsiden, da dette hindrer kondensering (Wærnes, 2011). I elementene for Nordahl Bruns gate er ikke dette noe problem, da største delen av isolasjonen ligger på utsiden. Det er kun utjevningssjiktet som ligger innenfor OSB-platen, og dette vil ikke kunne skape fuktproblematikk på baksiden av OSB-platen.

Som utjevningssjikt bak elementene er det tenkt 30 mm mineralull. Utjevningssjiktet kan være brennbart, dersom fasadeåpninger og hver etasje er omsluttet eller adskilt av ikke-brennbare materialer. Siden det benyttes brannstopper i elementene, er det ikke noe problem å benytte utjevningssjikt av et materiale som er brennbart. Med bruk av vanlig mineralull vil ikke dette være noe problem, siden den er definert som ubrennbar. Videre er det ikke tillatt med åpne gap mellom den eksisterende konstruksjonen og det nye isolasjonssjiktet, og elementet må tettes rundt alle åpninger (Lattke et al. 2009). På den måten er det antatt at det er nødvendig at utjevningssjiktet er et kontinuerlig sjikt som dekker hele baksiden av fasadeelementet. Derfor vil forslag om å legge isolasjonslag kun rundt åpninger og kanten av elementet bli vurdert som ugunstig etter utsagnene i litteraturen. Det er selvfølgelig mulig å gjøre noen tester på dette, da det vil redusere materialbruken dersom man kun benytter utjevningssjiktet rundt kanter og åpninger i elementet. Utjevningssjiktet vil monteres på baksiden av elementet på fabrikk, slik at det er mulig å feste direkte på den eksisterende fasaden.

I forhold til brann sikkerhet tilfredsstill den eksisterende fasaden kravet. Likevel må elementene sikres slik at de ikke bidrar til å spre brannen (Lattke et al. 2009). Det er mulig å benytte tre som utvendig kledning selv om fasaden skal være ubrennbar (Östman, 2012). Det er kun nødvendig å benytte en trekledning som tilfredsstill kravet på B-s3,d0. Utvendig kledning av brannimpregnert tre kan benytte, og det reduserer risikoen for spredning av brann langs fasaden (Moelven, 2012). Dette produktet fra Moelven (2013) tilfredsstill B-s1,d0 dersom man benytter gran, og er mer enn god nok for kravet. Siden det i tillegg benyttes ventilert kledning, er det nødvendig med horisontal brannstopper (Lattke et al. 2009). Som brannstopp kan FB Hulromsventil benyttes. Denne tetter ikke hulrommet bak kledningen før det brenner, og sørger for nødvendig gjennomlufting. Hulromsventilen tilfredsstill også kravet om EI90 som er nødvendig for Nordahl Bruns gate, og monteres som en horisontal lekt på fabrikk (Securo AS, udatert). Det er også viktig at mineralullen fyller hele hulrommet i elementet slik at det ikke bidrar til spredning av brann. Vanlig mineralull er ubrennbar, og vil derfor bidra til å minske risikoen for brannspredning i elementet (Veiledning og tekniske krav til byggverk, 2011). I forbindelse med brannkravene er det også viktig at det utarbeides egne dokumentasjoner, da oppgaven ikke omfatter dette. Kravene er tatt hensyn til, men etter som bygget er i brannklasse 3 er det nødvendig med dokumentasjon med beregninger og analyse av løsningene utført av en brannrådgiver (Harald Landrø, samtale, 3. april 2013).

Det frittstående elementet tilfredsstill trolig ikke brannkravene til REI 90. Det er fremstilt en løsning som er antatt god nok, men her må det også inn brannteknisk dokumentasjon fra brannrådgiver. Elementet er tegnet ut i fra vegger som tilfredsstill kravet til REI 60. Det er antatt at dette elementet vil være mer motstandsdyktig mot brann, etter som det frittstående elementet har en tykkelse på 350 mm. Treet vil ha lengre motstandsdyktighet enn et tverrsnitt

på 200 mm, og kles med to lag branngips på utsiden for å styrke motstandsevnen. Likevel vil elementet trolig ikke tilfredsstillende kravet, og det er nødvendig med en dokumentert løsning. I oppgaven er elementet som monteres direkte på fasaden ansett som det mest viktige, og derfor er ikke det frittstående elementet utredet like godt. Derfor vil det ikke gjøres mer for å sikre kravet til brannsikkerhet for dette elementet, men det benyttes i oppgaven etter de antagelsene som er gjort. Forhåpentligvis ligger det ikke så langt fra kravet, slik at det fremdeles er mulig å benytte noe lignende. Forslag til utforming av dette elementet ble mottatt sent i perioden, og det ble derfor valgt å benytte det elementet som allerede var utformet. Det er mulig at det mottatte forslaget om bruk av dobbelveggskonstruksjon, ville tilfredsstillende kravet til brann bedre enn dette elementet. Likevel vil dette måtte redegjøres før virkelig prosjektering igangsettes.

Det er planlagt å benytte utvendig solskjerming. Dette er vurdert mest hensiktsmessig siden solstrålene blokkeres før de kommer inn i bygningen, og derfor er å foretrekke fremfor innvendig- eller mellomliggende skjerming (Bryn et al. 2012).

Integrerte solskjermingsprodukter var ønskelig for fasadeelementene i Nordahl Bruns gate. Det er planlagt elementer med integrert solskjerming, og aktuelle utfordringer omkring integreringen er løst. Både persienne og screen kan benyttes i det integrerte systemet. Det er valgt å bruke persienne på grunn av at det finnes mest informasjon og detaljer for persiennesystemet. Bruk av persienne eller screen vurderes som ubetydelig, selv om screen betraktes som det mest effektive produktet (Standard Norge, 2011). Effektivitetsdifferansen mellom screen og persiennener er minimal, mens persienne har vært mest brukt tidligere. Likevel er screen mer moderne (Kristiansen, 2011), og kan foretrekkes i Nordahl Bruns gate. Dette vil ikke ha konsekvenser for detaljen som viser integrering av solskjerming i elementet. Screensystemet fungerer på samme måte, og har en kasse som er like bred som persiennekassen. På den måten vil utformingen av detaljen bli nokså lik.

De tekniske installasjonene tar ofte mye plass i elementet. Dette kan føre til større varmetap, og dermed lavere U-verdi og kuldebroer. smartTES prosjektet setter krav til energieffektivitet ved bruk av TES elementer, og derfor er det viktig at installasjonene ikke medfører for store varmetap (Johansen, 2012). Bruk av integrert persiennevindussystem er en optimal løsning for integrering av solskjermingssystemer i TES elementer. Persiennesystemet er spesielle sammensatte varmeisoleringsystemer som gir mindre tap av varme gjennom solskjermingssystemet (Warema Renkhoff SE, udatert). Systemet sikrer altså at varmetapet gjennom veggen blir mindre enn ved bruk av andre integrerte solskjermingssystemer. Dermed vil integreringen ikke skape problemer i form av kuldebroer og oppfyllelse av passivhuskrav. På den måten vil smartTES prosjektets krav til energieffektivitet ved bruk av TES elementer opprettholdes.

Det finnes trolig andre måter for å tilføre strøm fra solskjermingssystemet i elementet og inn i leilighetene. Det er ønskelig å kun borre ett hull gjennom den eksisterende konstruksjonen for hver leilighet. Dette på grunn av at det kreves god tetting av gjennomføringene, og boring gjennom den eksisterende konstruksjonen kan være krevende på grunn av tykke veggkonstruksjoner. At strømføringen bør være montert til persiennekassen på fabrikken er en utfordring. Det ikke er mulig å koble strømmen til kassen på byggeplassen, da kassen allerede er montert. Derfor må strømføringen føres inn i leilighetene samtidig som elementene monteres på den eksisterende fasaden. Forslaget er å borre hull i den eksisterende konstruksjonen, for så å tre kablet gjennom ved montering av elementet. Det er da viktig at strømkablene for alle persiennekassene er samlet, og at de sammen kan tres inn i leiligheten.

Det er også viktig at kabelen er lang nok, slik at det er mulig å tre den igjennom før elementet festes på fasaden. Videre er det viktig at kabelen trekkes inn i leiligheten mens elementet settes på plass, slik at kabelen ikke blir liggende i krøll mellom utjevningssjiktet og den eksisterende fasaden. Etter at kabelen er ført inn i leiligheten kan den føres til ønsket sted, og monteres med en strømbryter slik at persiennesystemet kan betjenes fra ett sted i leiligheten. Dermed vil beboerne i leilighetene kunne justere persiennenes stilling etter behov.

Det er veldig viktig å tette åpningene i den eksisterende fasaden, for å hindre at en eventuell brann føres gjennom gjennomføringene. Dette kan spre brannen fra utsiden av fasaden og inn i leiligheten. Det er derfor svært viktig at dette gjøres på en tilfredsstillende måte (Harald Landrø, samtale, 3. april 2013). Tettingen gjøres ved å benytte tettemasser og fuger omkring de tekniske føringene.

Som et alternativ til solskjerming kan både varmeabsorberende glass og smarte vinduer benyttes. Disse vinduene absorberer og reflekterer sollyset slik at ikke all solvarmen slipper inn i bygningen (Novakovic et al. 2007). Slik vil behovet for solskjerming reduseres, og disse vinduene kan integreres i fasadeelementet på samme måte som vanlige vinduer. Selv om det er stort potensial for å erstatte vanlige vinduer med persienner mot smarte vinduer (Syrrakou, Papaefthimiou, Skarpentzos & Yianoulis, 2005), vil trolig fasader som er sterkt utsatt for sol likevel ha behov for solskjerming i form av persienne eller screen. Smarte vinduer kan derfor benyttes på fasader som ikke er like mye utsatt for sol, og i rom hvor det ikke er behov for solskjermingsprodukter. I forhold til kostnader kan det også gjøres en vurdering på om varmeabsorberende glass og smarte vinduer kan bli billigere enn å bruke solskjermingssystemer. Dette vil være på steder hvor solskjerming er vurdert som unødvendig.

OSB-plater er aktuelt å benytte som dampbrems i elementer, og er også benyttet i fasadeelementene for Nordahl Bruns gate. Det er gunstig å benytte dampbrems i elementer som monteres utenpå en eksisterende fasade, etter som disse har lavere dampmotstand enn dampsperrer og slipper mer fukt gjennom konstruksjonen. På den måten er det mulig å tørke både innover og utover i konstruksjonen. Edvardsen og Ramstad (2007) mener at dampbrems er for tett til å kunne brukes som vindsperre. Samt at det kreves en mer dampåpen vindsperre ved bruk av dampbrems, for at konstruksjonen skal ha tilstrekkelig uttørkingsevne. Dette er testet med beregninger i WUFI.

WUFI simulering av elementer med bruk av henholdsvis GU-plate og OSB-plate som vindsperrer, viser at det totale vanninnholdet i elementet er større med OSB-plate. Dette kommer av at fuktlikevekten hos OSB-platen er høyere enn for GU-platen. I tillegg har OSB-platen større dampmotstand, og gir mindre uttørkingsevne til elementet. En vindsperre av OSB-plate har høyere motstand mot at fukt i elementet kan tørke utover i konstruksjonen, og dermed lagres det mer fukt inne i elementet. Likevel er ikke forskjellen i totalt vanninnhold så stor, og det vil ikke ha noen betydning. Dessuten inntreffer fuktlikevekt til samme tid for begge elementene.

Resultatene fra simulering av standardkonstruksjonen med bruk av GU-plate som vindsperre, gir ingen grunn til bekymring for fuktskader. Selv om det finnes perioder som oppfyller kravene til vekstforhold for mugg og råte, anses disse periodene som for korte til at problemer skal kunne oppstå. Dessuten synker temperaturen raskt når RF går høyere enn 80 %. Denne tendensen gjelder også for bruk av OSB-plate som vindsperre. Det er heller ikke risiko for dannelse av fuktproblematikk i denne konstruksjonen, da periodene med gunstige

vekstforhold for mugg og råte anses som for korte. Selv om RF ligger høyere for simulering av OSB-platen enn for GU-platen, samt at periodene hvor RF ligger over 80 % er lengre.

På baksiden av dampbremsen er det ingen grunn til frykt for fuktskader. RF legger seg på et jevnt nivå rundt 50 %. Det at RF ligger høyere enn 80 % samtidig som temperaturen ligger over 5 °C en periode helt i starten av simuleringen, er ingen fare. Elementet kommer rett fra fabrikk og festes utenpå en klimautsatt teglfasade. Den eksisterende veggen blir liggende i et varmere klima, og får bedre forhold for uttørking (Geving & Thue, 2002). For at teglfasaden skal tørke, må andre materialer ta opp fukten. Fukten vil kunne trekke inn i fasadeelementet, og blir liggende på baksiden av dampbremsen. Siden dampbremsen har høyere dampmotstand enn de andre materialene i elementet, vil ikke fukten drive videre ut i elementet før forholdene for uttørking ligger til rette. Grafen i vedlegg 7 viser at RF nivået på baksiden av dampbremsen faller raskt i løpet av våren. Det vil si at forholdene for uttørking er til stede, og fukten på baksiden av dampbremsen vil tørker utover i konstruksjonen. Dermed er det ingen fare for fuktskader, siden fukten tørker ut og RF legger seg på et stabilt nivå godt under 80 %. Dette er også tilfellet med bruk av OSB-plate som vindsperre, hvor resultatene viser en periode med RF over 80 % på starten av simuleringen. Her synker RF raskt på våren, noe som tyder på forhold for uttørking. Selv om RF ikke synker like raskt som med bruk av GU-plate, synker RF under 80 % på omtrent samme tid som for simulering med GU-plate. I tillegg vil RF nivået for bruk av OSB-plate legge seg på et høyere likevektsnivå, og har ikke like store sprang i verdier.

Standardkonstruksjonen og bruk av OSB-plate som vindsperre gir ikke risiko for mugg og råteskader i elementet. Videre er det aktuelt å studere resultatene for parametervariasjonene, for å avdekke eventuell risiko for fuktskader i elementene.

Simuleringer med høyere startfuktnivå i teglveggen, gir høyere verdier i totalt vanninnhold for begge konstruksjonene. Dette er et resultat av at mer fukt i teglfasaden trekker inn i elementene etter montering. Det tar også lang tid før vanninnholdet legger seg på et stabilt normalnivå, men det er synkende. Dette er positivt da det ikke akkumulerer. Det vil si at fukten tørker ut i konstruksjonen og ikke lagres.

Høyt startfuktnivå i teglveggen viser seg å være den parameteren som gir de verste forholdene for fuktproblematikk. Simulering av RF og temperatur på baksiden av vindsperren viser at forholdene ligger godt til rette for vekst av mugg og råte, etter som RF ligger godt over 80 % store deler av tiden. I tillegg ligger temperaturen tidvis over 5 °C i disse periodene. Selv om RF for GU-platen ligger høyere enn RF nivået til OSB-platen, vil det være mest risiko for fuktskader ved bruk av OSB-platen. RF nivået til GU-platen ligger periodevis høyt, men samtidig synker det under 80 % i perioder. Dette skjer når temperaturen er som høyest, altså om sommeren. Derfor vil det kun være risiko for fuktproblematikk på våren og høsten ved bruk av GU-plate som vindsperre, etter som det er i disse periodene hvor RF ligger over 80 % mens temperaturen ligger over 5 °C. GU-platen beholder altså tendensen fra tidligere simuleringer, men de kritiske periodene er lengre. Derfor vil sjansen for mugg og råte problemer være tilstede med bruk av GU-platen. Likevel er det ikke sikker at problemene vil inntre, etter som temperaturen synker under 5 °C eller RF synker under 80 % etter en stund. Derimot vil RF nivået med bruk av OSB-plate som vindsperre sjelden ligge under 80 %. Periodene med med RF over 80 % og temperatur over 5 °C er lange. Dette gir en veldig stor risiko for fuktproblematikk i elementet, og er derfor ikke å anbefale.

Resultatene viser gode vekstforhold for mugg og råte på baksiden av dampbremsen. Her ligger temperaturen aldri lavere enn 8 °C, mens RF ligger godt over 80 % stort sett over hele simuleringsperioden. For GU-platen er RF over 80 % helt til våren i det tredje simuleringsåret. Mens for OSB-platen er RF over 80 % helt frem til høsten i det tredje simuleringsåret. Av den grunn er det nokså sikkert at mugg og råteskader vil oppstå på baksiden av dampbremsen i begge konstruksjonene.

Årsaken til gode vekstforhold på baksiden av dampbremsen, er det høye fuktnivået i teglsteinen. Fukten trekker inn i elementet, og på grunn av at nivået er såpass høyt har elementet problemer med å tørke ut tilstrekkelig. Fukten samler seg på baksiden av dampbremsen, og tørkeforholdene er aldri gode nok til å senke RF nivået tilstrekkelig. Dette gjelder også på baksiden av vindspærren. Fukten trekker inn i elementet, og det vil være problematisk å få tørket ut tilstrekkelig. På baksiden av vindspærren er forholdene mest problematisk med bruk av OSB-plate som vindspærreprodukt. Dette kommer av at dampmotstanden til OSB-platen er høyere enn for vanlige vindsperrer (Edwardsen & Ramstad, 2007). Det er derfor mer krevende for å få tørket ut fukten.

Resultatene for simulering med varierende fuktklasse er ikke overraskende. Det totale vanninnholdet i konstruksjonene vil variere med fuktklassen, men tendensen er den samme som for standardkonstruksjonene. For simulering med bruk av fuktklasse 1 er det ingen fare for fuktproblematikk, verken med bruk av GU-plate eller OSB-plate. På baksiden av vindspærren ligger RF kun korte perioder over 80 %, mens temperaturen i denne perioden ligger under 5 °C. For dampbremsen er det heller ingen risiko for fuktskader, da RF legger seg på et stabilt nivå godt under 80 %. Begge konstruksjonene har en periode på starten av simuleringstiden hvor RF ligger over 80 %. Det er likevel ingen grunn til frykt med tanke på mugg og råteskader, da dette vil tørke ut i likhet med forholdene på dampspærren for startkonstruksjonen som tidligere diskutert.

Simulering med bruk av fuktklasse 3 viser høyere verdier for alle grafene enn for standardkonstruksjonen. Resultatene for GU-platen viser samme tendens som standardkonstruksjonen, med korte perioder på vår og høst med RF over 80 % og temperatur over 5 °C. Likevel vurderes dette som ikke tilstrekkelig for at fuktskader i elementet skal oppstå. For OSB-platen derimot, er situasjonen litt verre. Resultatene her bekrefter lengre perioder med RF over 80 % og høyere RF verdier enn hos standardkonstruksjonen. I tillegg ligger temperaturen til tider over 5 °C i disse periodene. Dette gir grunnlag for fare med tanke på mugg og råteskader, spesielt i det andre simuleringsåret. Mulighetene for fuktskader anslås som store, men fuktskader behøver nødvendigvis ikke å oppstå. En grundigere beregning er nødvendig for å kunne trekke konklusjon på dette. For dampbremsen vil det ikke være noen fare for mugg og råteskader i noen av konstruksjonene, etter som RF legger seg på et nivå under 80 %. Begge konstruksjonene har samme tendens som standardkonstruksjonene, med høy RF i starten av simuleringsperioden. Som tidligere diskutert er ikke dette tilstrekkelig for at fuktskader skal oppstå.

Sørvendt orientering på fasaden gir resultater som ligner på grafene for standardkonstruksjonen. Grafen for det totale vanninnholdet er veldig lik resultatene for standardkonstruksjonene, mens faren for fuktproblematikk er mindre enn for standardkonstruksjonen. Dette gjelder først og fremst på baksiden av vindspærren. Periodene med RF over 80 % og temperatur over 5 °C er kortere enn for standardkonstruksjonen, og derfor er det ingen fare for at det skal oppstå fuktproblematikk i konstruksjonen. På baksiden

av dampbremsen er verdiene lavere enn for standardkonstruksjonen, men de har samme prinsipper.

Med variasjoner i uteklime får det totale vanninnholdet omtrent samme verdier som for standardkonstruksjonene. I forhold til simulering av RF og temperatur med Bergensklime, viser resultatene at temperaturen ligger høyere for begge konstruksjonene. Det vil si at i perioden hvor RF ligger over 80 %, vil også temperaturen ofte ligge over 5 °C, sammenlignet med standardkonstruksjonen med Osloklime. Med bruk av GU-plate er periodene med RF over 80 % veldig korte, selv om temperaturen til tider også ligger over 5 °C, er dette trolig ikke tilstrekkelig for at det oppstår fuktskader. Resultatene for bruk av OSB-plate viser lengre perioder med RF over 80 %, samtidig som temperaturen ofte ligger over 5 °C. Derfor vil denne konstruksjonen gi bedre grunnlag for vekstforhold for mugg og råteskader. På baksiden av dampbremsen er det ingen grunn til bekymring, da disse grafene viser samme tendens som hos standardkonstruksjonen.

Prinsippene fra simuleringene med klimadata hentet fra Holzkirchen og Espoo er omtrent like. Disse resultatene skiller seg fra Bergensklime ved at temperaturen synker lavere i de periodene hvor RF ligger høyest. Selv om RF er høyere både for Holzkirchen og Espoo, ligger temperaturen lavere. På den måten er perioden med RF høyere enn 80 % samtidig som temperaturen ligger over 5 °C, omtrent lik standardkonstruksjonen. Forholdene for Holzkirchen og Espoo er derfor ikke vurdert som kritiske, siden perioden med kritiske forhold for fuktproblematikk er såpass kortvarig. På baksiden av dampbremsen er situasjonen den samme som for standardkonstruksjonen. Det vil si ingen fare for fuktproblematikk.

En sammenligning av resultatene fra alle simuleringene viser at RF for OSB-platen som vindspærre, stort sett ligger høyere enn ved bruk av GU-plate. Årsaken til dette vil trolig være den samme som nevnt tidligere, nemlig at OSB-platen har større dampmotstand. Dette gjør at den ikke slipper fukten videre ut i konstruksjonen like enkelt som materialer med lavere dampmotstand. Fukten samles derfor opp på baksiden av vindspærren, istedenfor at den blir luftet ut.

Ut i fra resultatene fra simuleringene som er utført i WUFI, er det tydelig at parametrene har forskjellig innvirkning på fuktproblematikken i fasadeelementene. Resultatene viser at bruken av OSB-plate som vindspærre, vil gi høyere verdier både for totalt vanninnhold og RF nivå enn med GU-plate. Forskjellen er ikke stor, slik at det fortsatt er mulig å benytte begge materialene. Beregninger med høyere startfuktnivå på den eksisterende konstruksjonen viser betydelig endring i RF nivået for begge konstruksjonene, og for forholdene på baksiden av både vindspærren og dampbremsen. Denne parametervariasjonen er den eneste som gir muligheter for mugg og råtevekst på baksiden av dampbremsen. Samtidig som den også gir gode muligheter for mugg og råteskader på baksiden av vindspærren. Spesielt for bruk av OSB-plate. Med bruk av GU-plate er det faktisk mulig å unngå fuktskader på baksiden av vindspærren, etter som periodene med gunstige vekstforhold ikke er betydelig større enn for standardkonstruksjonen. Likevel er det vanskelig å ta stilling til om det vil være kritisk eller ikke. Flere beregninger kunne gitt et tydeligere utgangspunkt for å trekke en konklusjon. Den høye konsentrasjonen av vanninnhold og fukt kommer trolig av at fukten i teglveggen trekker inn i elementet, og at dette nivået er for stort til å kunne tørke ut naturlig. For å hindre at fuktskader skjer som følge av høyt fuktnivå i den eksisterende fasaden, vil alternativet være enten å sørge for at fasaden er tilstrekkelig tørr før man monterer elementene. Eller man kan velge å benytte seg av dampspærre istedenfor dampbrems. På den måten vil ikke fukten trekke ut i konstruksjonen, men den eksisterende fasaden har dermed heller ikke mulighet til å tørke

utover i konstruksjonen. Dette vil medføre at teglfasaden enten holder på vannet, eller at den blir tvunget til å tørke innover i konstruksjonen. Konsekvensene av dette er uvisst. Dersom teglsteinen ikke tørker vil vel også varmeforholdet i konstruksjonen bli forandret.

Videre vil ikke fuktklasse 1 ha noen betydning for bruken av enten GU-plate eller OSB-plate i elementet. Fuktklasse 3 og bruk av OSB-plate gir derimot muligheter for fuktproblematikk. Selv om forholdene ligger til rette er det ikke sikkert at det vil oppstå fuktproblemer. Mer nøyaktige beregninger vil være nødvendig før resultatet kan stadfestes. Likevel er det nødvendig å være forsiktig med å bruke OSB-plate som vindsperre dersom fukttilførselen er stor. Simulering med sørvendt orientering viser at risikoen for fuktproblemer blir mindre, noe som også er mulig å forvente. Variasjon av uteklima viser fuktrisiko på baksiden av vindsperren med bruk av OSB-plate og Bergensklima. For Bergensklimaet ligger gjennomsnittstemperaturen høyere enn for de andre klimaene som ble testet, og har derfor lengre perioder med temperatur over 5 °C samtidig som RF ligger over 80 %. Resultatene fra Holzkirchen og Espoo minner om standardkonstruksjonen. Derfor vil disse klimaene ikke gi grunnlag for fuktskader.

Ut i fra dette kan det diskuteres om OSB-plate egner seg som vindsperre. For å kunne gi noen endelig konklusjon vil flere og mer grundige beregninger være nødvendig. Resultatene fra WUFI beregningene i denne oppgaven viser flere eksempler på at bruken av OSB-plate som både vindsperre og dampbrems fungerer fint. Dette motviser teorien, som fraråder mot å benytte OSB-plate som både vindsperre og dampbrems i samme konstruksjon (Edvardsen & Ramstad, 2007). Selv om verdiene ofte ligger høyere for OSB-plate enn for GU-plate, vil det i de fleste tilfellene være mulig å bruke OSB-plate som vindsperre. Likevel viser noen resultater fare for fuktskader. Dette gjelder først og fremst med høyt startfuktnivå i den eksisterende fasaden. Denne konstruksjonen gir også problemer med bruk av GU-plate, men da på baksiden av dampbremsen. På grunn av dette er det nødvendig å enten gjøre endringer i elementet, eller sørge for at startfuktnivået i teglveggen ikke er så høyt. Dersom fuktnivået senkes eller elementet omformes er det mulig at bruk av OSB-plate som vindsperre igjen kan være aktuelt. Flere beregninger vil kunne teste denne teorien, og i noen tilfeller kan bruk av OSB-plate være mindre kritisk enn bruk av GU-plate. I tillegg ga resultatene for simulering med fuktklasse 3 grunnlag for bekymring angående fuktproblematikk. Også her kan det være mulig å gjøre tiltak enten i elementet eller i fukttilskuddet slik at fuktskader med bruk av OSB-plate som vindsperre unngås. Det kan også vurderes hvorfor OSB-plate skal benyttes istedenfor en opprinnelig vindsperre som GU-plate. Dersom årsaken er at det vil spare mer penger, vil det være bedre å være trygg på at fuktproblemer ikke oppstår og benytte det produktet som er produsert som vindsperre. Oppretting av fuktskader vil uansett bli dyrere enn å benytte GU-plate istedenfor OSB-plate.

Tekniske installasjoner som tar stor plass i fasadeelementet kan medføre problemer med fukt på grunn av lavere U-verdi eller store kuldebroer (Johansen, 2012). Det er derfor utført WUFI beregninger for å kontrollere fuktrisikoen ved integrering av ventilasjonskanaler i fasadeelementer. Beregningene er utført med variasjon i forskjellige parametre, som anses å ha påvirkning på fuktforholdene i elementet.

Simulering av standardkonstruksjonene, med og uten ventilasjonskanal, viser at det er ingen fare for fuktskader verken på vindsperren eller på dampbremsen. Selv om forholdene ligger til rette for mugg og råtevekst på vindsperren i enkelte perioder, anses disse periodene som for kortvarige til at problemer vil kunne oppstå. I forhold til dampbremsen gir resultatene ingen grunn til bekymring for fuktskader. En sammenligning av resultatene med og uten

ventilasjonskanal i elementet, viser at forskjellen mellom resultatene er liten. Dessuten ligger RF for elementet med integrert ventilasjonskanal, ofte høyere enn for elementet uten ventilasjonskanal.

Resultatene fra bruk av OSB-plate som vindsperre viser perioder med grunnlag for mugg og råterisiko. Disse periodene anses som for korte til at problemer kan oppstå. Det er heller ikke risiko for vekst av mugg og råte på dampbremsen. Resultatene for RF og temperatur forholdene rundt ventilasjonskanalen, viser at det ikke er forhold for fuktskader verken med vindsperre av GU-plate eller OSB-plate.

Etter som fuktforholdene for standardkonstruksjonene er kartlagt, vil resultatene for de forskjellige parametervariasjonene studeres. Ved å øke lufthastigheten gjennom ventilasjonskanalen, er hensikten å oppnå samme effekt som om varmegjennvinneren ikke fungerer, og at temperaturen på luften i kanalen blir omtrent lik uteluften. Resultatene viser ingen mulighet for fuktskader verken på vindsperren eller dampbremsen. Som for standardkonstruksjonene finnes det perioder som tilfredsstillende kriteriene for vekstforhold for mugg og råte. Disse periodene er kortvarige, og problemer vil trolig ikke oppstå. For punktene omkring ventilasjonskanalen er situasjonen en annen, med gunstige forhold for fukt og råtevekst i alle punktene. Mest kritisk er det i punkt B og D, som har lange perioder hvor RF ligger over 80 %, mens temperaturen ligger godt over 5 °C. Det anses derfor som stor risiko for at fuktskader skal oppstå rundt hele kanalen.

Det er parameteren høyt startfuktnivå i den eksisterende veggen, som gir størst fare for fuktproblematikk på vindsperren. Resultatene viser at periodene med gunstige vekstforhold for mugg og råte på baksiden av vindsperren, er lengre enn for alle de andre simuleringene. Likevel er det ikke kritisk med tanke på fuktskader. Periodene anses fortsatt som for kortvarige til at det kan oppstå mugg og råteskader på vindsperren. For punktene rundt ventilasjonskanalen viser resultatene at forholdene ikke ligger til rette for fuktskader.

Bruk av støttestendere i elementet med ventilasjonskanal gir heller ikke problemer med tanke på fuktskader. Slik som i tidligere beregninger for forholdene på vindsperren, ligger RF over 80 % samt at temperaturen ligger over 5 °C i perioder. Lengden på disse periodene er vurdert som ikke tilstrekkelig for at problemer skal kunne oppstå. Forholdene rundt ventilasjonskanalen ligger ikke til rette for fuktskader, og det er ingen fare for fuktskader ved støttestenderen. RF ligger under 80 % gjennom hele simuleringssperioden for alle de definerte punktene både rundt ventilasjonskanalen og støttestenderen.

Simulering med kun 50 mm isolasjonstykkelse som overdekning foran kanalen, gir ikke grunnlag for fuktskader i konstruksjonen. Denne beregningen gir omtrent samme resultat som for standardkonstruksjonen med integrert ventilasjonskanal. Det er perioder med RF over 80 % og temperatur over 5 °C på vindsperren. Disse er korte at, og blir ikke ansett som problematiske i forhold til fare for fuktskader. Videre viser resultatene at det ikke er risiko for fuktskader rundt ventilasjonskanalen.

Resultatene fra parametervariasjonene viser tydelig at det er temperaturen i ventilasjonskanalen som har størst påvirkning på fuktforholdene omkring kanalen. Det er kun denne simuleringen som gir resultater som avdekker en åpenbar risiko for fuktskader rundt ventilasjonskanalen. Med temperaturer omtrent lik utelufa, oppstår det gunstige forhold for fukt og råteskader rundt ventilasjonskanalen. RF har lenge et nivå over 80 %, samtidig som temperaturen er over 5 °C i punktene rundt kanalen. Årsaken til fuktrisikoen er trolig at

temperaturen i ventilasjonskanalen er lavere enn temperaturen omkring kanalen. Temperaturforskjellen mellom temperaturen på innsiden av elementet og temperaturen i ventilasjonskanalen kan bli stor, og kanaloverflaten vil trolig avkjøles. Det er hele tiden konveksjon og luftgjennomgang mellom inne- og utelufta i elementet, i tillegg vil det være luftfuktighet i isolasjonen. Disse forholdene taler for at kondens kan oppstå. Det som videre skjer er at temperaturen i ventilasjonskanalen vil kjøle ned den varme luften rundt kanalen, og dermed skapes det kondens på utsiden av kanalen. For å unngå at fuktskader oppstår i elementet er det viktig å sørge for at varmegjennvinneren fungerer, og at temperaturen i ventilasjonskanalen ikke blir for lav. Selv om varmegjennvinneren skulle streike, er det liten sjanse for at det oppstår fuktproblemer dersom den blir erstattet eller reparert i løpet av kort tid. På den måten blir ikke perioden med gunstige vekstforhold lang nok til at problemer skal kunne oppstå. Dannelse av mugg og råteskader trenger tid for å kunne utvikle seg. Derfor blir korte perioder med gunstige vekstforhold ikke tilstrekkelig for at mugg og råteskader skal oppstå i elementet.

Gjennom alle simuleringene er det tydelig at punkt D ved ventilasjonskanalen har de verste forholdene med tanke på RF og temperatur. Dette punktet ligger midt på fremsiden av kanalen, altså på kanten som vender mot vindspærren og ytterkledningen. Grunnen til at dette punktet til stadighet får de gunstigste resultatene for fuktskader, henger nok sammen med plasseringen. Dette punktet har den mest ugunstige plasseringen, etter som den ligger på den minste isolasjonstykkelsen av punktene, og samtidig ligger midt foran kanalen. Punkt D er derfor det kaldeste punktet omkring ventilasjonskanalen. Dessuten blir RF nivået høyest i dette punktet, noe som trolig kommer av oppsamling av fuktighet. Det stor sjanse for stillestående luftforhold på fremsiden av elementet, ved at varmestråling og luftgjennomgang ikke vil komme til på fremsiden av kanalen. Dermed er det vanskeligere å få luftet ut eventuell kondens.

Det er gjort få beregninger på undersøkelse av fuktproblematikk i forbindelse med integrerte ventilasjonskanaler i fasadeelement. Flere beregninger og parametervariasjoner ville gitt større grunnlag for å trekke konklusjoner, og for å finne ut hva som påvirker fuktforholdet i elementet. For eksempel kunne det vært aktuelt å utføre beregninger i forhold til variasjon i uteklimate og orientering av fasaden, samtidig som flere variasjoner i temperatur eller lufthastighet i kanalen kunne gitt interessante resultater. Likevel ble antall beregninger og parametervariasjoner ansett som tilstrekkelig for denne oppgaven, da det tross alt gir et innblikk i hvilke parametre som påvirker fuktforholdet i konstruksjonen. Dessuten er dette kun en del av masteroppgaven. Derfor var det viktig å ikke legg for mye tid og ressurser i nettopp disse beregningene.

Videre er det muligheter for at manglende erfaring i forhold til bruken av WUFI programmet og andre små feil kan ha påvirket resultatene. Dette kan komme av at studenten ikke kjenner programmet godt nok til å vite hvilke parametre som påvirker beregningene, og hvilke innstillinger som vil være gyldig til enhver situasjon. På den måten skapes usikkerhet i resultatene. Innstillingene og verdiene ble sett gjennom av veileder før simuleringene. Videre ble det tatt forhåndsregler for at feil ikke skal kunne oppstå, gjennom at egne varianter for alle beregningene ble laget før simuleringene startet. Slik var det ikke nødvendig å gjøre endringer i innstillingene underveis i simuleringene, noe som ofte medfører feil. På den måten ble alle slike feilkilder forsøkt luket bort. Likevel kan det fortsatt ligge igjen noe som ikke ble oppdaget.

11 Konklusjon

Bruk av prefabrikkerte fasadeelementer i tre egner seg godt til rehabilitering av eldre bygninger, slik som i Nordahl Bruns gate. Med rask monterings tid og muligheter for utvidelse av arealet passer TES elementer utmerket. Det finnes utrolig mange måter å utføre elementene på. Denne rapporten viser ett forslag for utforming av en av fasadene i Nordahl Bruns gate. Elementene er utformet med horisontal retning, ut i fra faktorer som påvirker dette caset. En total vurdering av hele konstruksjonen kunne gitt vertikal retning på elementene. Likevel var det sørfasaden på Nordahl Bruns gate som var aktuell i oppgaven, og den som måtte tas hensyn til gjennom utformingen. Den valgte lastbæringsmetoden er antagelig ikke den mest optimale for konstruksjonen, men er fullt mulig å benytte. Det var viktig med en enkel lastsituasjon oppgaven, siden det ikke utføres statiske beregninger for innfesting av elementene. Derfor ble etasjevis innfesting antatt som den beste måten for lastsituasjonen. Likevel kunne bruken av eget fundament for elementene gitt bedre løsninger. I forhold til utforming av elementene og detaljene i oppgaven, har studentens manglende erfaring satt begrensninger. En mer erfaren ingeniør ville trolig sett andre løsninger gjennom prosjektering av elementene. Uansett viser detaljene metoder som er mulig å benytte.

De vertikale skjøtene mellom elementene er planlagt med Z-utforming. Dette er nødvendig for å oppnå passivhuskravene. De horisontale skjøtene er planlagt med tetting ved hjelp av fuging og isolasjonsremser, før en flik av vindsperrerullproduktet trekkes over skjøten og klemmes. Dette gir en optimal utføring av skjøten. For montering av ytterkledningen, er det ansett som en fordel at det meste er montert på fabrikk. Likevel er det nødvendig med åpninger skjøtene mellom elementene, slik at isolering, fuging og tetting kan gjøres på byggeplassen. Ettermontering av kledningen kan være arbeidskrevende, men er trolig den beste løsningen med tanke på estetisk utforming av fasaden.

De eksisterende vinduene skiftes ut for å hindre store U-verdier og kuldebroer. Ved å sette vinduet helt på innkanten av elementet, vil vinduet stå omtrent midt i veggen, og få en optimal plassering. Dette gir også plass til integrering av solskjerming. Integrering av solskjerming i elementet er fullt mulig å løse. Utfordringen ligger i å tilføre strøm til persiennekassen, mens montering og vedlikehold av persiennen er uproblematisk. Det er beskrevet en veldig grei løsning på tilførsel av strøm, gjennom å borre hull gjennom veggen og inn i den aktuelle leiligheten, og deretter tre kabelen igjennom ved montering av elementet. På den måten er alle de viktigste utfordringene i forhold til utforming og montering av fasadeelementer for Nordahl Bruns gate behandlet.

I forhold til parametervariasjoner for WUFI beregninger med bruk av OSB-plate i elementet, er det stor forskjell i hvor stor påvirkning parametrene har på fuktforholdet. Ut i fra resultatene fra beregningene kommer det tydelig fram at det er startfuktnivået i den eksisterende konstruksjonen som har størst påvirkning. Deretter er det fukttilførselen og uteklimaet som har størst påvirkning på fuktproblematikken. Det er ved disse parametervariasjonene at det kan oppstå problemer i forhold til fuktskader. Videre er det variasjon i orientering av fasaden som har minst påvirkning på resultatene. Dette kommer trolig av at nordfasaden, som benyttes som standardfasade, er den fasaden med de verste forholdene sett i fra et bygningsfysisk perspektiv.

Bruk av OSB-plate som vindspærre kan diskuteres. Resultatene viser flere eksempler hvor det ikke er problematisk, men også noen hvor det kan oppstå problemer. Dersom OSB-plate skal benyttes som vindspærre må derfor forholdene kartlegges og vurderes først. Det kan også

vurderes om det er mulig å gjøre noen tiltak for å redusere fuktrisikoen med bruk av OSB-plate som vindsperre. Fuktskader er ikke ønskelig i konstruksjonen, og man bør derfor forsøke å unngå dette. De fleste resultatene viser at det faktisk er mulig å benytte OSB-plate både som vindsperre og dampbrems i samme konstruksjon. Dette motviser teorien som sier at dette ikke er gunstig. Før det trekkes noen endelig konklusjon angående bruk av OSB-plate i elementet, er det nødvendig å gjøre flere og mer grundige simuleringer og tester. Det er viktig å være fullstendig klar over konsekvensene, og derfor kan det være nødvendig å kartlegge forholdene både i den eksisterende konstruksjonen og i uteklimaet før eventuelt OSB-plate benyttes. Videre er det aktuelt å vurdere hvorfor OSB-plate skal benyttes fremfor GU-plate. Dersom det gjelder kostnader og ikke andre egenskaper, kan det være best å bruke GU-platen som er ment til å brukes som vindsperre. Oppretting av fuktskader som følge av bruk av feil materiale vil ha en større kostnad enn det som er mulig å spare på å bruk OSB-plate istedenfor GU-plate.

Selv om tekniske installasjoner som ventilasjonskanaler tar stor plass i elementet, er det ikke oppdaget problemer i forhold til fuktskader som følge av lavere U-verdi eller store kuldebroer i elementet. Det eneste, ut i fra beregningene som ble utført, som kan skape problemer i forhold til fukt, er lav temperatur i ventilasjonskanalen. Eller høy lufthastighet gjennom kanalen slik det ble simulert. Bruk av støttestendere i konstruksjonen, mindre overdekning av isolasjon, høyt startfuktnivå i den eksisterende veggen og bruk av OSB-plate i konstruksjonen vil altså ikke kunne bidra til fuktskader i elementet. Verken på vindsperren, dampbremsen eller rundt ventilasjonskanalen. I tillegg viser resultatene at forholdene som regel er mest kritisk med tanke på fuktskader i front av ventilasjonskanalen. Flere parametervariasjoner ville gitt større grunnlag til å trekke konklusjoner angående påvirkning av fuktforholdet i konstruksjonen.

12 Videre arbeid

Det er fortsatt mange muligheter for videre arbeid innenfor dette temaet. Det er mange områder som kan forskes på videre for å bidra til å underbygge funnene og konklusjonene i denne rapporten. Dette kan gjøres for å utbedre oppgaven og gjøre den mer pålitelig i forhold til de resultatene og konklusjonene som presenteres. For eksempel kan elementer for hele bygningen i Nordahl Bruns gate utredes. Det kan være aktuelt å se på integrering av andre typer tekniske installasjoner, og dermed se på muligheter for å rehabilitere hele bygningen opp til dagens standard. Dessuten vil også statiske beregninger for lastbæring av elementene, og branddokumentasjon være en mulig videreføring og utbedring av oppgaven.

For detaljene ville det vært interessant å vurdere løsninger for andre typer valg. For eksempel med både liggende og stående kledning eller valg av annen lastbæringstype. På den måten kan detaljene vise løsninger uavhengig av hvilke valg som gjøres helt i starten av prosjektet. Dette gir flere valgmuligheter for å benytte tegningene ved en senere anledning.

I forhold til WUFI beregningene kan det gjøres flere beregninger. Videre kan flere parametre vurderes, og resultatene studeres bedre for å finne ut hvilke parametre som påvirker fuktsituasjonen, og i hvilken grad dette skjer. Dette er aktuelt både for beregninger av fuktproblematikk med bruk av OSB-plate som vindspærre og dampbrems i samme konstruksjon, og spesielt for bruk av ventilasjonskanaler i elementet. For sistnevnte simulering ble det gjort få beregninger, da beregningene var veldig tidkrevende. Flere beregninger vil gi større pålitelighet og bedre grunnlag for å trekke konklusjoner.

I tillegg kan det utredes en løsning for rehabilitering av en annen type konstruksjon, som for eksempel skjelettstruktur eller bokhyllestruktur. Det kan være andre utfordringer knyttet til disse strukturene, og utredninger tilknyttet tekniske installasjoner og krav kan gjøres for hele konstruksjonen.

Det hadde også vært interessant å utført beregninger for varmetap for konstruksjonen med fasadeelementer påmontert. Spesielt da i forhold til utførelse av tekniske installasjoner som ventilasjonsanlegg og solskjermingssystem. WUFI resultatene kartlegger fuktproblematikken i elementene, men de sier ikke noe om et eventuelt varmetap og reduksjon av U-verdi i forbindelse med integrering av tekniske installasjoner i elementene. En slik beregning styrker oppgaven, og gir flere faktorer for å vurdere bruken av tekniske installasjoner i elementene.

En mer omfattende vurdering av bruk av OSB-plate kontra bruk av GU-plate som vindspærre i elementet kan også være aktuelt. Hvor egenskapene og kostnadene kan vurderes og analyseres, for å finne ut hvilke konsekvenser og muligheter som er tilknyttet bruken av OSB-plate har i elementet. Flere omfattende beregninger både med bruk av WUFI og andre simuleringsprogrammer, samt tester i laboratorium kan gi bedre bakgrunn for å fremstille tydelige resultater og trekke gyldige konklusjoner.

Referanseliste

- Aarnes, K. A. (2011). *Mot passivhusnivå -muligheter og begrensninger ved rehabilitering av bygg*. (Masteroppgave, NTNU, Norge). Trondheim: NTNU.
- Alvdal Skurlag (2013). *Ordliste*. Hentet 31. mai 2013, fra: <http://www.alvdalskurlag.no/ordliste/>
- Baetens, R., Jelle, B. P. & Gustavsen, A. (2009). Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Elsevir.
- Berg, T. F. (2008). *Prosjektrapport 20 - Industrialisering og systematisering av boligproduksjon*. (Prosjektrapport, SINTEF Byggforsk). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Bjaanes, E. (2010). Eldre betongblokker blir nesten passivhus. *Norsk VVS* (3). Hentet 8. februar 2013, fra: <http://www.norskvvs.no/assets/pdf/NR1791747324.PDF>
- Bryn, I. H., Petersen, A. J., Karlsen, L. R. & Gedsø, S. (2012). *Tiltak mot høye temperaturer i passivhus Del I – Teori, erfaringer, anbefalinger og case-studier*. Oslo: Erichsen & Horgen A/S.
- Edwardsen, K. I., & Ramstad, T. (2007). *Håndbok 53 - Trehus*. (2. utgave). Oslo: Norges byggforskningsinstitutt
- Essve (udatert). *Hullbånd*. Hentet 6. mai 2013, fra: <http://www.essve.com/no/Retail/Produkter/katalog/Nettkatalog1/>
- Farstad, T. (2012). Fuktsikkerhet i moderne fasadeelementer. *Nasjonalt fuktseminar 2012*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Geving, S. (2012). *Nr. 1: Dataøving i bruk av WUFI*. Øvingsveiledning i faget TBA4171 Bygnings- og materialteknikk, videregående emne, 6. september 2012. NTNU, Trondheim.
- Geving, S., Holme, J. & Uvsløkk, S. (2010). *Prosjektrapport 65 – Alternative dampsperrer med uttørkingsmulighet mot innelufta*. (Prosjektrapport, SINTEF Byggforsk). Oslo: SINTEF Byggforsk
- Geving, S. & Thue, J. V. (2002). *Håndbok 50 – Fukt i bygninger*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt
- Glasø, G. (2012). *FOKUS på tre, nr 37. Tre og brann*. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.
- Gustavsen, A. (2010). *Velkommen til WUFI.NO*. Hentet 6. februar 2013, fra: <http://www.wufi.no/>

- Gustavsen, A., Thue, J. V., Blom, P., Dalehaug, A., Aurlien, T., Grynning, S. & Uvsløkk, S. (2008). *Prosjektrapport 25 - Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*. (Prosjektrapport, SINTEF Byggforsk). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Johansen, K. (2012). *Multifunksjonelle prefabrikkerte fasadeelementer av tre til rehabilitering av bygninger*. (Masteroppgave, NTNU, Norge). Trondheim: NTNU.
- Kjells markiser (udatert). *Persienner*. Hentet 27. februar 2013, fra: <http://www.kjellsmarkiser.no/c-25-Persienner.aspx>
- Kommunal- og regionaldepartementet (2009). *Bygg for fremtida. Miljøhandlingsplan for bolig- og byggsektoren 2009-2012*. Hentet 7. februar 2013, fra: http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/dok/rapporter_planer/planer/2009/bygg-for-framtida.html?id=576523
- Kristiansen, S. J. (2011). *Stadig flere huseiere velger screens*. Hentet 26. februar 2013, fra: <http://www.klikk.no/bolig/vedlikehold/article686616.ece>
- Larsen, K. E., Lattke, F., Ott, S. & Winter, S. (2011). *Surveying and digital workflow in energy performance retrofit projects using prefabricated elements*. Hentet 29. januar 2013, fra: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580511000501>
- Lattke, F., Larsen, K. E., Ott, S. & Cronhjort, Y. (2009). *TES EnergyFacade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*. (Forskningsprosjekt, Woodwisdom Net). Hentet 11. februar 2013, fra: http://www.tesenergyfacade.com/index.php?id=4_downloads
- Lattke, F. (2010) TES Energy Facade – 2nd Chance for Architecture. *World conference on timber engineering*.
- Lie, T. & Winsvold, M. I. (Udatert). *Arkitektkonkurranse – Konkurransprogram Nordahl Bruns gate*. Norges Eiendom og Skanska Norge.
- Moelven (2013). *Branntrygt Tre – Utvendig kledning*. Hentet 22. mai 2013, fra: <http://www.moelven.com/no/Produkter-og-tjenester/Produktsider-for-Wood/Kledning/Branntrygt-tre1/>
- Moelven (2012). *Branntrygt Tre*. Hentet 22. mai 2013, fra: <http://www.moelven.com/no/Produkter-og-tjenester/Produktsider-for-Wood/Kledning/Branntrygt-tre1/>
- Mørk, M. I. (2012). *Historisk utvikling i materialbruk og konstruksjoner*. Forelesning i faget TBA4170 Ombygging, renovering og forvaltning, våren 2012. NTNU, Trondheim.
- Nordahl Bruns - Arkitekturkonkurranse*. (2012).
- NorDan AS (2009). *NTECH Passiv 0,7 Vertikalt snitt*. Hentet 29. april 2013, fra: <http://www.nordan.no/vinduer/fast-karm/#tegninger>

- Nordiskt Brandskyddat Trä (udatert). *Brandskyddade träprodukter med dokumenterade egenskaper*. Hentet 4. april 2013, fra: <http://www.nordbt.se/se/brandskyddade-produkter>
- Noreng, K. & Geving, S. (2008). *Værbeskyttet bygging – beskyttelse av uferdig bygg mot nedbør*. (Rapport 4 - 2008, SINTEF Byggforsk) Trondheim: SINTEF Byggforsk.
- Norges Eiendom & Skanska Norge (Udatert). *Arkitektkonkurranse – Prekvalifisering Nordahl Bruns gate*.
- Norsol AS (udatert). *Produktark – Screen*. Hentet 26. februar 2013, fra: <http://www.norsol.no/Modules/Page/viewPage.asp?modid=7273&level=7273>
- Novakovic, V., Hanssen, S. O., Thue, J. V., Wangensteen, I. & Gjerstad, F. O. (2007). *Enøk i bygninger – effektiv energibruk*. (3. utgave). Trondheim: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Olsson, N. (2011). *Praktisk rapportskrivning*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag
- Ott, S. & Winter, S. (2010a). TES Energy Facade – Construction Principles. *World conference on timber engineering*.
- Ott, S. & Winter, S. (2010b). TES Energy Facade – Sustainability and Environmental Impact. *World conference on timber engineering*.
- RuBe (2011). *Prosjekt NB! – Generell vurdering bygg. Vurdering 1: Eksisterende bygg*.
- Securo AS (2013). *FB Hulromsventil – Produktdatablad/montering*. Hentet 8. april 2013, fra: <http://securo.no/custom/plone/no/produkter/CFS>
- Securo AS (udatert). *FB Hulromsventil – Brosjyre*. Hentet 8. april 2013, fra: <http://securo.no/custom/plone/no/produkter/CFS>
- Simpson Strong-Tie CO (2013). *AKR Winkelverbinder AKR95 und AKR95L, AKR135 und AKR135 L*. Hentet 10. mai 2013, fra: <http://www.strongtie.de/page302.aspx?recordid302=160&q=AKR>
- SINTEF Byggforsk (2012). *523.701 – Innsetting av vindu i vegger av bindingsverk*. (Byggforskserien). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SINTEF Byggforsk (2011). *Energieffektive bygg – fukt og frykt. Nasjonalt fuktseminar 2011*. Oslo: SINTEF Byggforsk. Hentet 7. februar 2013, fra: http://www.sintef.no/uploadpages/274358/Nasjonalt_fuktseminar_2011_kompendium.pdf
- SINTEF Byggforsk (2010). *Teknisk Godkjenning – Trebyggeriet Trehussystem*. SINTEF Byggforsk.
- SINTEF Byggforsk (2008a). *520.322 - Brannmotstand for vegger*. (Byggforskserien). Oslo: SINTEF Byggforsk.

- SINTEF Byggforsk (2008b). *Dampmotstand i lette bindingsverkskonstruksjoner*. Hentet 8. mars 2013, fra: <http://www.sintef.no/Byggforsk/Nyheter/Dampmotstand-i-lette-bindingsverkskonstruksjoner/>
- SINTEF Byggforsk (2006). *NBI Teknisk godkjenning – Norgips GU-X*. SINTEF Byggforsk.
- SINTEF Byggforsk (2003a). *471.010 – Varmekonduktiviteten og varmemotstand for bygningsmaterialer*. (Byggforskserien). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SINTEF Byggforsk (2003b). *723.312 – Etterisolering av betong- og murvegger*. (Byggforskserien). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SFS intec AS (udatert). *Montering av tre til tre med WT-T system*. Hentet 6. mai 2013, fra: http://www.sfsintec.biz/internet/SFS09.nsf/PageID/Trekonstruksjoner_2
- smartTES (udatert). Hentet 8. februar 2013, fra: http://www.tesenergyfacade.com/index.php?id=14_smarttes
- Standard Norge (2011). *NS 3031:2007+A1:2011 Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data*. Lysaker: Standard Norge.
- Standard Norge (2010). *NS 3700:2010. Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger*. Lysaker: Standard Norge.
- Stellander, M. (2012). *Smarte dampsperrer med uttørkningsmulighet mot innelufta*. (Masteroppgave, NTNU, Norge). Trondheim: NTNU.
- Stene Stål Produkter AS (udatert). *Vinkelstål, S355J2 Likebeinet*. Hentet 6. mai 2013, fra: <http://www.stenestal.no/?vis=produkt&pkid=9661&pfid=9661&produktid=2601&t=VINKELSTÅL,S355J2 LIKEBEINET>
- Syrrakou, E, Papaefthimiou, S., Skarpentzos, N. & Yianoulis, P. (2005). *Electrochromic Windows: Physical Characteristics and Environmental Profile*. Hellas: Solar Energy Laboratory, Physics Department, University of Patras.
- TEK 10 (2010). *FOR 2010-03-26 nr 489: Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Hentet 21. mars 2013, fra: <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html#map014>
- Thue, J. V. (2011). *Husbyggingsteknikk – Bygningsfysisk grunnlag*. (4. utgave). NTNU.
- Time, B. (2013). *Retningslinjer for forankring av prefabrikkerte elementer i tre (TES-elementer) til fasader ved oppgradering*. Trondheim: SINTEF Byggforsk
- Veiledning om tekniske krav til byggverk* (2011). Hentet 21. mars 2013, fra: <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/>
- Warema Renkhoff SE (2013). *Measuring instructions*.

Warema Renkhoff SE (2012). *WAREMA venetian blind window systems – Installation instructions*.

Warema Renkhoff SE (udatert). *Venetian blind window systems*. Hentet 5. mars 2013, fra: <http://www.sonnenschutzplaner.de/ssp3/?catLanguage=EN>

Wikipedia (2013). *Smart glass*. Hentet 22. mai 2013, fra: http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_glass

Wærnes, E. (2011). *Prefabrikkerte elementer i rehabilitering*. (Prosjektoppgave, NTNU, Norge). Trondheim: NTNU.

Östman, B. (2012). *Brandsäkra trähus 3. Nordisk – baltisk kunskapsöversikt och vägledning*. Stockholm: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Personlig kommunikasjon

Runar Bekkhus, prosjektleder, Norges Eiendom AS.

Stig Geving, professor, NTNU.

Holger Halstedt, senioringeniør, SINTEF Byggforsk.

Rune Klemetsen, Solskjermingsgruppen.

Harald Landrø, daglig leder Tresentret/ professor NTNU.

Vedlegg

Vedlegg 1 – Oppgavetekst

Vedlegg 2 – Beregning av U-verdier

Vedlegg 3 – Produktdatablad med monteringsanvisning for FB Hulromsventil

Vedlegg 4 – Monteringsanvisning for integrert solskjerming

Vedlegg 5 – Detaljtegninger

Vedlegg 6 – WUFI beregninger for simulering av startfuktnivå på teglsteinsfasade

Vedlegg 7 – Resultater fra WUFI beregninger med OSB-plate

Vedlegg 8 – Resultater fra WUFI beregninger med ventilasjonskanal

MASTEROPPGAVE (TBA4905)

VÅREN 2013
for
Mette Slind

Prefabrikkerte fasadeelementer av tre til rehabilitering av bygninger - Eksempelstudie av Nordahl Bruns gate

Prefabricated wooden facade elements in renovation of buildings – Case study Nordahl Bruns gate

BAKGRUNN

I Norge bruker vi årlig 80 TWh til drift av bygninger, dette tilsvarer 40 % av netto innenlands sluttforbruk av energi. Energieffektivisering i bygninger gir de største og raskeste klimagassreduksjonene. I Europas eksisterende bygningsmasse har vi et stort potensial for energisparing ved renovering av bygninger. 80 % av dagens bygninger i Norge vil fortsatt være i bruk i 2050 (Kommunal- og regionaldepartementet 2009). For å ta ut potensialet i energieffektivisering i byggsektoren er det derfor helt nødvendig å modernisere bygninger på en energimesig optimal måte.

Bruk av prefabrikkerte elementer kan være å foretrekke som rehabiliteringsmetode da det gir kortere byggetid enn ved tradisjonell plassbygging. Rehabilitering av bygninger med bruk av fasadeelementer er imidlertid relativt nytt i Norge, og det er mange tekniske utfordringer knyttet til slik bruk av elementer sammenlignet med nybygging. En interessant variant av slike fasadeelementer er elementer med integrerte tekniske installasjoner, f.eks. ventilasjonskanaler, rørføringer, solvarmeanlegg o.l.

Prosjektet **smartTES** (smartTES Innovation in timber construction for the modernisation of the building envelope) har som målsetning å utvikle og dokumentere metoder for energieffektiv modernisering av bygninger med prefabrikkerte treelementer. Prosjektet er et samarbeidsprosjekt mellom det tekniske universitetet i München (TUM), Aalto Universitetet i Helsinki, SINTEF, NTNU samt industribedrifter i de deltagende landene.

OPPGAVE

Beskrivelse av oppgaven

Hensikten med oppgaven er å undersøke og kartlegge muligheter, fordeler og utfordringer knyttet til bruk av prefabrikkerte fasadeelementer ved rehabilitering av boligblokker, inkludert integrering av tekniske installasjoner i prefabrikkerte fasadeelementer. Spesiell vekt legges på integrering av solskjermingssystemer, men også andre integrerte løsninger kan det være aktuelt å undersøke.

Oppgaven tar utgangspunkt i et reelt rehabiliteringsprosjekt for en boligblokk (Nordahl Bruns gate) hvor man planlegger å rehabilitere til passivhusnivå/nullutslippsnivå. Oppgaven vil derfor gå ut på å velge noen løsninger som er aktuelle for dette bygget, og utrede disse mhp noen utvalgte tekniske utfordringer/problemer.

Deloppgaver og forskningsspørsmål

Følgende deloppgaver kan inngå i masteroppgaven:

- A. *Litteraturundersøkelse.* Det gjennomføres en kortfattet kartlegging og beskrivelse av de systemene (elementtyper, integrerte installasjoner, materialtyper etc) som vil bli vurdert videre i denne eksempelstudien.
- B. *Elementsystem.* Det gjennomføres en analyse av muligheter, utfordringer og teknisk gjennomføring av bruk av en type elementsystem i Nordahl Bruns gate.
- C. *Integrering av solavskjerming.* Det gjennomføres en analyse av muligheter, utfordringer og teknisk gjennomføring av integrering av solskjerming i systemet som vurderes benyttet i Nordahl Bruns gate
- D. *Bygningsfysiske vurderinger med WUFI.* Det gjennomføres vurderinger av noen utvalgte problemstillinger knyttet til selve elementene eller de integrerte installasjonene:
 - a. Analyse av bruk av OSB-plater i elementene
 - b. Analyse av fuktrisiko ved bruk av ventilasjonskanaler i elementene.

Detaljer og omfang i forbindelse med de enkelte deloppgavene avklares nærmere med veilederne. I denne oppgaven er illustrasjon/tegninger av mulige konsepter og løsninger en viktig del.

A. GENERELT

Opgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med veileder og faglærer ved instituttet (samt med ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt).

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidingen og selvstendighet i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside <http://www.ntnu.no/selvhjelpspakken/ppt-dokmaler/Masteroppgave/>
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk, innholdsfortegnelse inklusive oversikt over figurer, tabeller og vedlegg
- hovedteksten
- referanser til kildemateriale som ikke er av generell karakter, dette gjelder også for muntlig informasjon og opplysninger
- oppgaveteksten (signert)
- besvarelsen skal ha komplett paginering (sidennummer)
- Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel. Arbeidet leveres da også med rapportforside og tittelside og om nødvendig med vedlegg som dokumenterer arbeid utført i prosessen med utforming av artikkelen.

Hva skal innleveres?

- Besvarelsen i original (uinnbundet)
- To innbundne kopier
- Eventuelt: X avtalte tilleggs kopier for formidling til ekstern samarbeidspartner (dekkes av instituttet eller ekstern partner)
- CD med besvarelsen **i digital form** i pdf-format eller word-format med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel))
- En kortfattet (tilsv. 1-2 A4-sider inkl. evt. illustrasjoner) populærvitenskapelig oppsummering av arbeidet, på html-mal gitt av instituttet, beregnet for publisering på internettet. Oppsummeringen bør redegjøre for hensikten med arbeidet og for gjennomføringen og de vesentligste resultater og konklusjoner av arbeidet. Mal finnes på: <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport». Finnes på <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.
Beskrives her når dette er aktuelt.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Innleveringsfrist:

Arbeidet med oppgaven starter **14. januar 2013**.

Besvarelsen i original (uinnbundet) og to innbundne kopier, samt besvarelsen i digital form skal leveres innen **10. juni 2013 kl 1500**.

Faglærer ved instituttet: prof. Stig Geving, Institutt for bygg, anlegg og transport

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: Berit Time, SINTEF Byggforsk

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 07.01.2013

Stig Geving
Faglærer

U-verdi beregning for fasadeelement på eksisterende vegg

Her må beregningene snus på hodet, da ønsket U-verdi er kjent, og tykkelse på isolasjonslag i fasadeelementet skal finnes. U-verdien beregnes ved hjelp av øvre- og nedre grenseverdi. Den eksisterende fasaden vil kun bestå av homogene sjikt. Det regnes på to felt i elementet, ett med bindingsverk og ett med isolasjon. Den nødvendige tykkelsen på elementet defineres med x og oppgis i meter.

Ønsket U-verdi er i henhold til kravet for yttervegger i passivhus, $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Standard Norge, 2010). ΔU settes lik 0 da det antas som unødvendig med korreksjon i elementer med passivhusstandard, da utførelsen bør være nøyaktig. Dessuten er elementene fremstilt på fabrikk. Dette gir en bedre utførelse, og derfor burde man kunne utelukke de fleste feilkilder.

Alle verdier for varmekonduktivitet for materialene er hentet fra byggforskladet ”Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer” (SINTEF Byggforsk, 2003a) dersom annet ikke er oppgitt.

Utjevningslaget mellom fasadeelementet og den eksisterende fasaden vurderes som ubetydelig i forbindelse med beregningene siden sjiktet vil være såpass tynt. Derfor vil dette utelukkes. Dette vil uansett kun bidra positivt i forhold til varmemotstanden.

U-verdi:

$$U = \frac{1}{R} + \Delta U = 0,15 + 0 = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{0,15} = 6,667 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Total varmemotstand:

$$R_T = 6,667 \text{ m}^2\text{K/W} = R_{\text{eks}} + \frac{R'_T + R''_T}{2}$$

Finner eksisterende varmemotstand, R_{eks} , først:

Sjikt	Tykkelse (m)	Varmekonduktivitet (W/mK)	Varmemotstand R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Innvendig overgangsmotstand			0,13
Innvendig kledning*	0,013	0,20	0,07
Gassbetong	0,100	0,15 (Thue, 2011)	0,67
Luftespalte	0,025	0,025	1
Teglstein	0,230	0,60 (Thue, 2011)	0,38
Utvendig overgangsmotstand			0,04
		SUM	2,29

*Antar her at leilighetene har en innvendig kledning innenfor gassbetongen, tilsvarende ett lag gips.

Vedlegg 2 – Beregning av U-verdier

Dette gir varmemotstand for elementet:

$$\frac{R'_T + R''_T}{2} = 6,667 - R_{\text{eks}} = 6,667 - 2,29 = 4,377 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Beregning av varmemotstand, øvre grenseverdi R'_T :

Sjikt	Tykkelse (m)	Varmekonduktivitet (W/mK)	Varmemotstand R (m ² K/W)	
			Bindingsverk, R' _{Ta}	Isolasjon, R' _{Tb}
			Bindingsverk, R' _{Ta}	Isolasjon, R' _{Tb}
Innvendig overgangsmotstand			0,13	0,13
OSB-plate innside	0,012	0,13	0,09	0,09
Trestendere	X	0,13	(x/0,13)	
Mineralull	X	0,037		(x/0,037)
GU-plate + vindsperre**			0,026 + 0,03 = 0,056	0,026 + 0,03 = 0,056
Utvendig overgangsmotstand***			0,13	0,13
		SUM	0,41 + (x/0,13)	0,41 + (x/0,037)

**Varmemotstand for GU-plate hentet fra SINTEF Byggforsk (2006).

***Antar godt luftet kledning på elementet, noe som gir utvendig overgangsmotstand lik innvendig overgangsmotstand mens luftspalte og kledning sløyfes (Edvardsen & Ramstad, 2007).

Arealdeler:

Felt a, stendere 0,15 (Thue, 2011)

Felt b, 1 - 0,15 = 0,85

$$R'_T = \frac{\sum A}{\sum \frac{A}{R_T}} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R'_{Ta}} + \frac{A_b}{R'_{Tb}}} =$$

$$\frac{0,15 + 0,85}{\frac{0,15}{0,41 + \frac{x}{0,13}} + \frac{0,85}{0,41 + \frac{x}{0,037}}} =$$

$$\frac{0,15 + 0,85}{\left(\frac{0,15}{0,41 + \frac{0,0915}{x}}\right) + \left(\frac{0,85}{0,41 + \frac{0,0315}{x}}\right)} =$$

$$\frac{1}{2,44 + \frac{0,051}{x}} = 0,41 + \frac{x}{0,051} \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Beregning av varmemotstand, nedre grenseverdi R''_T :

Legert varmeledningsevne:

Der varmekonduktiviteten til tre, λ_a , er 0,15 W/mK og for mineralull, λ_b , er 0,037 W/mK (SINTEF Byggforsk, 2003).

$$\lambda = A_a \cdot \lambda_a + A_b \cdot \lambda_b = 0,15 \cdot 0,13 + 0,85 \cdot 0,037 = 0,051 \text{ W/mK}$$

Sjikt	Tykkelse (m)	Varmekonduktivitet (W/mK)	Varmemotstand i legeringen R (m ² K/W)
Innvendig overgangsmotstand			0,13
OSB-plate innside	0,012	0,13	0,09
Legering	x	0,051	(x/0,051)
GU-plate + vindsperre**			0,026 + 0,03 = 0,056
Utvendig overgangsmotstand***			0,13
		SUM	0,41 + (x/0,051)

**Varmemotstand for GU-plate hentet fra SINTEF Byggforsk (2006).

***Antar godt luftet kledning på elementet, noe som gir utvendig overgangsmotstand lik innvendig overgangsmotstand mens luftspalte og kledning sløyfes (Edwardsen & Ramstad, 2007).

Finner så tykkelsen x:

$$\frac{R'_T + R''_T}{2} = 4,377 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$\frac{\left(0,41 + \frac{x}{0,051}\right) + \left(0,41 + \frac{x}{0,051}\right)}{2} = 4,377 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$\frac{2 \cdot \left(0,41 + \frac{x}{0,051}\right)}{2} = 4,377$$

$$0,41 + \frac{x}{0,051} = 4,377$$

$$\frac{x}{0,051} = 4,377 - 0,41$$

$$x = 0,200$$

Altså må tykkelsen på isolasjonslaget i fasadeelementet være minimum 200 mm.

U-verdi for frittstående element

Her må beregningene snus på hodet, da ønsket U-verdi er kjent, og tykkelse på isolasjonslag i fasadeelementet skal finnes. U-verdien beregnes ved hjelp av øvre- og nedre grenseverdi. Det regnes på to felt i elementet, ett med bindingsverk og ett med isolasjon. Selv om det kan være nødvendig med innvendig påføring på elementet, regnes bindingsverket som ett sjikt. Den nødvendige tykkelsen på elementet defineres med x og oppgis i meter.

Ønsket U-verdi er i henhold til kravet for yttervegger i passivhus, $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Standard Norge, 2010). ΔU settes lik 0 da det antas som unødvendig med korleksjon i elementer med passivhusstandard, da utførelsen bør være nøyaktig. Dessuten er elementene fremstilt på fabrikk. Dette gir en bedre utførelse, og derfor burde man kunne utelukke de fleste feilkilder.

Alle verdier for varmekonduktivitet for materialene er hentet fra byggforskladet ”Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer” (SINTEF Byggforsk, 2003a) dersom annet ikke er oppgitt.

U-verdi:

$$U = \frac{1}{R} + \Delta U = 0,15 + 0 = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{0,15} = 6,667 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Total varmemotstand:

$$R_T = 6,667 \text{ m}^2\text{K/W} = + \frac{R'_T + R''_T}{2}$$

Beregning av varmemotstand, øvre grenseverdi R'_T :

Sjikt	Tykkelse (m)	Varmekonduktivitet (W/mK)	Varmemotstand R (m ² K/W)	
			Bindingsverk, R' _{Ta}	Isolasjon, R' _{Tb}
Innvendig overgangsmotstand			0,13	0,13
Gipsplater	2x0,013	0,20	0,13	0,13
Dampsperre			0,03	0,03
Trestendere	x	0,13	(x/0,13)	
Mineralull	x	0,037		(x/0,037)
GU-plate + vindsperre*			0,026 + 0,03 = 0,056	0,026 + 0,03 = 0,056
Utvendig overgangsmotstand**			0,13	0,13
			SUM 0,476 + (x/0,13)	0,476 + (x/0,037)

*Varmemotstand for GU-plate hentet fra SINTEF Byggforsk (2006).

Vedlegg 2 – Beregning av U-verdier

**Antar godt luftet kledning på elementet, noe som gir utvendig overgangsmotstand lik innvendig overgangsmotstand mens luftspalte og kledning sløyfes (Edvardsen & Ramstad, 2007).

Arealdeler:

Felt a, stendere 0,15 (Thue, 2011)

Felt b, 1 - 0,15 = 0,85

$$\begin{aligned} R'_T &= \frac{\sum A}{\sum \frac{A}{R_T}} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R'_{Ta}} + \frac{A_b}{R'_{Tb}}} = \\ &= \frac{0,15 + 0,85}{\frac{0,15}{0,476 + \frac{x}{0,13}} + \frac{0,85}{0,476 + \frac{x}{0,037}}} = \\ &= \frac{0,15 + 0,85}{\left(\frac{0,15}{0,476} + \frac{0,0915}{x} \right) + \left(\frac{0,85}{0,476} + \frac{0,0315}{x} \right)} = \\ &= \frac{1}{2,1 + \frac{0,051}{x}} = 0,476 + \frac{x}{0,051} \text{ m}^2 \text{ K} / \text{ W} \end{aligned}$$

Beregning av varmemotstand, nedre grenseverdi R''_T:

Legert varmeledningsevne:

Der varmekonduktiviteten til tre, λ_a , er 0,15 W/mK og for mineralull, λ_b , er 0,037 W/mK (SINTEF Byggforsk, 2003).

$$\lambda = A_a \cdot \lambda_a + A_b \cdot \lambda_b = 0,15 \cdot 0,13 + 0,85 \cdot 0,037 = 0,051 \text{ W} / \text{ mK}$$

Vedlegg 2 – Beregning av U-verdier

Sjikt	Tykkelse (m)	Varmekonduktivitet (W/mK)	Varmemotstand i legeringen R (m ² K/W)
Innvendig overgangsmotstand			0,13
Gipsplater	2x0,013	0,20	0,13
Dampsperre			0,03
Legering	x	0,051	(x/0,051)
GU-plate + vindsperre*			0,026 + 0,03 = 0,056
Utvendig overgangsmotstand**			0,13
		SUM	0,476 + (x/0,051)

*Varmemotstand for GU-plate hentet fra SINTEF Byggforsk (2006).

**Antar godt luftet kledning på elementet, noe som gir utvendig overgangsmotstand lik innvendig overgangsmotstand mens luftspalte og kledning sløyfes (Edvardsen & Ramstad, 2007).

Finner så tykkelsen x:

$$\frac{R'_T + R''_T}{2} = 6,667 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$\frac{\left(0,476 + \frac{x}{0,051}\right) + \left(0,476 + \frac{x}{0,051}\right)}{2} = 6,667 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$\frac{2 \cdot \left(0,476 + \frac{x}{0,051}\right)}{2} = 6,667$$

$$0,476 + \frac{x}{0,051} = 6,667$$

$$\frac{x}{0,051} = 6,667 - 0,476$$

$$x = 0,316$$

Altså må tykkelsen på isolasjonslaget i fasadeelementet være minimum 320 mm.

FB Hulromsventil

SECURO
www.securo.no

09.01.2013

Versjon 1.1

Hulromsventil med brannmotstand

Brann som får spre seg i hulrommene under kledning i yttervegg er et stort problem siden det er vanskelig for brannvesen å komme til. Med FB Hulromsventil kan man seksjonere hulrommet under kledningen slik at brannspredningen begrenses. I likhet med de øvrige Firebreather-ventilene kombinerer FB Hulromsventil behov for tilstrekkelig lufting under kledningen med behov for å redusere spredning av brann.

Ventilen er også godt egnet til å brukes i luftespaltene i takutstikk, da får man en

fortløpende luftespalte som ligner på tidligere luftespalter med fluenetting.

Ventilen tetter ikke hulrommet når den er montert, men tillater nødvendig utlufting under kledningen. Ved brann vil produktet tette lufteåpningene under kledningen og således hindre omfattende brannspredning. FB Hulromsventil kommer i flere ytelsesvarianter - EI30, EI60 og EI90.



Produktfakta

•••

Leveres i en meters lengde.

Dybde x Høyde

23(+3) x 87 (±7)mm

28(+3) x 87 (±7)mm

36(+4) x 112 (±7)mm

Brannklasse:

EI30, EI60 og EI90

Testet og klassifisert i henhold til:

NS-EN 1366-4:2006

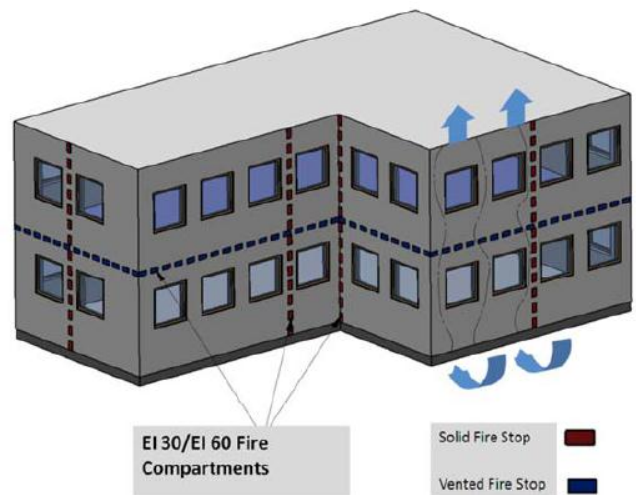
Sintef godkjenning:

SINTEF 010-0238

PROSJEKTERING

Normalt monteres ventilene horisontalt, og tette lekter utgjør vertikale brannstopp. Ventilerte og tette brannstopp anbringes normalt ved branncelleskiller i bygget, eller slik at det største brann feltet er mindre enn 100 m². Når yttervegg i seg selv yter brannmotstand kan brann strategien stille andre krav ved brannskillene.

Uten klassifiserte tette eller ventilerte brannstopp kan brann i ventilerte hulrom utvikle seg like raskt som hydrokarbon branner og spre seg med en hastighet av 2-8 m/min både vertikalt og horisontalt. Skjulte branner er vanskelige å lokalisere og å stanse for brannmannskap, og det blir lett totalskade hvis de spres til takfot eller stubbeloft.



FB Hulrom ventil holder sertifisert brannmotstand uansett, slik som en tett brannstopp i form av tre lekt på 38 mm. Når ventil eller tett brannstopp står mellom brennbar kledning og vindsperrer avgjør gjennombrenningstiden til disse. Det tjener lite at brannstopp har høyere brannmotstand enn selv hulrommet, som sjelden yter mer enn EI 30.

Teknisk data

FB Hulromsventil består av flettet duk i rustfritt stål og Therm A Flex intumecentmasse.

Rustfritt stål AISI304, flettet duk

Trådtykkelse 0.56mm

Maskevidde 2mm

Intumecentmasse: Grafitt i PVA (polyvinylalkohol) bindemiddel.

Effektivt ventilasjonsareal

Luftede kledninger kan utformes på mange ulike typer materialer og på mange forskjellige måter. Hovedprinsippet er imidlertid det samme: Kledningen (regnskjermer) skal skilles fra bakveggen (vindsperra) med et ventilert og drenert luftrom. Det kan leses mer om dette i rapporten fra SINTEF, Luftede kledninger.

Luftbehov i tak kan bestemmes fra verdier i SINTEF Byggforsk 525.106 (*preakseptert dimensjonering*) eller dokumenteres ut fra eget behov (*behovsdimensjonering*).

Behovsdimensjonering:

SINTEF Byggforsk 525.106 beskriver ventilasjonsløsninger med effektivt areal bestemt av klima, geografisk beliggenhet etc. Prosjekterende med ansvarsrett, f.eks. byggentreprenør, kan bruke det for å tilpasse antall ventiler og energitap optimalt ut fra geografi og fremherskende klimaforhold. Litteratur fins også for å dokumentere ventilasjonsbehov basert på forskning. I vanlige prosjekt velges preakseptert iht Håndbok 51 eller behovsdimensjonering iht klima som gitt i SINTEF Byggforsk 525.106.

Anbefalinger fra blant annet boken Brandsikra Trähus Utgave 2. SINTEF Byggforsk Håndbok 51 *Fleretasjes trehus* anbefaler at luftearealet av kalde loft/tak bør være 1/300 del av takets/loftets gulvareal. Det er totalt lufteareal inkludert areal for utlufting.

Dimensjonering for spesielle takkonstruksjoner

Ventilene kan benyttes for kalde loft med skrå tak, pulttak eller oppforede flate tak. I forbindelse med de siste kan hvert bjelkemellomrom være atskilt, og må derfor luftes hver for seg. Alternativt kan raftekassene utføres som plenum som fordeler innluft og utluft hhv til og fra mellomrommene. Plenum behøver da færre ventiler enn en måtte ha for å lufte hvert hulrom.

Dimensjon	m ²
23mm	0,115
28mm	0,14
36mm	0,18

Tabell 1 Luftareal per meter FB Hulromsventil.

Bestillingskoder

Dimensjon	Brannklasse	Artikkelnr.	Nobbnr.
23mm - 1meters lengde	EI30	FBH-23-1000-30	43745796
23mm – 0,5meters lengde	EI30	FBH-23-500-30	
23mm - 1meters lengde	EI60	FBH-23-1000-60	43745815
23mm – 0,5meters lengde	EI60	FBH-23-500-60	
23mm - 1meters lengde	EI90	FBH-23-1000-90	43745826
28mm - 1meters lengde	EI30	FBH-28-1000-30	43745845
28mm – 0,5meters lengde	EI30	FBH-28-500-30	
28mm - 1meters lengde	EI60	FBH-28-1000-60	43745853
28mm – 0,5meters lengde	EI60	FBH-28-500-60	
28mm - 1meters lengde	EI90	FBH-28-1000-90	43745864
36mm - 1meters lengde	EI30	FBH-36-1000-30	43745902
36mm – 0,5meters lengde	EI30	FBH-36-500-30	
36mm - 1meters lengde	EI30-30	FBH-36-1000-30-30	
36mm - 1meters lengde	EI60	FBH-36-1000-60	43745921
36mm – 0,5meters lengde	EI60	FBH-28-500-60	
36mm - 1meters lengde	EI90	FBH-36-1000-90	43745940

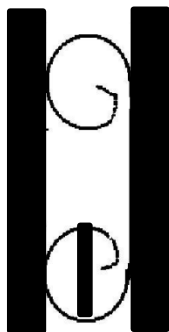
Montering

Produktet må behandles med forsiktighet. Unngå å utsette ventilene for slag eller ytre påvirkning som kan gi knekker, bulker eller skader i endene. Dette kan svekke produktets ytelse ift brannstopp eller evne til lufting. Pakk ikke produktet ut av emballasjen før montering starter. Produktet lagres i emballasje under tak og må ikke utsettes for temperatur utenfor området -50°C til $+100^{\circ}\text{C}$.

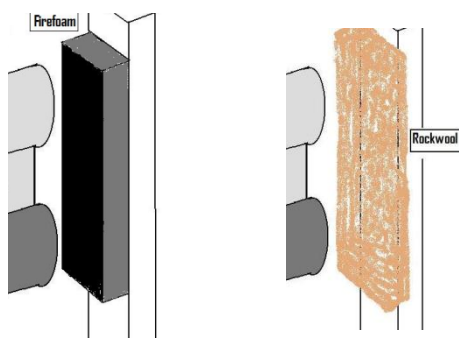
FB Hulrom ventil festes med 3 skruer $4,5 \times 35$ mm per lengde á 1050 mm i nettingens flate del mot festeunderlaget. Hylsen med sorte intumescentbåndet skal være nederst, båndet vil da ligge sentrert og vertikalt. Gap mellom FB Hulrom ventil og anleggsflatene må være mindre enn 2 mm. Tilkapping av lengder bør skje ved fastmotert vinkelkutter for å unngå at varm bearbeiding aktiverer intumescentbåndet. Husk kuttskive for rustfritt stål.



Det er veldig viktig at ventilen har et fast og stødig anlegg på hver side, slik at intumecentmassen har noe å ekspandere mot ved brannpåvirkning. Se bilde under.



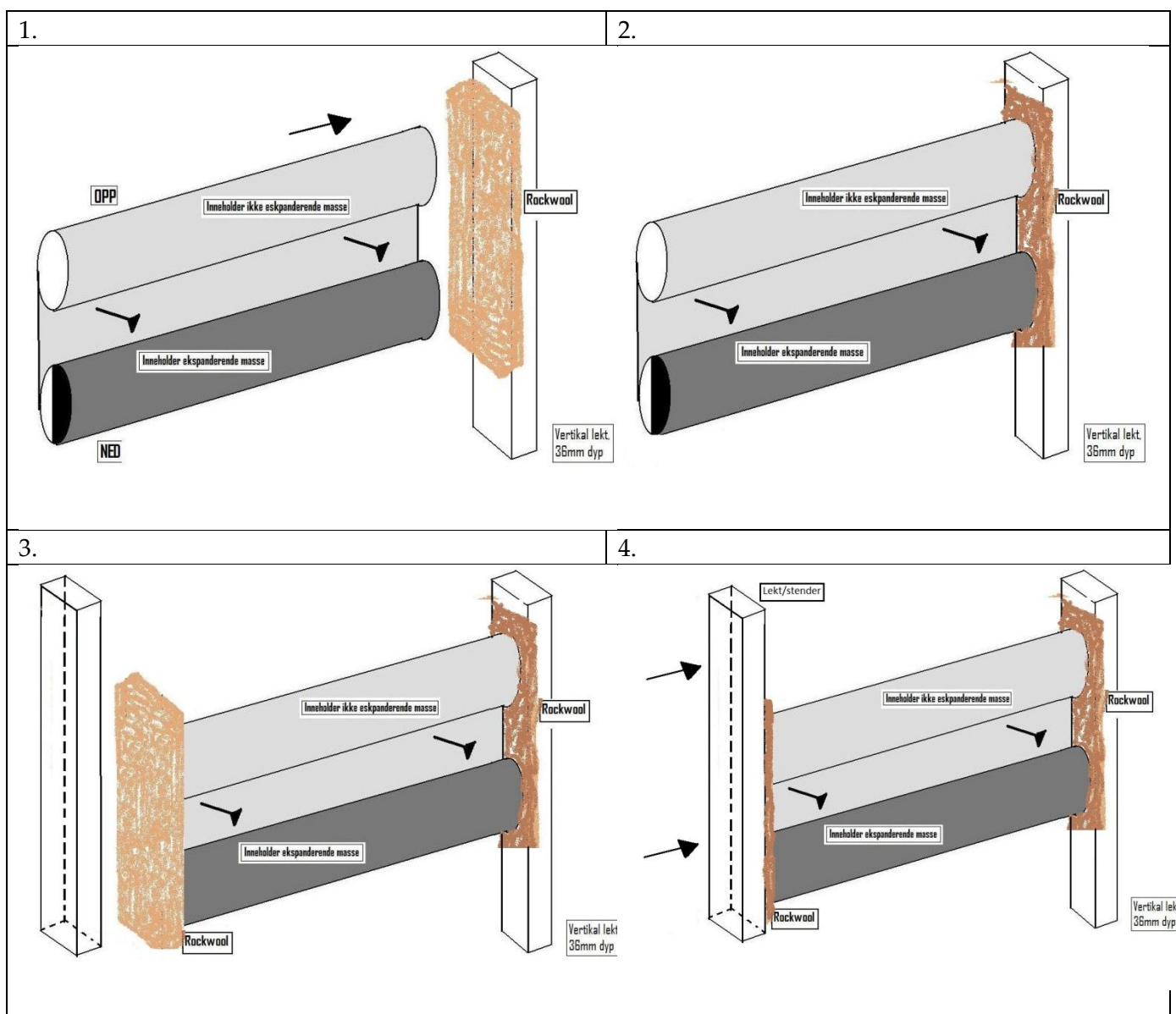
Montering – Avslutning mot stender



Mot stender avsluttes det med mineralull eller FireFoam®. Mellom underliggere i vertikale panel tettes med mineralull eller FireFoam®. Anleggsflater kan være massivt tre, trepanel, gips, betong eller asfaltplate. Ventilens brannmotstand velges vanlig minst som kledning.

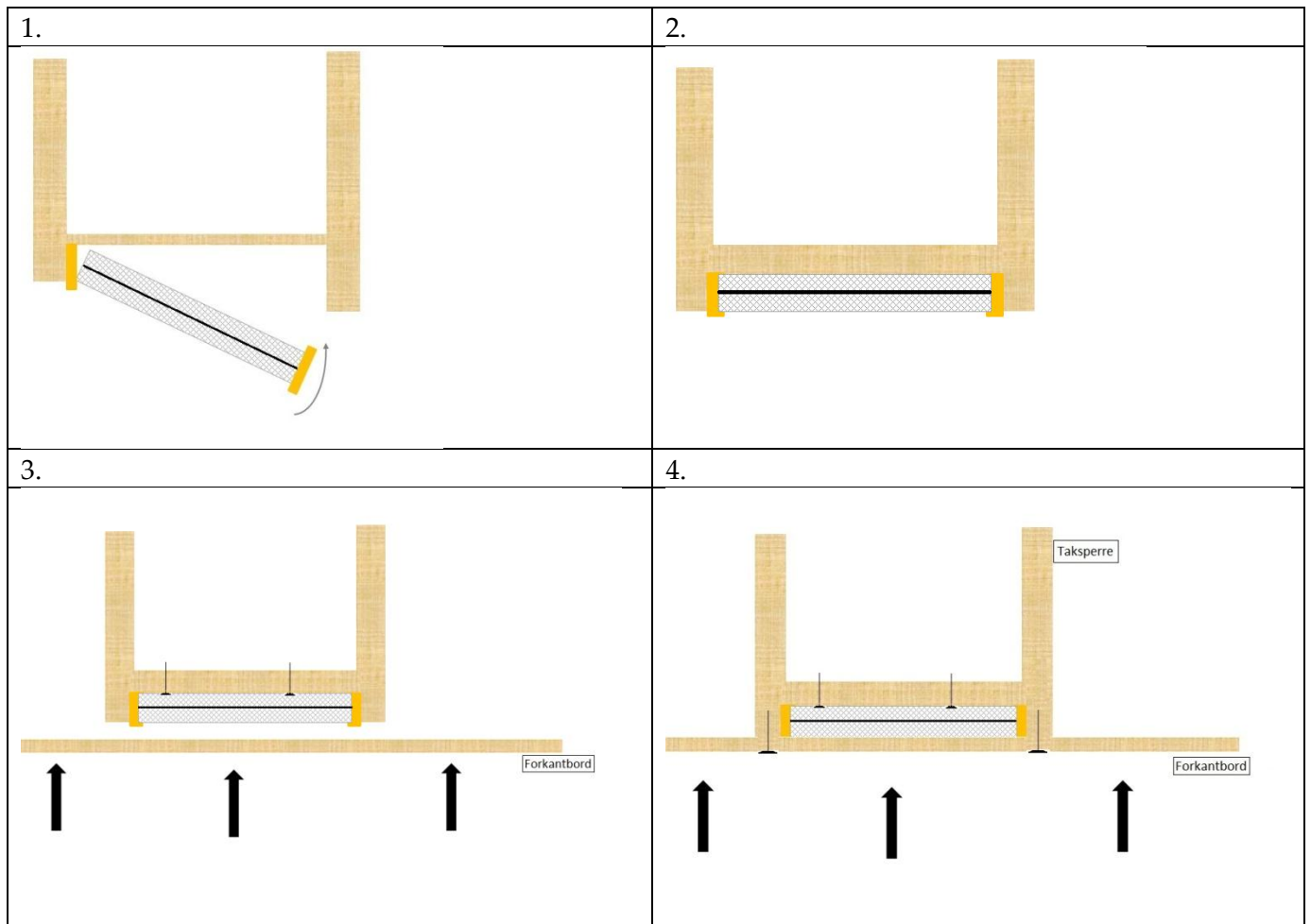
Montering – hulromsventil (50 cm), mellom stendere

Skal hulromsventilen monteres mellom stendere/lekter er det viktig å påse at den ikke blir deformert under montering. Blir en 36mm hulromsventil presset inn mellom to stendere eller forsøkt presset inn i en spalte på for eksempel 36 mm er det fare for deformering av produktet. Monter derfor hulromsventilen mot en stender (bilde 1) med typisk Rockwool jordplate mellom ventil og stender. Legg videre inn et nytt stykke Rockwool jordplate (bilde 3) før ny stender monteres og påfører jordplaten et lite press. (bilde 4)



Montering mellom eksisterende stendere eller taksperrer.

Sett ovenfra



Billedserien viser montering ved bruk av stående tømmermannskledning.

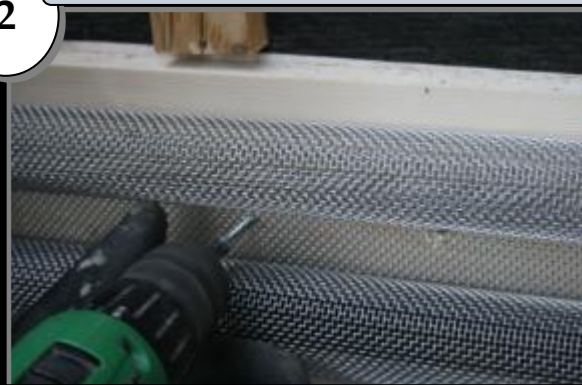
1

Vegg klargjort med anleggsbord mot svill/etasjeskille.



2

FB Hulromsventil festes med skruer (2 – 3 stk. per m.)



3

Legges kant i kant. Hjørner tettes med Rockwool.



4

Min 50 mm avstand til spikerslag over eller under.



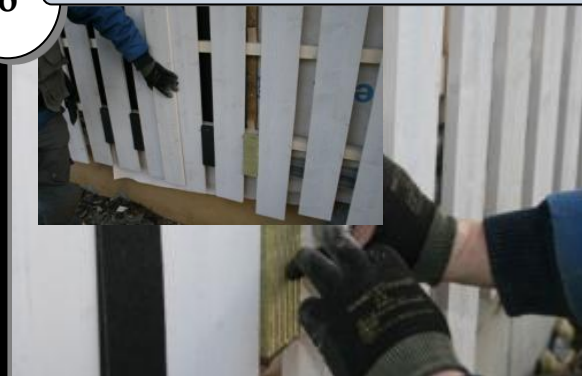
5

Lengder tilpasses og kuttes med kappsag/vinkelsliper med skive for rustfritt stål.



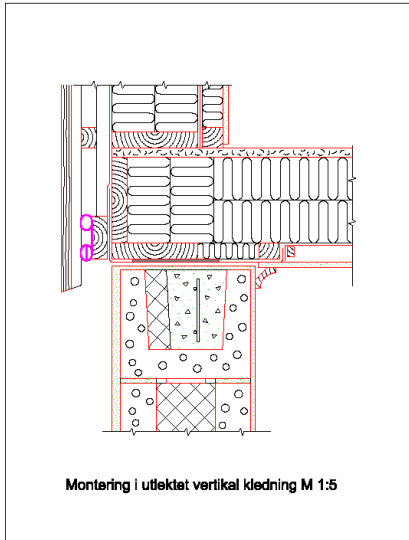
6

Spalter tettes med Rockwool (plate) el Firefoam.

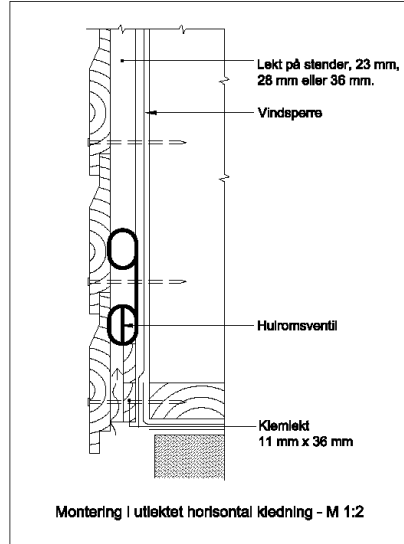


Forslag til monteringsmåter

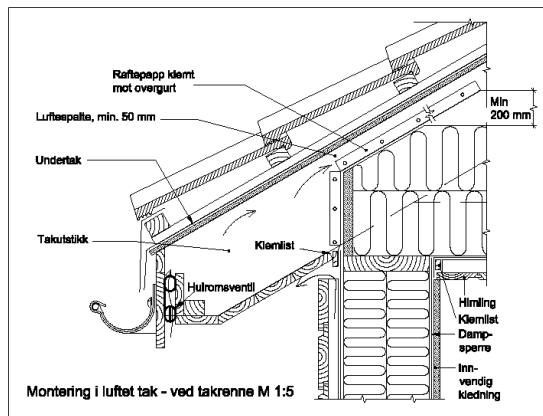
Ut lektet vertikal kledning



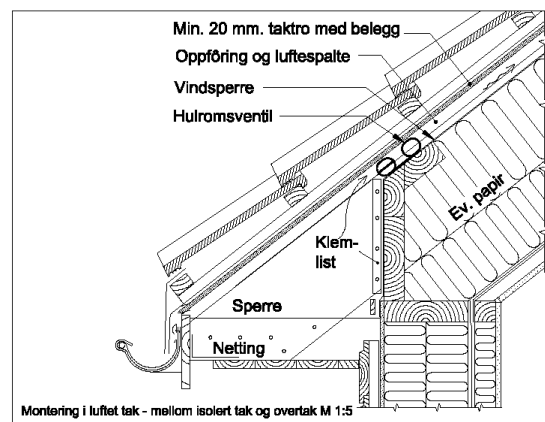
Ut lektet horisontal kledning



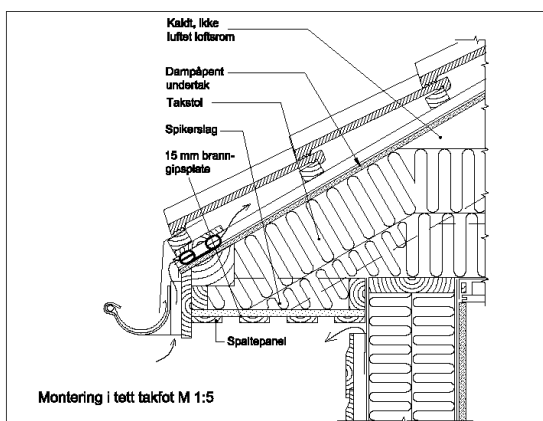
Tak ved takrenne



Mellom isolert tak og luftet tak



Tett takfot



Betingelser for bruk

- Ikke bulkes eller bøyes
- Rør med intumecent-masse monteres NED
- Legges helt tett inntil i skjøtene
- Påse at intumecent masse liggende inni rørene ligger parallelt med monteringsoverflaten
- At ventilen blir liggende i lett klem, slik at flammene ikke kan gå rundt ventilen

Vedlikehold

FB Overstrømsventil inneholder ingen bevegelige deler og trenger ikke spesielt vedlikehold for å sikre funksjon i tilfelle brann.

Miljø

Avfall bør gjenvinnes. Vrakede FB Hulromsventiler er av rustfritt stål kan selges som brom, materialet går da til gjenvinning. Denne resirkuleringen av stål, er med på å gjøre dette produktet til et meget miljøvennlig alternativ.

Intumecentmasse kan deponeres som restavfall.

Referanser

Sintef Byggforsk detalj blad: 520.308 Yttervegger og tak i trehus med 30 minutters brannmotstand

SECURO AS

Neptun vegen 6

7652 Verdal

Telefon: 99 41 90 00

Telefaks: 74 60 29 85

E-post: post@securo.no

www.seкуро.no



WAREMA venetian blind window systems

Type FSR-S1 (external shaft venetian blind as cover panel model)

Installation instructions

For qualified technicians only

Table of contents

Table of contents

1	Introduction	3
1.1	Information on safety	3
1.2	Information on the target group and application of these instructions.....	3
1.3	Explanation of symbols and signs	3
1.4	Important safety information	4
2	Product information	6
2.1	Parts description.....	6
2.2	Technical data/accessories	6
2.3	Intended use.....	6
2.4	Wind speed limits	7
2.5	CE conformity.....	7
3	Installation	8
3.1	Tools	8
3.2	Unpacking the product.....	8
3.3	Scope of delivery	8
3.4	Preparing the drive	9
3.5	Removing the insertion profiles	9
3.6	Installing the external venetian blind with a shaft depth of at least 130 mm	10
3.7	Installing the external venetian blind with a shaft depth of 120 mm – 129 mm.....	11
3.8	Installing the venetian blind window system	13
3.9	Connecting the motor	15
3.10	Installing the insertion profiles	15
3.11	Performing a functional check	16
3.12	Installing the tension cable bracket	16
3.13	Installing coupled units	17
3.14	Finishing the installation	18

1 Introduction

1.1 Information on safety

It is important to **follow these instructions** in the interests of **personal safety**. Failure to comply with these instructions when operating the product may result in **personal injury and/or property damage**. Failure to comply with these instructions relieves WAREMA of liability.



Warnings are marked with these symbols in the instructions.



- Read the instructions carefully **before** starting with the installation.
- Read and observe all warnings.
- Please observe **all** safety, installation and setting instructions.
- Observe all warnings **on** the product.

1.2 Information on the target group and application of these instructions

Target group

These installation instructions are intended for qualified fitters. Knowledge of safety at work, accident prevention regulations, working with ladders and scaffolding, handling and transporting long and heavy items, using tools and machines, using fixing materials, assessment of the building fabric, putting the product into operation and operation of the product is required. If any of these qualifications are unavailable, the work must be carried out by a specialist fitting company.

The electrical installation must be performed by a certified electrician in accordance with the electrical installation regulations published by the Association of German Electrical Engineers (VDE 0100) or the standards and regulations of the country in which the device is being installed.

Contents

These instructions are part of the operating manual and are an integral part of this product. These instructions contain important information on transport, handling, installation and commissioning of this item. They describe the basic installation of venetian blind window systems, type S1, and motor operation as a single unit. Other versions or special solutions are not dealt with.

Permissible activities

Aside from the activities described for the product in these instructions, alterations, additions and maintenance work on the product are **not permitted** without the written approval of WAREMA.

1.3 Explanation of symbols and signs

Safety information and symbols are contained in the appropriate parts of the text.

Symbol	Use/explanation
	DANGER Identifies an imminent danger that may result in death or serious injury if not prevented.
	WARNING Identifies a potential danger that may result in death or serious injury if not prevented.
	CAUTION Identifies a potential danger that may result in minor injury or property damage if not prevented.
	Read the installation instructions.
	Note Important information on how to proceed and on the content of these instructions.
	Activity/step
	List

1.4 Important safety information

The safety instructions and warnings described here are intended to safeguard your health as well as protect the product. The following points must be **read through carefully**.

Damage resulting from inappropriate use or the failure to observe these instructions or safety information is **not** covered by the guarantee. Liability will **not** be accepted for secondary damage.

Installation preparations



Risk of injury and damage to the product from incorrect installation!

- Comply with the specified installation steps and instructions.
- Install the product only if it is in technically perfect condition.
- Before installation, check the mounting substructure to make sure it can bear the loads.
- Cordon off a sufficient area around the installation site.



Risk of injury from falling external venetian blinds!

- Select fixing material that is suitable for the substructure.
- Observe the listed weights when planning the fixing material.
- You must use the specified number of top rail brackets and support profile attachments.

The fitter is responsible for selecting the correct fixing materials and adhering to the installation specifications of the fixing material manufacturer.

Packaging



Risk of suffocation!

Do not leave the packaging material lying around, and keep children away from small parts. Plastic film, polystyrene, small parts, etc., can be very dangerous for children to play with.

Electrical connection



Electric shock from incorrect installation!

The electrical installation must be performed by a certified electrician in accordance with the electrical installation regulations published by the Association of German Electrical Engineers (VDE 0100) or the standards and regulations of the country in which the product is being installed. The specialist must observe the installation instructions included with the electrical appliances.

Before commissioning the product, remove all lines that are not required. Disconnect any devices that are not needed for operation.



Short circuit from overloading the power supply!

Only connect the external venetian blinds if the power supply matches the specifications on the type label.

Risks posed by the product



Risk of crushing and injury!

The projection area of the product must be kept clear of fixed and movable obstacles. When raising and lowering the product, do not reach into movable parts (e.g. between the bottom rail and/or slats).



Risk of injury from unsupervised operation of the product!

- ▶ Attach operating elements in view of the product but outside of the projection area.
- ▶ Fit the operating element in accordance with national guidelines for disabled persons (ideally at a height of less than 1.30 m).



Risk of fatal injury from wrong installation location!

Installation in front of emergency exits and escape doors is **not** permitted.

Risk of damage to the product



Product damage from power failure!

Electrically operated external venetian blinds cannot be retracted without power. Manual emergency operation or an emergency power supply should be considered for windy regions with frequent power failures.



Product damage!

When retracting and extending the product, the mechanical limit should not be exceeded.

Transport



Risk of injury and product damage from inappropriate transport!

The gross axle weight rating and gross vehicle weight rating of the transport vehicle must not be exceeded. A loaded vehicle may handle differently.

Secure the transported goods appropriately and safely. Protect the packaging of the product against moisture. Soaked packaging may work loose and cause accidents.

2 Product information

2.1 Parts description

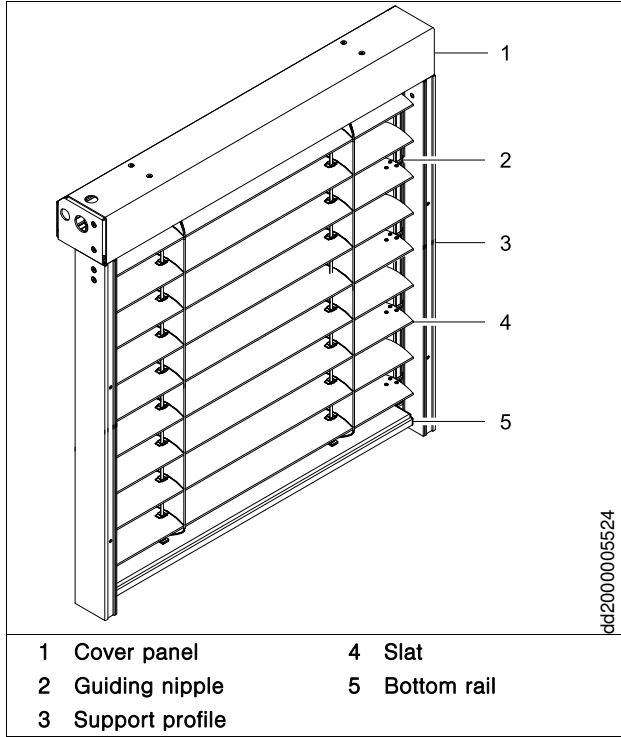


Fig. 1: Overview of the venetian blind window systems, type S1

2.2 Technical data/accessories

Details on electric drive (external venetian blind drive)

Parameter	Value
Rated torque	6 – 20 Nm
Power	95 – 218 W
Current consumption	0.42 – 0.97 A
Rated speed	26 rpm
Rated voltage	230 V AC
Frequency	50 Hz
Degree of protection	IP 54
Short-term operation (S2)	4 minutes
Limit switch range	67 – 97 revolutions

Tab. 1: Details on external venetian blind drive (overview)

NOTE

Tab. 1 is a summary of the data for the motors that can be used with this product. For specific information, refer to the setting instructions included for the motor.

Accessories

A wide range of control devices is available for our sun shading control systems to give you optimum control of the product.

Do **not** use the external venetian blinds in icy or frosty weather. The external venetian blinds must be cleared of ice and snow before they can be used. Liability cannot be accepted for damage to the sun shading system resulting from the operation under icy conditions. We **recommend** using an ice monitoring system.

2.3 Intended use

The venetian blind window systems, type S1, are sun shading systems that may only be employed for their intended use to provide privacy and protect against summer heat and glare. Inappropriate use may result in significant danger.

All venetian blinds for external use are designed for a wind load of 1.1 kN/m² (DIN 1055). The directive entitled "Wind loads for construction of closures and awnings when retracted – Section 5.1.1"¹ defines the positions at which these products can be installed without requiring special precautions.

Additional loads on the external venetian blind in the form of hanging objects could damage the product or cause it to detach from the wall (the lifting tapes may tear, for example) and are therefore not permitted.

The intended use also includes observing these instructions and the installation conditions.

¹ Published by the Bundesverband Rollläden + Sonnenschutz e.V. and ITRS Industrieverband technische Textilien Rollläden Sonnenschutz e. V.

2.4 Wind speed limits

For external venetian blinds, the use of wind speed limits (see Tab. 2) depends on the particular product type. If the wind speed limits are reached, the external venetian blind must be retracted. It is **recommended** that the wind sensors be set to the lowest value, e.g. to 13.5 m/s for Beaufort 7.

Basis of Table 2:

- Slat facade distance: ≤ 100 mm
- Slat thickness: ≥ 0.4 mm
- Order height: < 2,400 mm

Order width	Beaded slat with rail guidance	Flat slat with rail guidance
Width up to 1,500 mm	13.5 – 17.4 m/s (7 Bft.)	13.5 – 17.4 m/s (7 Bft.)
Width up to 2,000 mm	13.5 – 17.4 m/s (7 Bft.)	10.5 – 13.4 m/s (6 Bft.)
Width up to 2,500 mm	13.5 – 17.4 m/s (7 Bft.)	10.5 – 13.4 m/s (6 Bft.)
Width up to 3,000 mm	13.5 – 17.4 m/s (7 Bft.)	10.5 – 13.4 m/s (6 Bft.)
Width up to 3,500 mm	10.5 – 13.4 m/s (6 Bft.)	7.5 – 10.4 m/s (5 Bft.)
Width up to 4000 mm	10.5 – 13.4 m/s (6 Bft.)	7.5 – 10.4 m/s (5 Bft.)

Tab. 2: Recommended wind speed limits (details in m/s and Beaufort level)

The table values (Beaufort level) should be modified in the following cases:

1. Facade distance
 - > 100 to 300 mm: Reduce value by 1
 - > 300 to 500 mm: Reduce value by 2
 - > 500 mm: Table not applicable
2. Material thickness
 - < 0.4 mm: Reduce value by 1

The external venetian blinds will only meet the requirements of the stated wind speed limits when mounted if:

- the recommended number of brackets, holder and guides are mounted
- the instructions from the dowel manufacturers are followed

When mounting on wood, a wind speed limit cannot be given due to the variability of this building material.

2.5 CE conformity

CE conformity is certified, and the corresponding EC declaration of conformity is part of these product-specific operating and maintenance instructions. To maintain this state and to ensure that the product can be safely installed and commissioned, you must adhere to the installation instructions.



Name: WAREMA Renkhoff SE
Year of declaration of conformity: 2011
Head office: Hans-Wilhelm-Renkhoff-Straße 2
 97828 Marktheidenfeld
 Germany
Standard: DIN EN 13659
Product: External venetian blind
Intended use: For outdoor installation
Wind class: 0²
Noise emission level³: < 70 dB (A)

² Specification of wind class 0, since standard test stands cannot be used in the applicable test standard due to mechanical inadequacies of the test description. Depending on the design and the installation location, the product can be used up to the wind speed limits specified above (Tab. 2).

³ In a standard installation of the product on a test stand, the noise emission level is < 70 dB (A). This value may vary depending on the installation.

3 Installation



At least two people are required for the installation.



DANGER

Risk of injury and falling!

- Climbing aids must be positioned securely, provide enough support and have a sufficiently high load-bearing capacity.
- When working at great heights, the appropriate provisions must be made to protect against falling.



NOTE

Follow the guidelines for installation on windows and roller shutter on plaster, drywall and external thermal insulation composite systems.



NOTE

Application drawings must be followed.

3.1 Tools

Tool/aid		Use
Spirit level, plumb line		Aligning the support profiles
Tape measure/metre stick		Measuring
Marking nail		Penciling in the fixing points
Power drill incl. drill bits	Dia. 4; 3.5; 6	Fixing holes in the substructure (depending on mounting substructure)
Drill bits (depending on the substructure)	Dia. 10, 16	Drilling the drive through-hole
Cross-head screwdriver	PH2	Attaching the support profiles
Torx		Attaching the support profiles (aluminium/PVC substructure)
Hex key (minimum length approx. 200 mm)	4	Attaching the support profiles
Test cable		Setting the motor

Tab. 3: Tools and their use

3.2 Unpacking the product



NOTE

Find another use for the discarded packaging material or take it to your local recycling centre.

- Carefully unpack the individual parts.
- Dispose of the packaging material correctly.

3.3 Scope of delivery

- Scope of delivery as per delivery note.



NOTE

- Check the parts to make sure they are not damaged.
- If any items are damaged or not as specified in the order, stop installation and contact WAREMA.

- ▶ External venetian blind
- ▶ Support profiles
- ▶ Tension cable bracket (optional)
- ▶ Instructions/handover report
- ▶ Fixing material

3.4 Preparing the drive

- Measure the drive outlet.
- Transfer the position to the mounting substructure.

Overview of the line exits

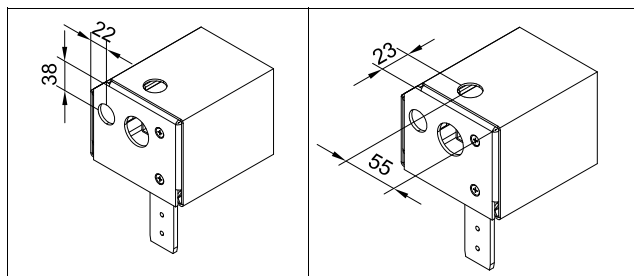


Fig. 2: Overview of the line exits (all dimensions in mm)

Measuring out and drilling the through-hole for the power line



WARNING

Short circuit due to damage to the power line from an unclear through-hole!

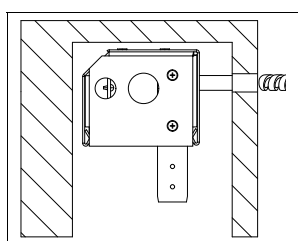
- Avoid or remove sharp edges around the through-hole.
- Execute the on-site through-hole according to the applicable standards and regulations (e.g. use of plug-in grommet).



CAUTION

Product damage!

- When drilling take any electrical cables, water pipes, and so on into consideration.
- The through-hole **must** be drilled next to the window sash.



- Measure and pencil in the through-hole.
- Drill the through-hole with a 10-mm dia. drill bit.



NOTE

The VDE (German Association for Electrical, Electronic & Information Technologies) regulations for sealing line through-holes must be adhered to.

3.5 Removing the insertion profiles



NOTE

The insertion profiles are inserted in the support profiles at the factory and must be removed prior to installation.

	<ul style="list-style-type: none"> ■ Press together the outer edges of the insertion profiles (1) using flat screw drivers.
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pry the insertion profiles (1) out of the support profile (2) and remove. ■ Set down the insertion profiles (1) away from the working area for later use.

3.6 Installing the external venetian blind with a shaft depth of at least 130 mm

NOTE

Adhere to the following steps when installing in a shaft depth of at least 130 mm.

Connecting the support profile with the adapter

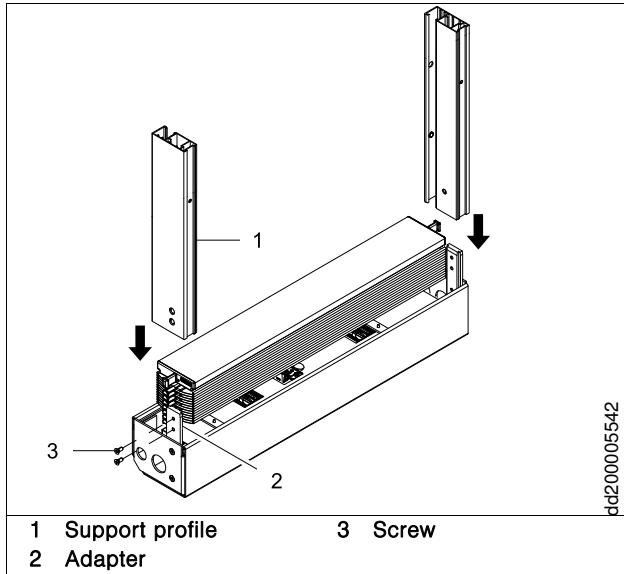


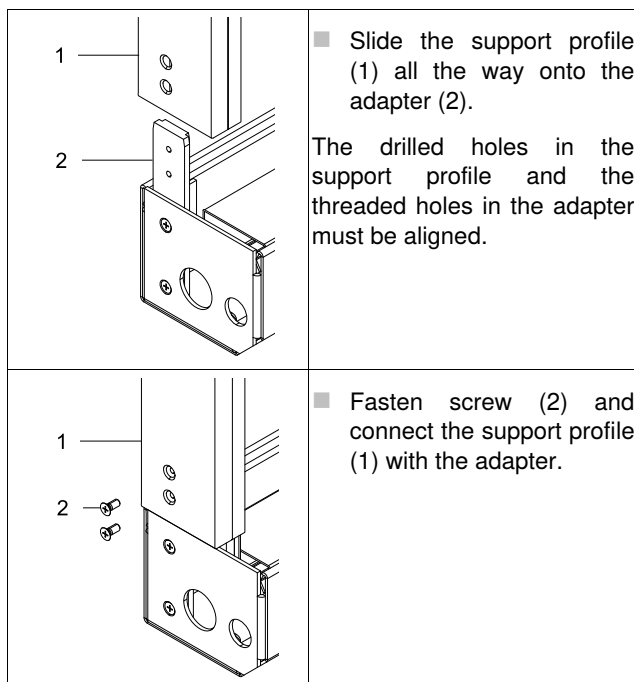
Fig. 3: Connecting the support profile with the adapter



Caution

Functional problems!

- Do not wedge the support profiles when mounting them on the adapter.



Erecting the venetian blind window system



WARNING

Personal injury and product damage from incorrectly raising the external venetian blind!

- To erect the external venetian blind, lift it at the cover panel and the support profiles.
- Do not push together the support profiles when erecting the product.

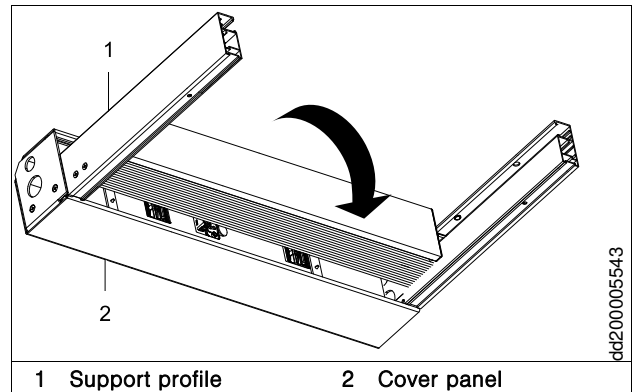


Fig. 4: Erecting the venetian blind window system

- Erect the venetian blind window system.

Pivoting in the venetian blind window system

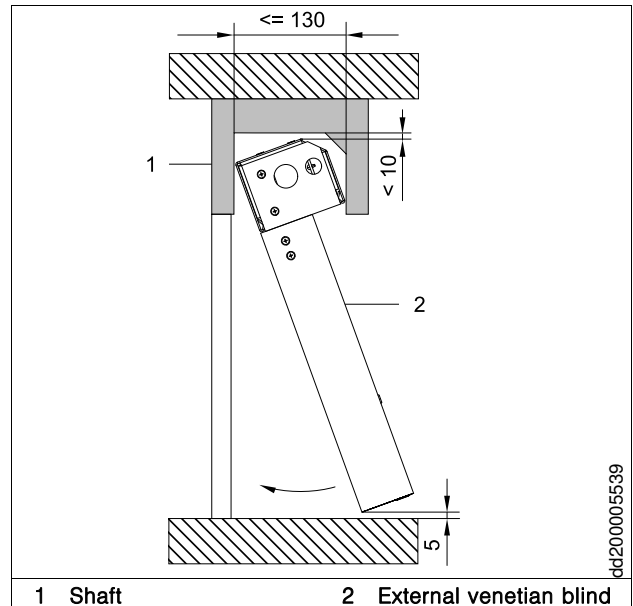


Fig. 5: Pivoting in the venetian blind window system (all dimensions in mm)

- Pivot the venetian blind window system (2) into the shaft (1).

Aligning the support profiles

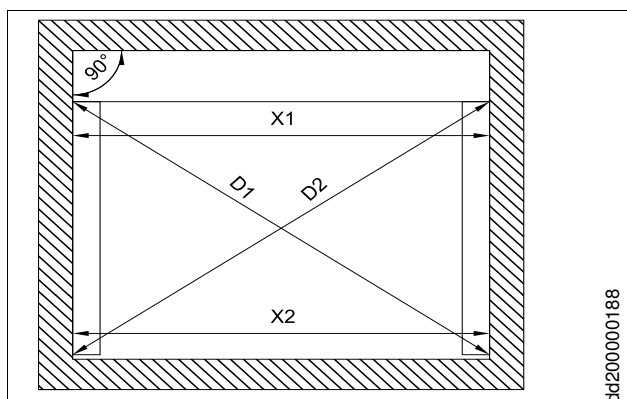


Fig. 6: Aligning the support profiles

- Align the support profiles in parallel ($X1 = X2 \pm 1$ mm) and diagonal ($D1 = D2$) directions against the mounting substructure.
- Check the alignment with a spirit level.

NOTE

The lower end of the support profile depends on the window sill connection or the mounting substructure.

For the connection, follow the guidelines for attaching to windows and roller shutters on plaster, drywall and external thermal insulation composite systems.

3.7 Installing the external venetian blind with a shaft depth of 120 mm – 129 mm

NOTE

Adhere to the following steps when installing in a shaft depth of 120 mm – 129 mm.

Space requirements

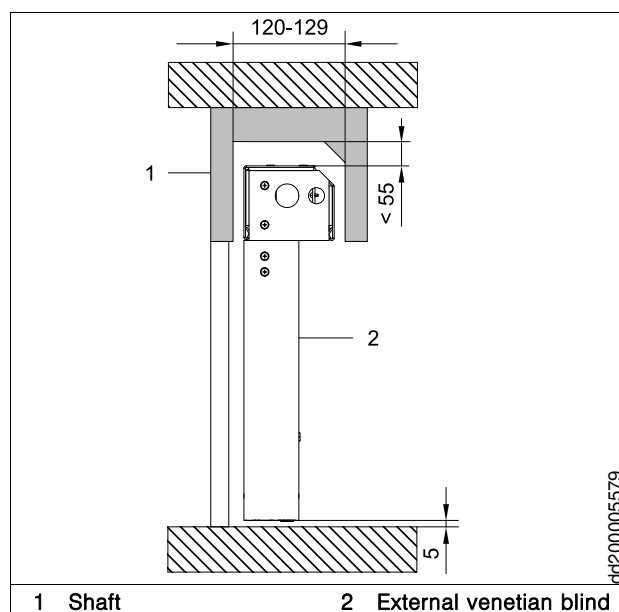
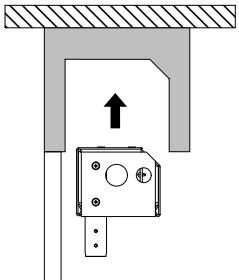
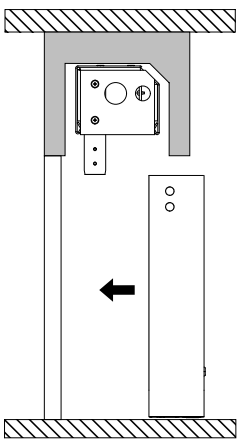
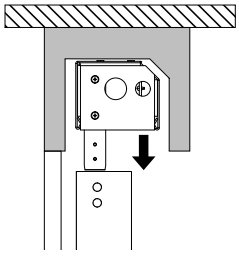
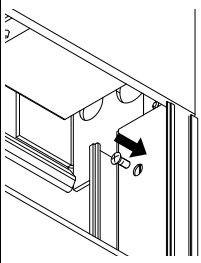


Fig. 7: Space requirements (all dimensions in mm)

Erecting the venetian blind window system

	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lift the cover panel into the shaft.
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Insert the support profiles.
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Set the cover panel down on the support profiles.
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Screw the support profile onto the adapter from the inside. <p>The screw must be screwed in flush or else the external venetian blind may become caught on the screw head.</p>

Aligning the support profiles

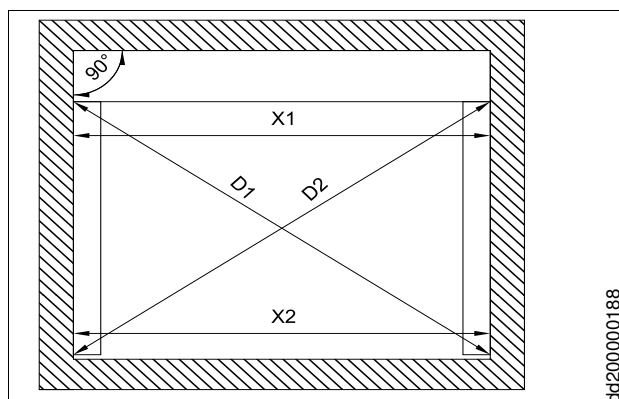


Fig. 8: Aligning the support profiles

- Align the support profiles in parallel ($X1 = X2 \pm 1$ mm) and diagonal ($D1 = D2$) directions against the mounting substructure.
- Check the alignment with a spirit level.

NOTE

The lower end of the support profile depends on the window sill connection or the mounting substructure.

For the connection, follow the guidelines for attaching to windows and roller shutters on plaster, drywall and external thermal insulation composite systems.

3.8 Installing the venetian blind window system



DANGER

Risk of injury from falling blind!

- Select fixing material that is suitable for the substructure.
- Observe the listed weights when planning the fixing material.
- You must use the specified number of support profile attachments.

The fitter is responsible for selecting the correct fixing materials and adhering to the installation specifications of the fixing material manufacturer.

Fixing material for support profile 27.5 x 70

Substructure	Drilled hole
Alu/PVC with steel core	Screw DIN 7504 galv. N 4.8x60 Torx
Wood	7995-C-4.5x50
Concrete B15	7995-C-4.5x70 Dowel SX 6x50

Tab. 4: Fixing material for support profile 27.5 x 70

Fixing material for support profile 27.5 x 80

Substructure	Drilled hole
Alu/PVC with steel core	Screw DIN 7504 galv. N 4.8x60 Torx
Wood	7995-C-4.5x60
Concrete B15	7995-C-4.5x80 Dowel SX 6x50

Tab. 5: Fixing material for support profile 27.5 x 80

Fixing material for support profile 27.5 x 95

Substructure	Drilled hole
Alu/PVC with steel core	Screw DIN7504 galv. N 4.8x80 Torx
Wood	7995-C-4.5x80
Concrete B15	7995-C-4.5x100 Dowel SX 6x50

Tab. 6: Mounting profile for support profile 27.5 x 95

Support profile length	Number of fixing points
To 1,450 mm	2 pieces
To 2,500 mm	3 pieces
To 3,550 mm	4 pieces
To 4,600 mm	5 pieces

Tab. 7: Number of fixing points depending on the support profile length

Attaching the support profiles

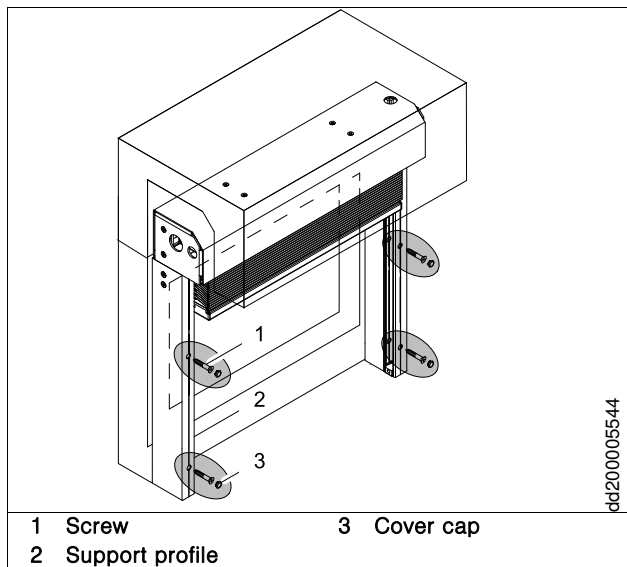


Fig. 9: Attaching the support profiles

- Transfer all fixing holes of the support profiles (2) to the window frames.
- Remove the external venetian blind and set it down on a soft surface outside of the working area.
- Drill the fixing holes.

NOTE

The drill hole diameter depends on the window type (see Tab. 4, Tab. 5 and Tab. 6).

- Hold the external venetian blind against the window frame.
- Mount the support profiles (2) on the window frame with the screws (1) and cover caps (3).

NOTE

Do not tighten the fixing screws too firmly yet.

NOTE

For aluminium windows or PVC with a steel core, a drilling screw is used for installation and can be attached directly (without marking it first).

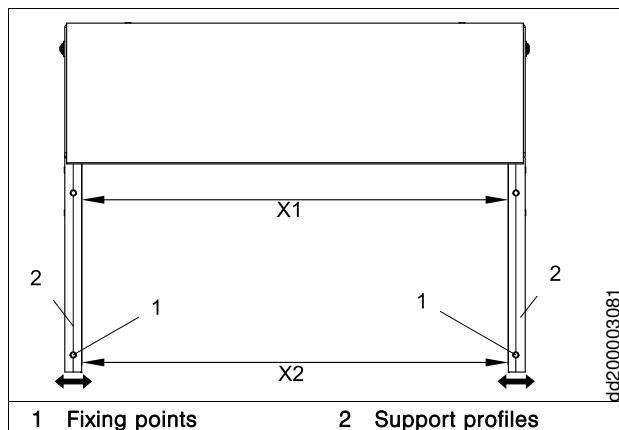


Fig. 10: Aligning the venetian blind window system

- Check the distances between the support profiles (2). The following must apply for the external venetian blind to function correctly: $X1 = X2$.
- Align the support profiles (2) if necessary.
- Tighten all screws of the fixing points (1) after making the check.

NOTE

Do not tighten the support profile screw connection to a torque greater than 3.5 – 4 Nm.

Higher values can visibly deform the support profiles.

3.9 Connecting the motor

NOTE

The motors are preset at the factory. The motor can be readjusted if necessary. Note the setting instructions and wiring diagram included for the motor.

- Have the operating element (e.g. push button) mounted according to the following guidelines.
 - ▶ The switch must not be located in the projection range of the external venetian blind. The movement of the external venetian blind must be visible when the operating element is activated.
 - ▶ Attach the switch at a height that is preferably lower than 1.30 m. The national regulations in regard to disabled persons must be observed.



WARNING

Short circuit!

Only connect the external venetian blind if the information given on the type label corresponds with the power supply.

- Connect the motor. Remove all lines not required before initial operation of the external venetian blind. Disconnect any devices that are not needed for operation.

3.10 Installing the insertion profiles

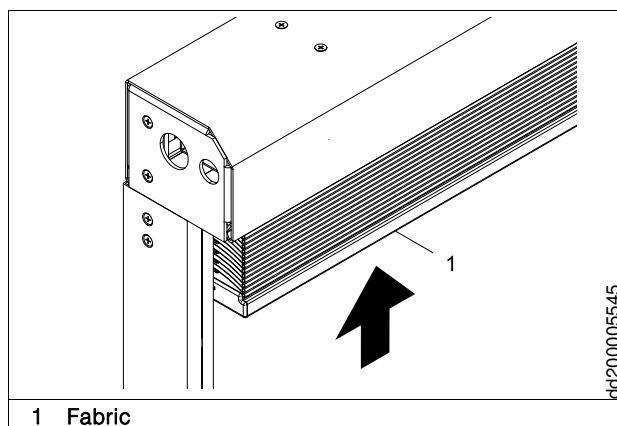


Fig. 11: Raising the blind

- Move the blind (1) to the upper limit position.

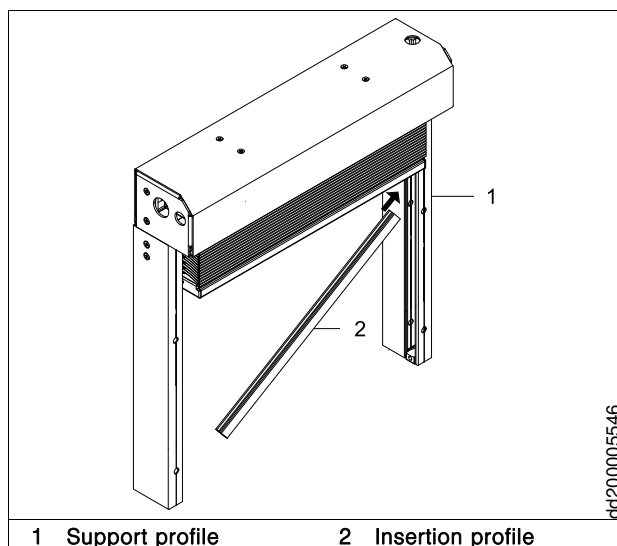


Fig. 12: Inserting the insertion profile

- Press in the insertion profile (2) below the bottom rail over a length of approx. 100 mm.
- Push the insertion profile (2) up.

NOTE

Ensure that **all guide nipples** are engaged in the insertion profile.

- Fully snap the insertion profile into the support profile.

3.11 Performing a functional check



CAUTION

Risk of crushing injuries and property damage!

- Ensure that no persons or obstacles are located in the projection area of the external venetian blind.
- Raise and lower that external venetian blind multiple times. Check the top and bottom positions of the external venetian blind. Adjust the limit positions according to the setting instructions if necessary.

3.12 Installing the tension cable bracket



NOTE

Beginning with an order width of 2,400 mm, the tension cable becomes mandatory as otherwise the wind can cause damage to the parts behind the external venetian blind.

If an additional tension cable is used and the order width is > 3,000 mm, an additional on-site fixation for the cover panel becomes necessary.

The additional fixation of the cover panel should be positioned in the vicinity of the additional cable guidance or at the centre of the cover panel.

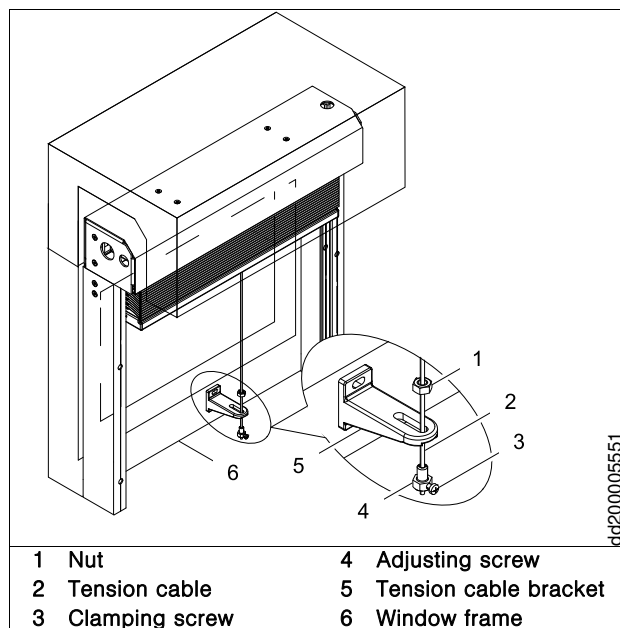


Fig. 20: Installing the tension cable bracket

- Lower the external venetian blind fully.
- Transfer the position of the tension cable bracket (5) onto the window frame (6) according to the position of the tension cable (2).
- Hold up the tension cable bracket (5). The lower edge of the tension cable bracket must be approx. 40 mm below the lower edge of the bottom rail when the blind is fully extended.
- Align the tension cable bracket (5) vertically and horizontally.

- Pencil in and drill the fixing holes with a diameter suitable for the fixing materials and substructure.
- Screw the tension cable bracket (5) onto the window frame (6) using suitable fixing materials.
- Mount the adjusting screw (4) on the tension cable bracket by tightening the nut (1).



CAUTION

Functional problems due to carelessness!

- Check whether the tension cable (2) is conducted through all cutouts on all slats and on the bottom rail.
- Guide the tension cable (2) through the adjusting screw (4).
- Manually tighten the tension cable (2) and make a marking below the adjusting screw (4).
- Tighten the tension cable (1) to the mark and tension it approx. by an additional 6 mm. At the same time, tighten the clamping screw (3) using a cross-head screwdriver.



Attention

Risk of injury from sharp edges!

- Deburr the cut-off tension cable end to prevent injury.
- Cut off the tension cable (2) about 20 mm below the tension cable bracket (5) and deburr it.

NOTE

The bottom rail must not rest on the tension cable bracket when it is lowered.

3.13 Installing coupled units

NOTE

Follow the separate installation notes.

3.14 Finishing the installation

- Tidy the site. Dispose of the packaging materials in accordance with local regulations.
- Hand the documentation to the operator.



WARNING

Product damage due to incorrect operation in frosty conditions.

- Do not operate the external venetian blind if it is frozen. The external venetian blind can freeze when temperatures drop below the specified temperature (3 °C).
- Avoid applying force to the external venetian blinds if it is frozen. The external venetian blind can become damaged.

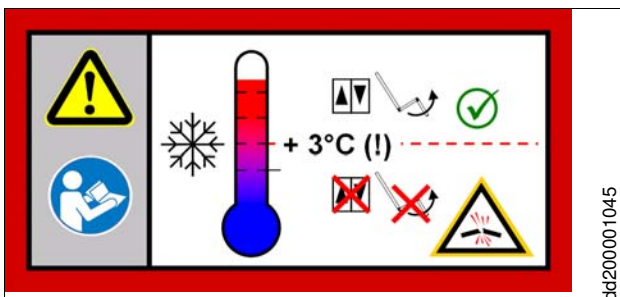


Fig. 13: Attaching the label

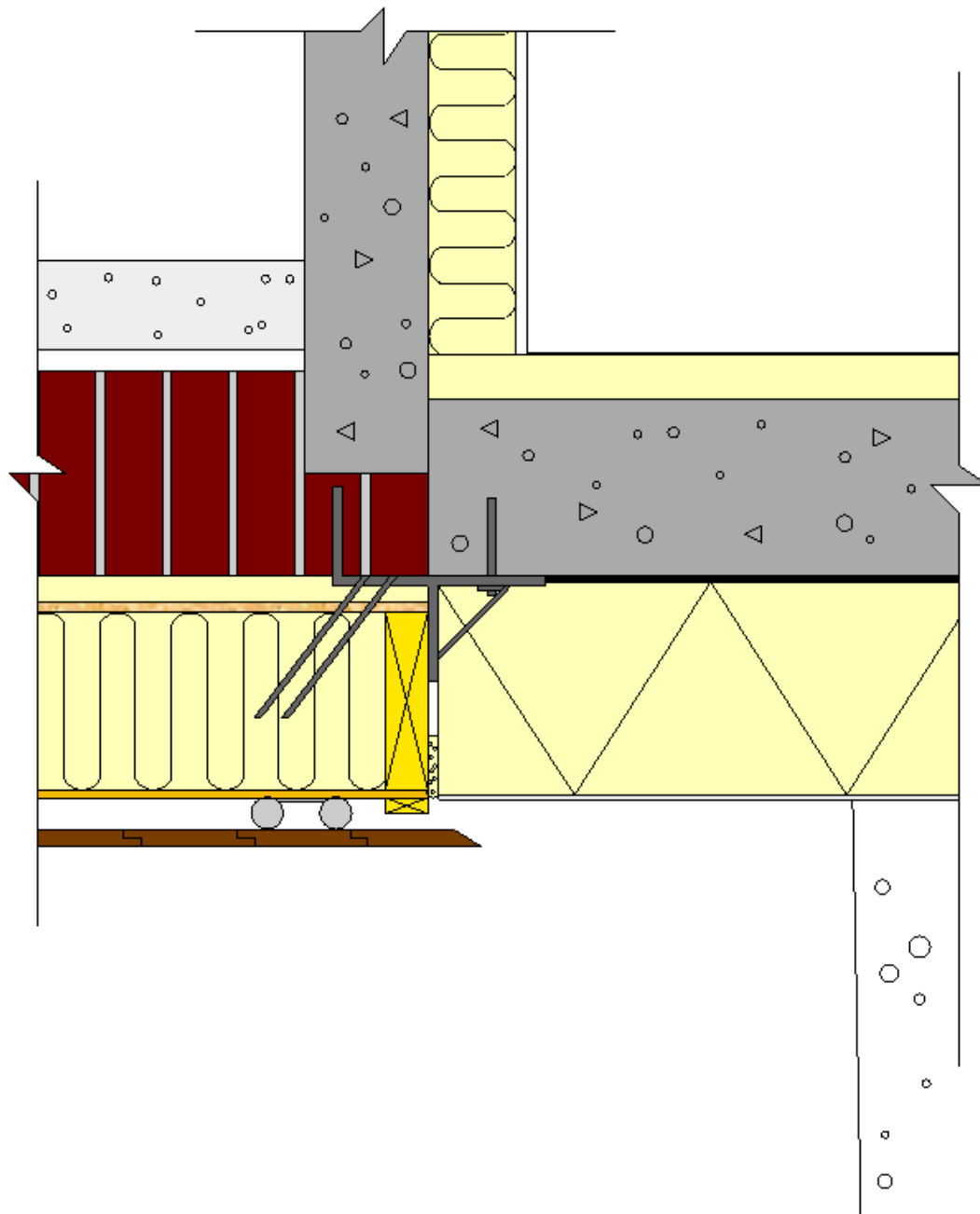
- Inform the operator that the label needs to be attached in the area of the operating element.
- Instruct the operator in how to use this product.



WAREMA Renkhoff SE Hans-Wilhelm-Renkhoff-Straße 2 97828 Marktheidenfeld, Germany
www.warema.de • info@warema.de

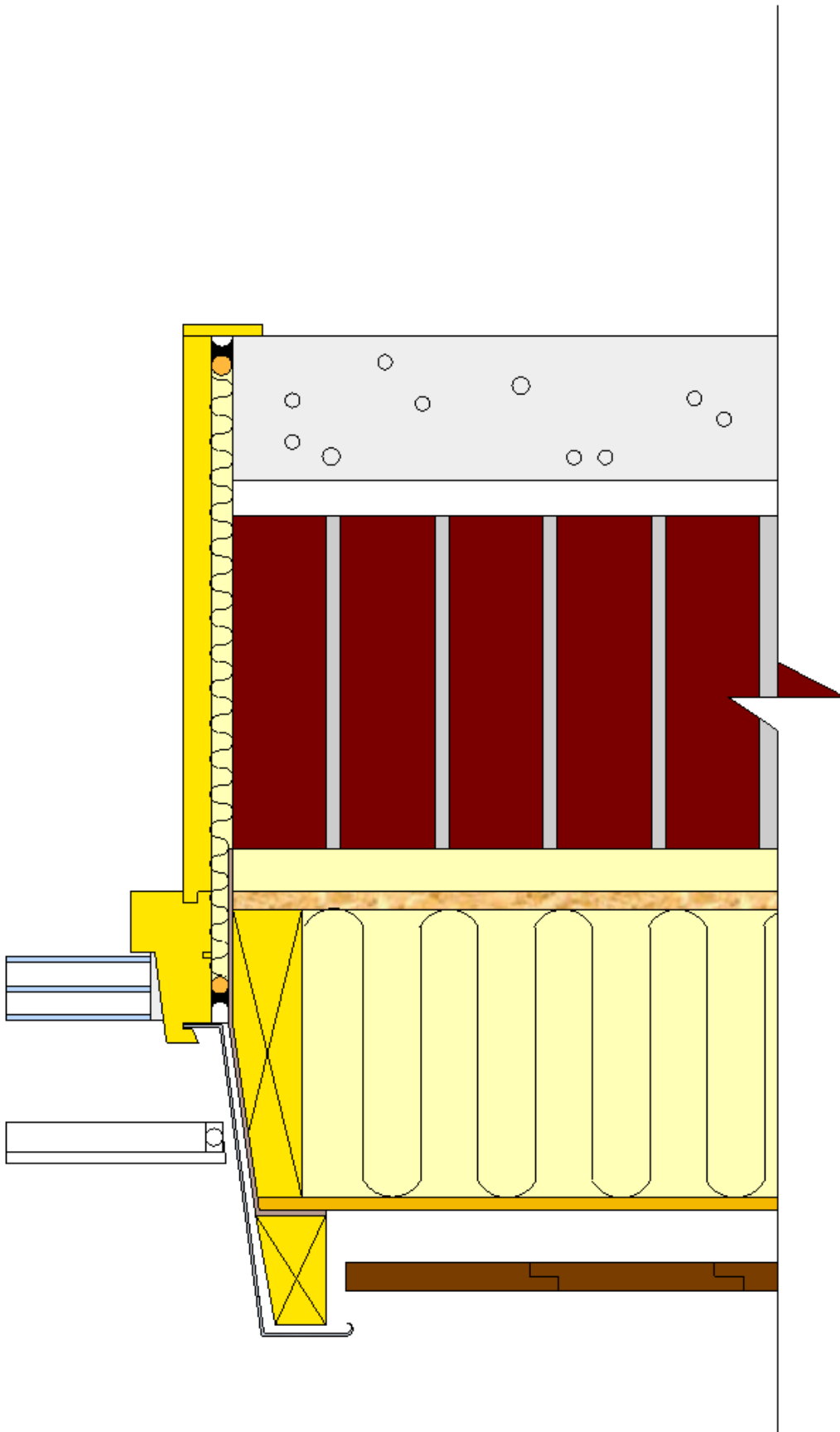
Detaljtegninger

Detalj 7.2 – Innfesting av element i bunn (liggende)



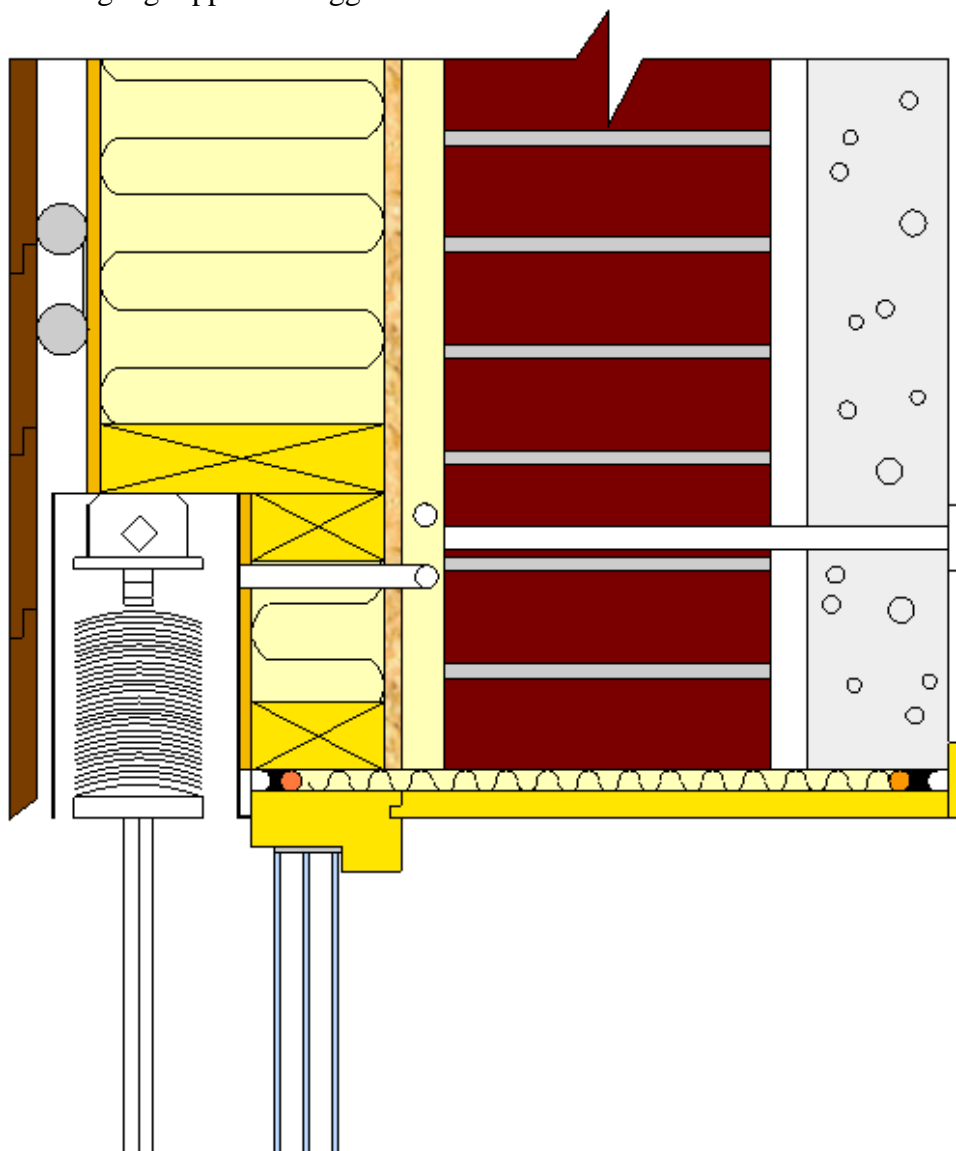
Vedlegg 5 - Detaljtegninger

Detalj 7.3 – Overgang bunnkarm/vegg (liggende)



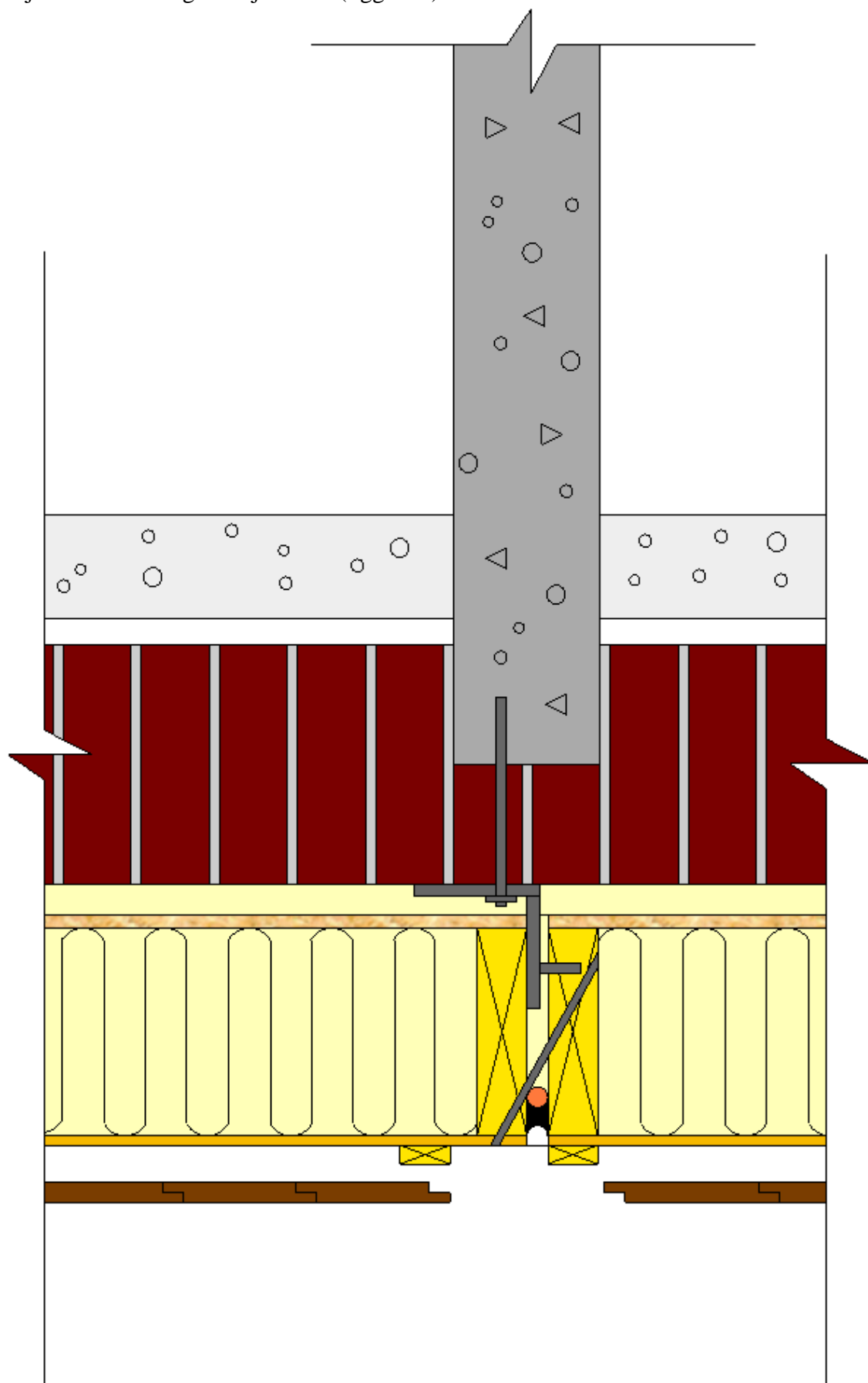
Vedlegg 5 - Detaljtegninger

Detalj 7.4 – Overgang toppkarm/vegg



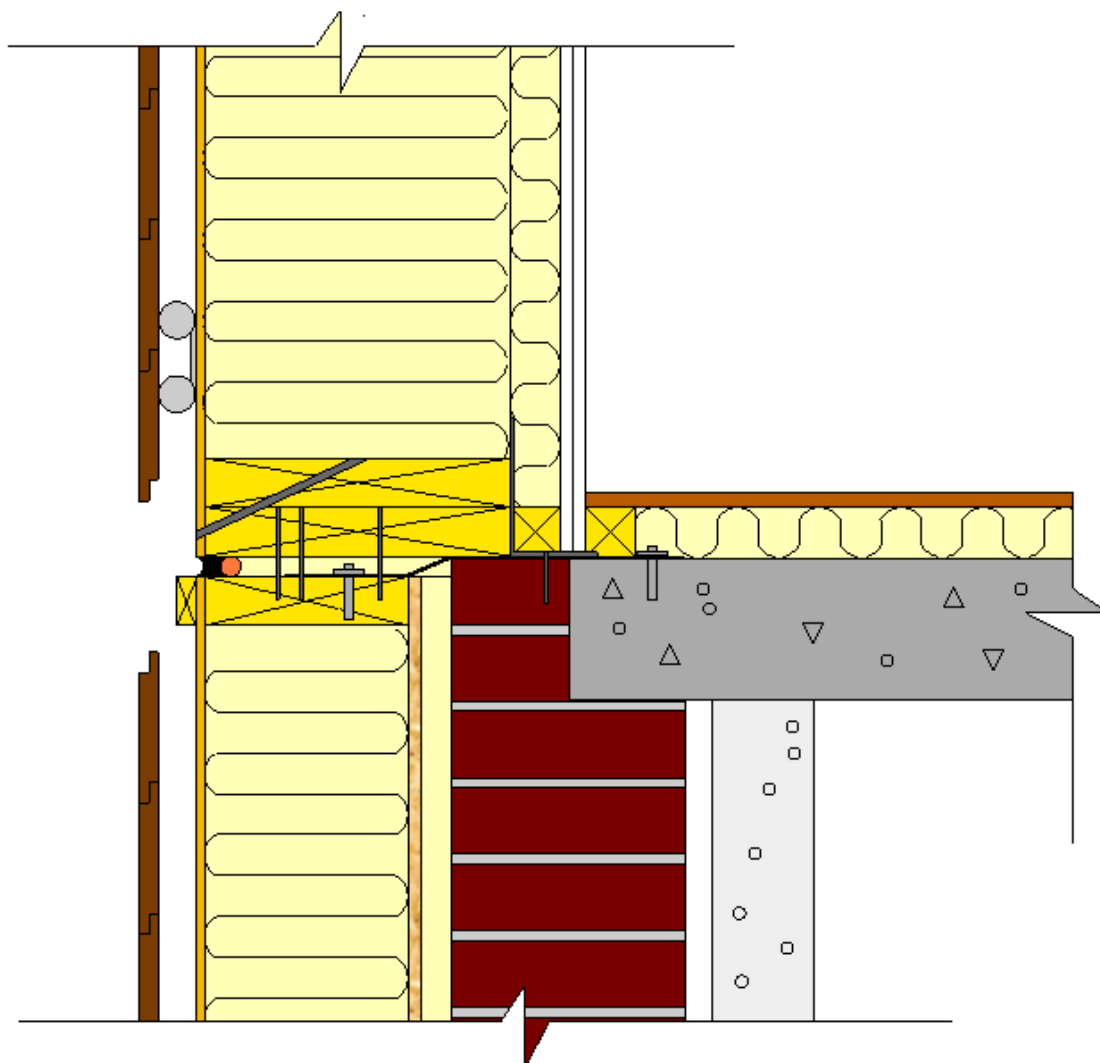
Vedlegg 5 - Detaljtegninger

Detalj 7.5 – Innfesting i etasjeskiller (liggende)



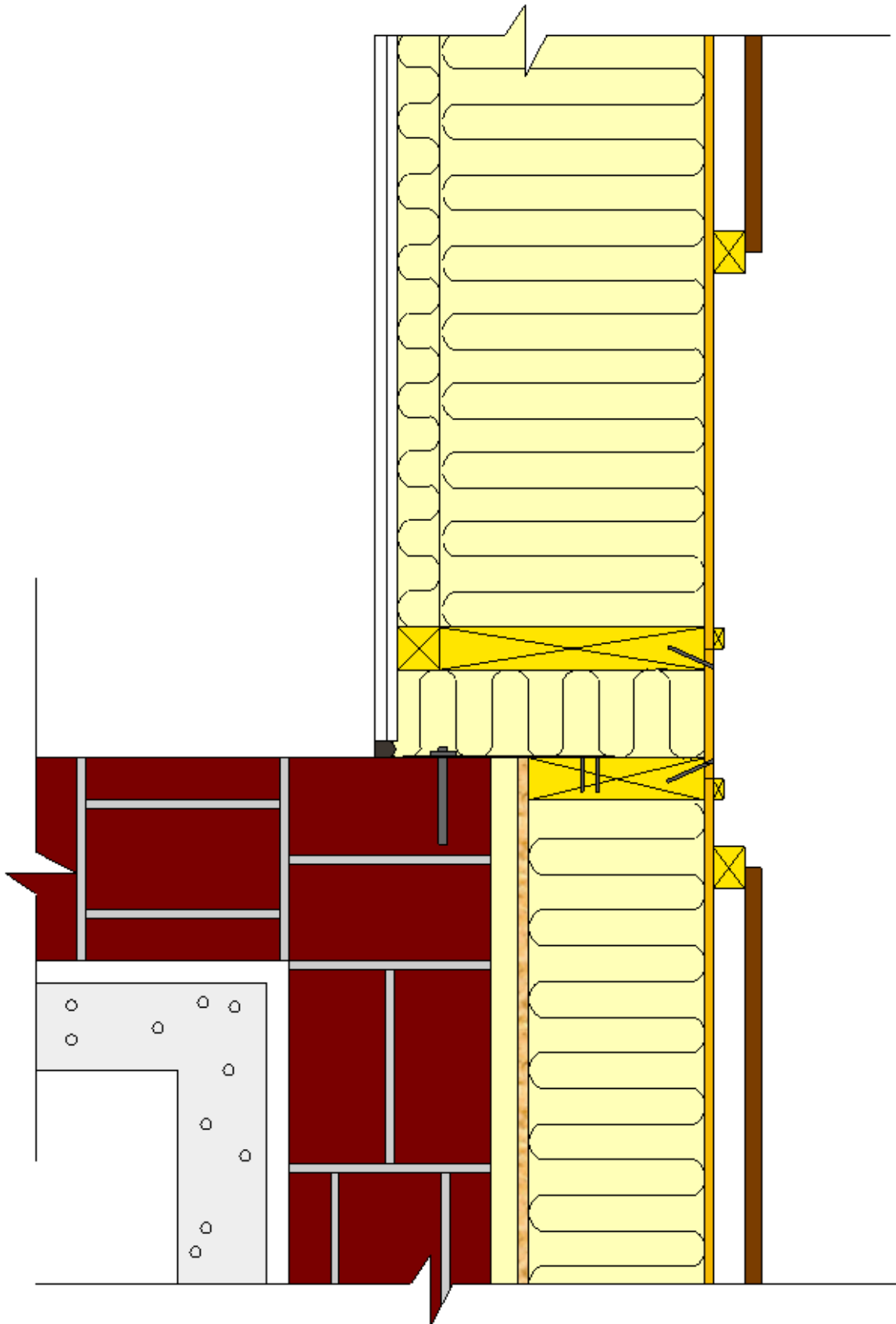
Vedlegg 5 - Detaljtegninger

Detalj 7.6 – Overgang mellom fasadeelement direkte på fasaden og frittstående element, vertikalt

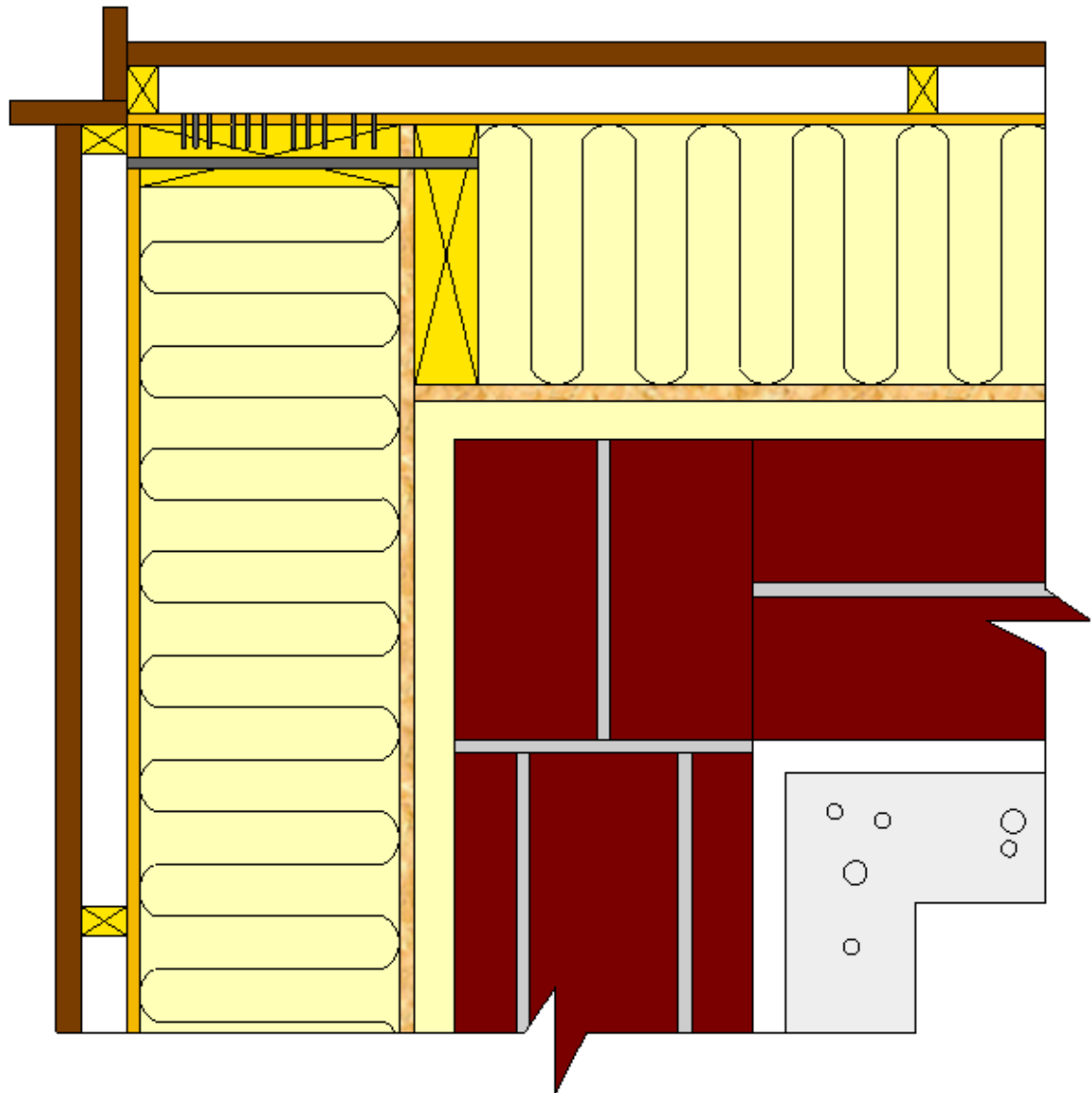


Vedlegg 5 - Detaljtegninger

Detalj 7.7 – Overgang mellom fasadeelementer, horisontalsnitt (liggende)



Detalj 7.8 – Overgang hjørnet



Vedlegg 5 - Detaljtegninger

WUFI beregninger for startfuktnivå i teglsteinsfasade

Oppbygning av konstruksjonen, fra innsiden:

- Gassbetong, 100 mm
- Luftspalte, 25 mm
- Teglstein, 230 mm

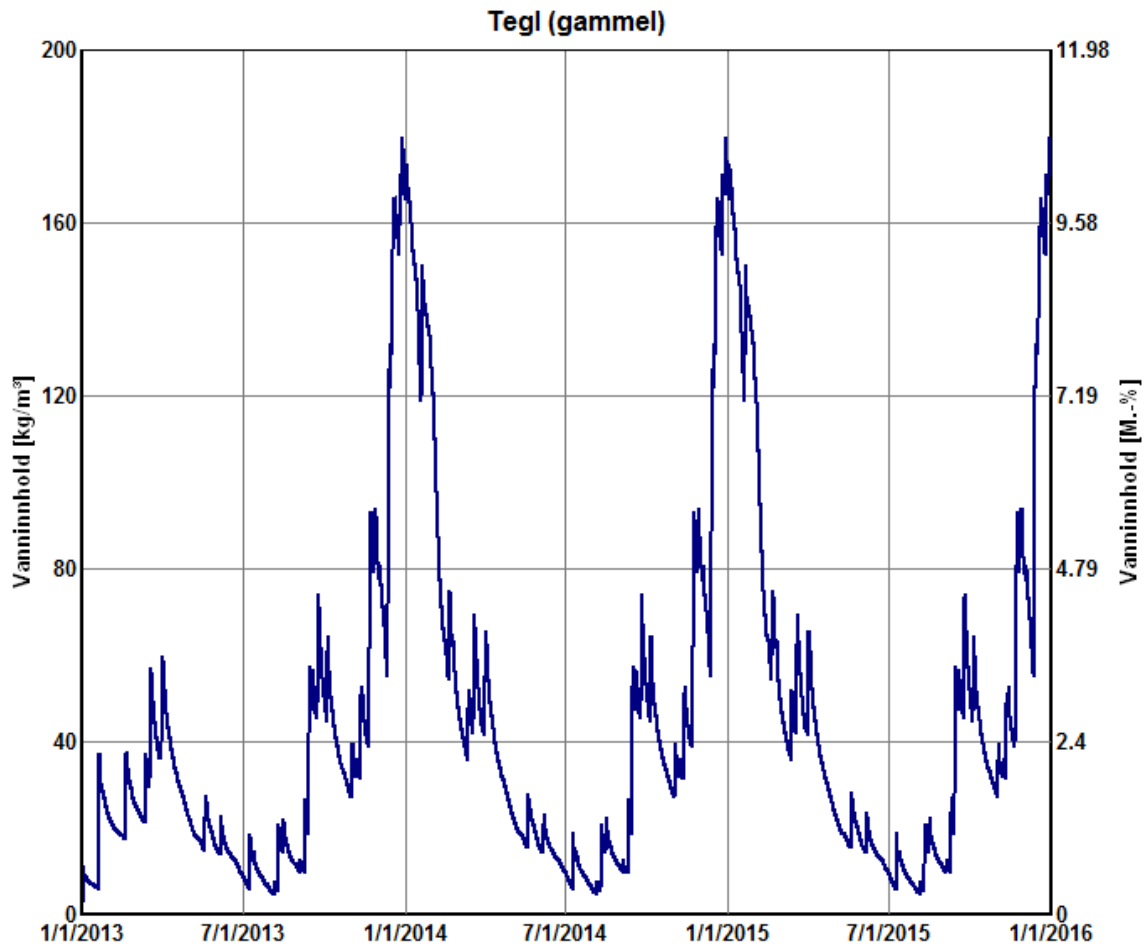
Startbetingelser for normal fuktnivå:

Parameter	Verdi
Startfuktnivå	80 %
Starttemperatur	20 °C
Beregningsperiode	1. januar 2013 – 1. januar 2016
Uteklima	Bergen
Inneklima	Fuktklasse 2
Innetemperatur	20 °C
Orientering	Sørvest, 90°
Regnvannabsorpsjonstall	0,7
Kortbølget strålingsabsorpsjonstall	0,68 (Teglstein, rød)
Langbølget strålingsemissivitet	0,9 (Teglstein, rød)

Resterende verdier er ikke endret på.

Monitorposisjoner er satt på begge ytterkantene av konstruksjonen, og en midt i konstruksjonen.

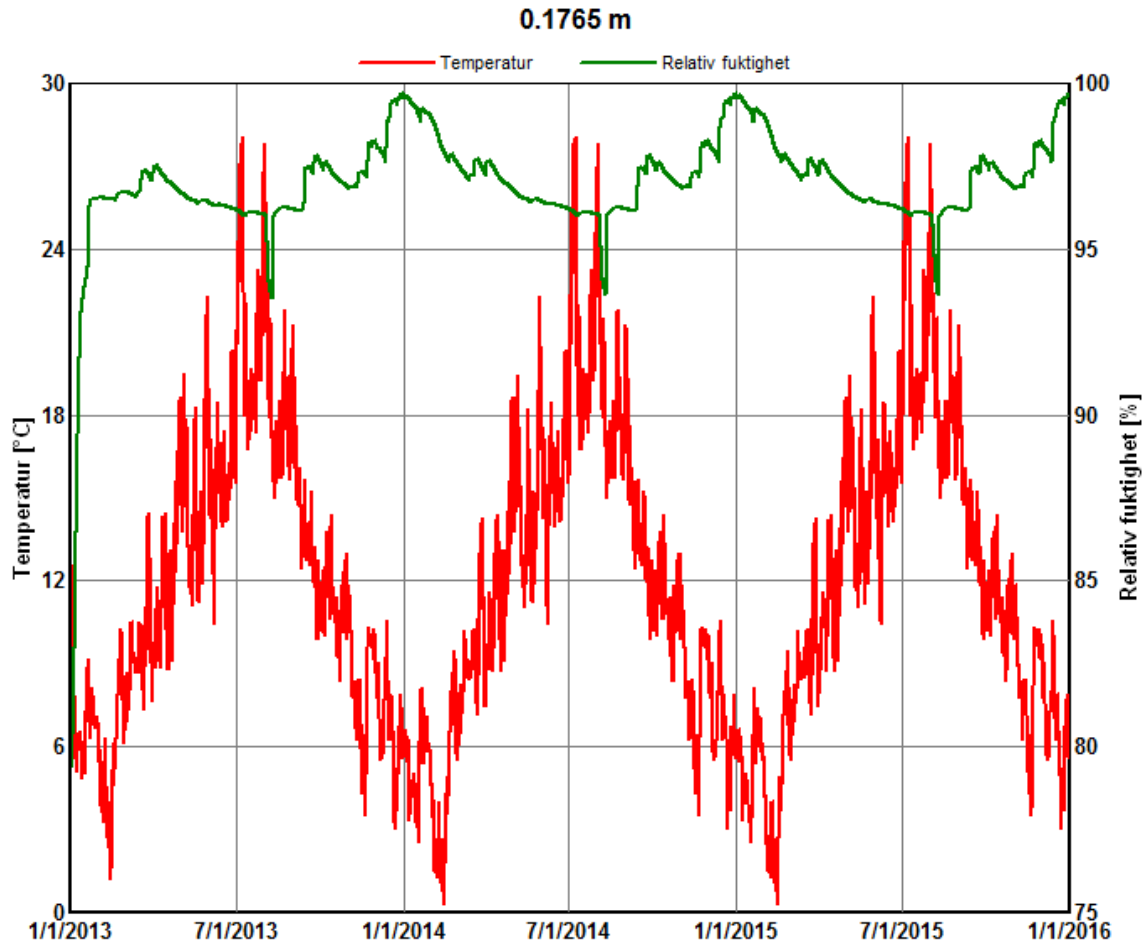
Resultater



Figur 1. Totalt vanninnhold i teglsteinen.

Figur 1 viser en oversikt over det totalt vanninnhold i teglsteinen. Ut i fra denne figuren, og en tabell med resultatene fra beregningen, plukkes de verdiene som skal benyttes i simuleringen av OSB-platen i masteroppgaven. I tillegg viser figuren at vanninnholdet ikke akkumulerer over beregningsperioden, noe som betyr at sjiktet har mulighet til uttørking gjennom året.

Det maksimale vanninnholdet i teglet ble avlest til $179,79 \text{ kg/m}^3$, mens det gjennomsnittlige nivået ble avlest til 20 kg/m^3 .



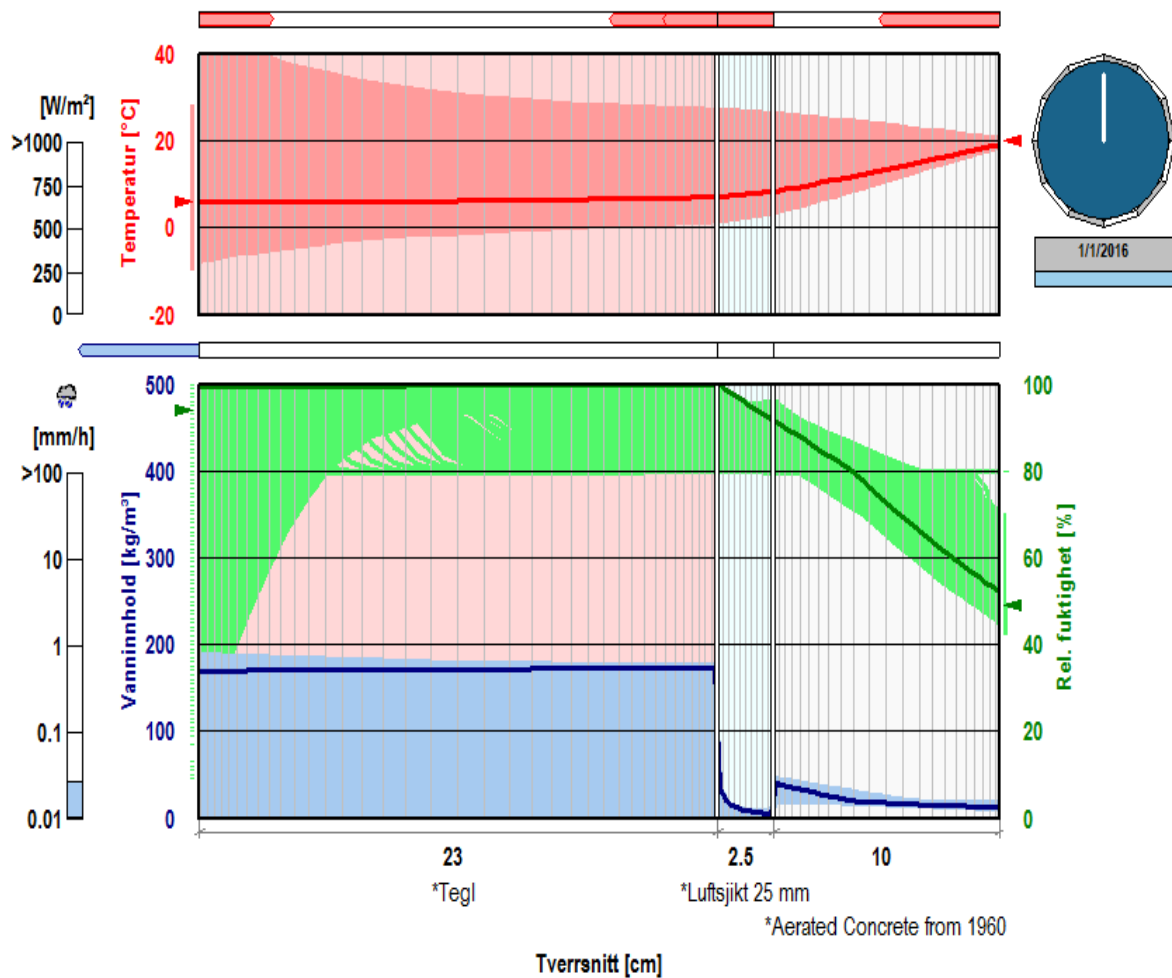
Figur 2. RF og temperatur i monitorposisjonen midt i konstruksjonen.

Figur 2 viser RF og temperatur midt i konstruksjonen. Fra denne ser man at RF ligger stabilt høyt gjennom hele året, med topper på desember/januar hvert år. Samtidig vil temperaturen være høyest på sommeren, rundt juli, mens den er lavest i den tiden RF er høyest, altså i januar. Selv om temperaturen er over 5 °C, mens RF er over 80 %, er det ingen fare for mugg og råte dannelse i denne konstruksjonen, da den ikke består av organiske materialer. Likevel er fuktforholdene svært høye, og en utvendig etterisolering for beskyttelse av teglsteinen vil forbedre forholdene.

Vedlegg 6 - WUFI beregninger for startfukt i teglsteinsfasade

Sted: Bergen; NBI / NTNU;

WUFI®

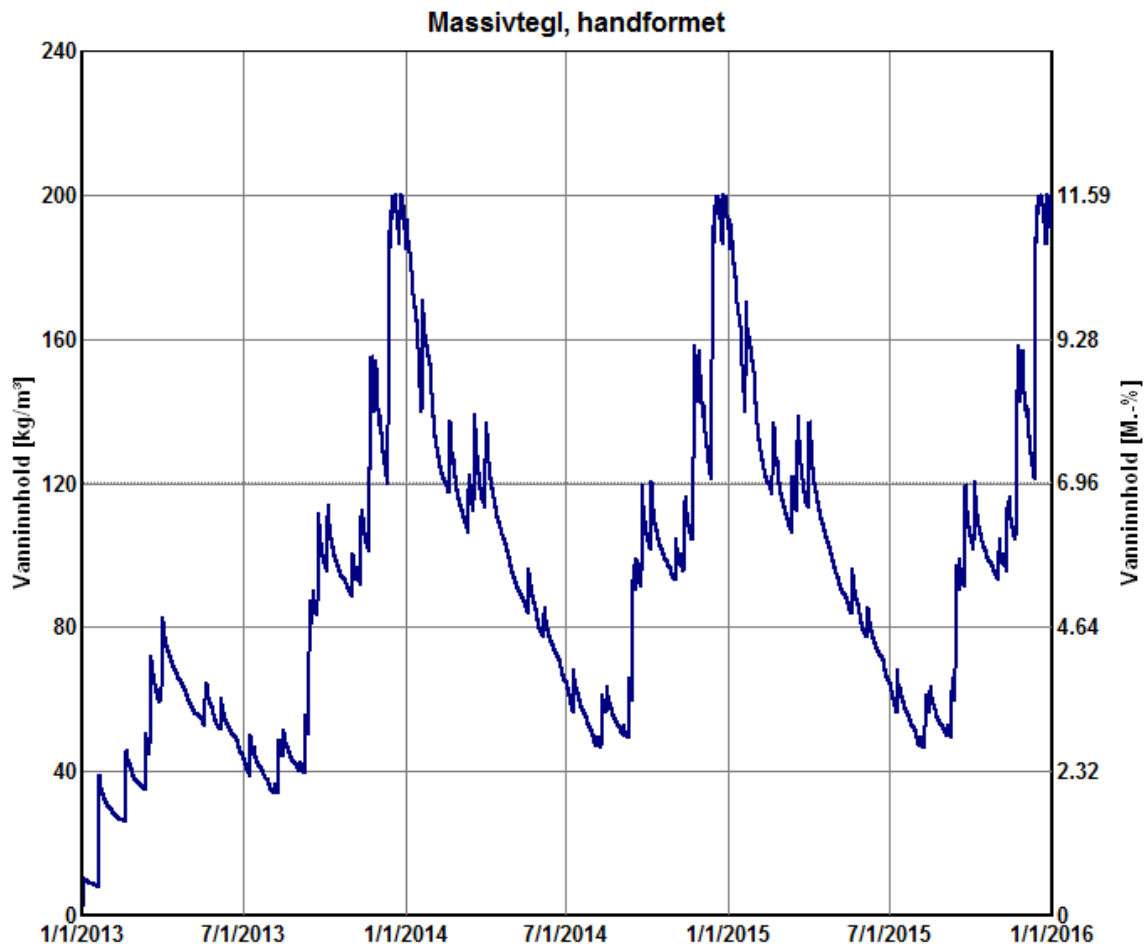


Figur 3. Resultater av filmsimulering for den eksisterende konstruksjonen.

Figur 3 over viser utviklingen av vanninnhold, RF og temperatur over hele treårsperioden. Her er det tydelig at RF ligger høyt jevnt gjennom konstruksjonen, og at RF ofte ligger opp mot 100 % i teglsteinen. I tillegg ser man at vanninnholdet er jevnt over høyt i teglsteinen, men at det ikke trekker like godt inn i de andre sjiktene i konstruksjonen. Likevel viser simuleringen at vannet vil trenge inn i gassbetongen, noe som er ugunstig med tanke på innklimaet.

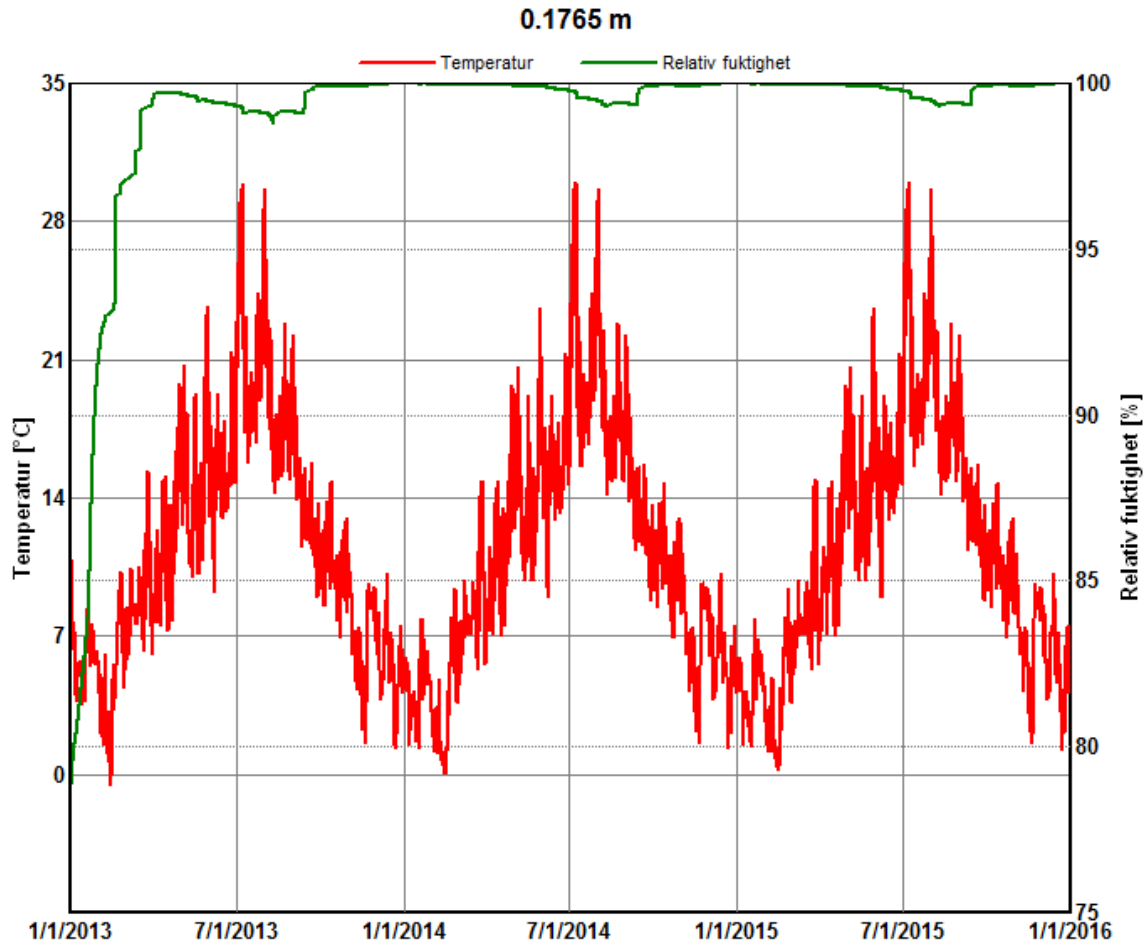
Det ble simulert også med en nyere type teglstein for å se om denne gir de samme resultatene som den opprinnelige. Dette ble gjort først og fremst på grunn av at RF er gjennomgående høy i den opprinnelige konstruksjonen. Det vil avdekkes om en nyere type teglstein trekker til seg like mye vann som den eldre. De resterende verdiene og innstillingene for konstruksjonen ble ikke endret.

Resultater



Figur 4. Vanninnhold i massivteglstein.

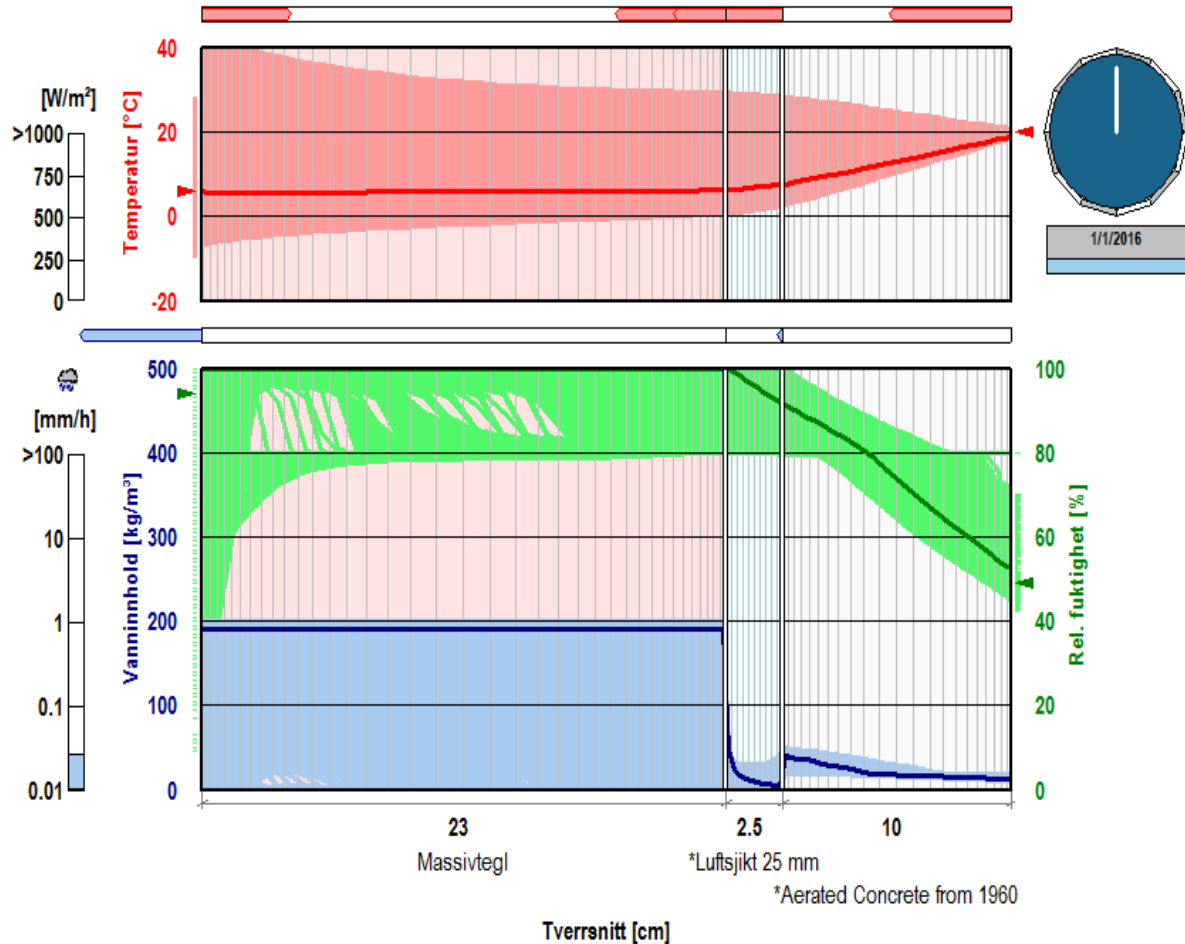
Figur 4 viser at vanninnholdet er større dersom man benytter en annen type teglstein. Det maksimale vanninnholdet i teglet ble nå avlest til $200,17 \text{ kg/m}^3$, mens det gjennomsnittlige nivået ble avlest til 45 kg/m^3 . Figuren viser også at vanninnholdet ikke akkumulerer. Dette er positivt, da teglsteinen har mulighet til å tørke gjennom perioden.



Figur 5. RF og temperatur midt i konstruksjonen med annen type teglstein.

Mens Figur 5 viser at RF ligger jevnt høyere gjennom konstruksjonene enn ved bruk av den gamle typen teglstein. Desstuen er periodene med svært høy RF lengre for denne typen teglstein enn for den gamle.

Vedlegg 6 - WUFI beregninger for startfukt i teglsteinsfasade



Figur 6. Filmfremvisning av simulering med ny type teglstein.

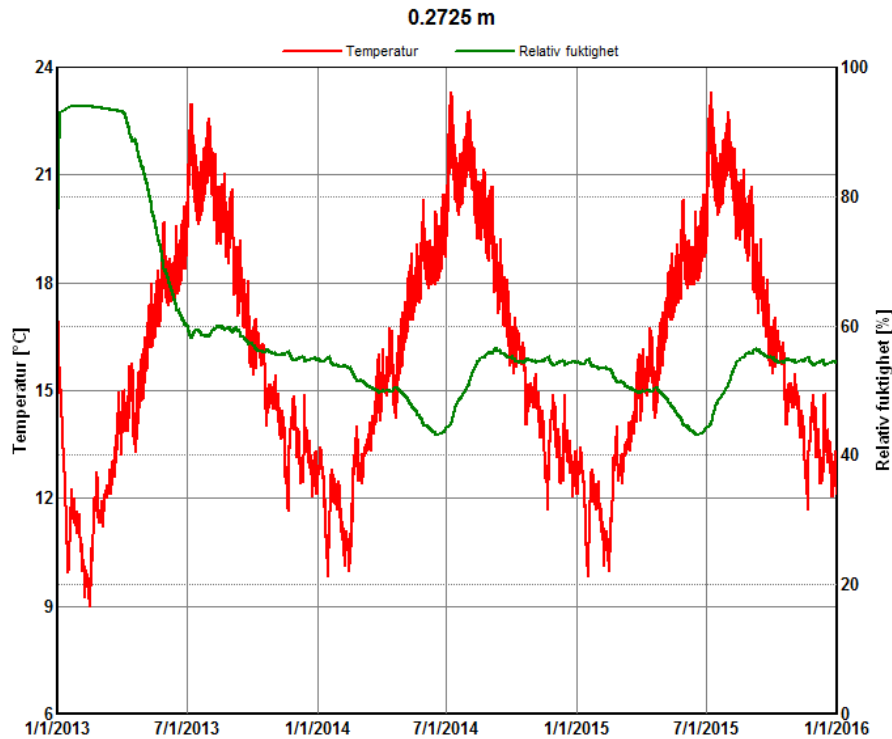
Videre viser Figur 6 at vanninnholdet ligger høyere enn for den gamle teglsteinen, og at vanninnholdet er større for sjiktene bak teglsteinen. Også her ligger RF høyt jevnt gjennom konstruksjonen.

En sammenligning over disse resultatene viser at en annen type teglstein ikke vil gi bedre vilkår for RF eller vanninnhold i teglsteinen eller i resten av konstruksjonen, da disse ligger høyere enn verdiene for den gamle steinen. Dermed er det vist at den gamle steinen ikke har dårligere egenskaper enn en annen type stein, og at teglsteinen uansett vil suge til seg mye vann. Av den grunn er det valgt å benytte resultatene fra simuleringen med den gamle teglsteinen, da det er antatt at denne har egenskaper som er mest lik steinen som er benyttet i Nordahl Bruns gate.

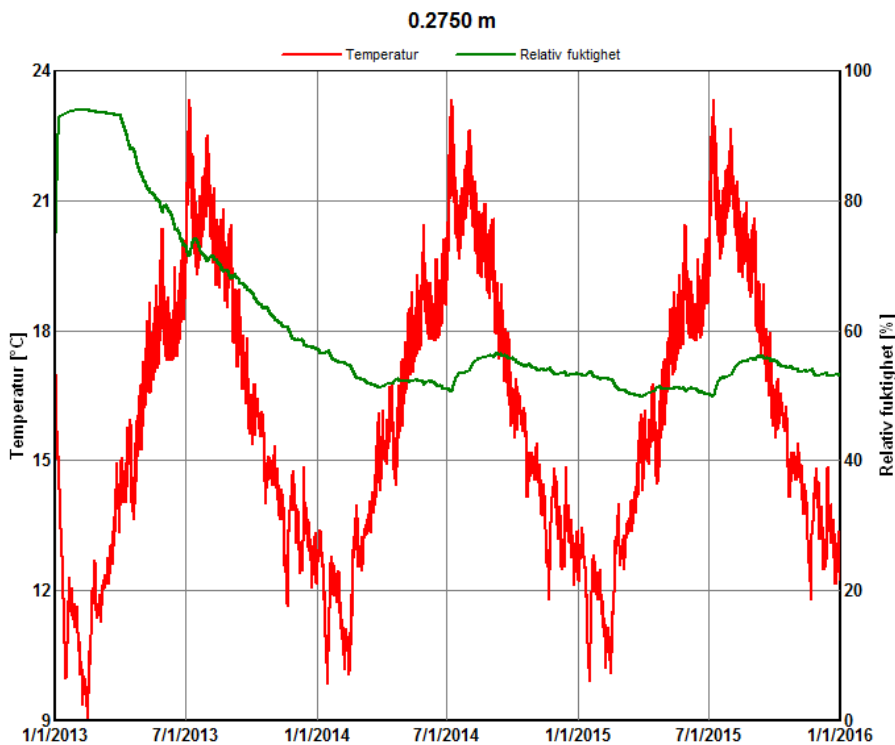
Vedlegg 6 - WUFI beregninger for startfukt i teglsteinsfasade

Resultater fra WUFI beregninger med OSB-plate

Resultater fra simulering av fuktproblematikk på baksiden av dampbremsen med henholdsvis GU-plate og OSB-plate som vindsperre:

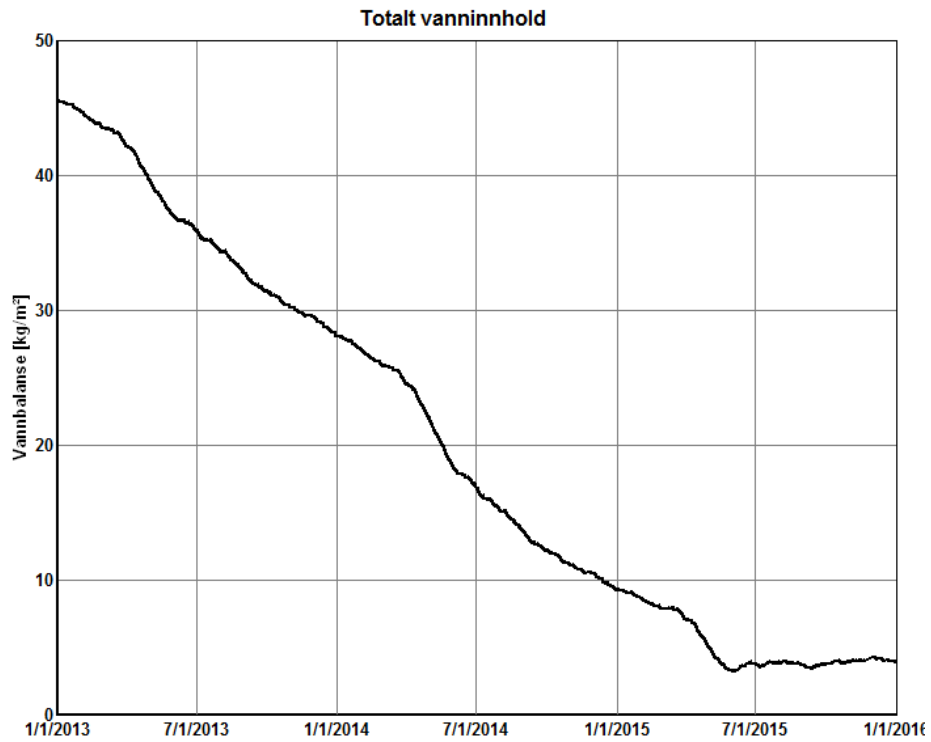


Figur 1. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med GU-plate som vindsperre.

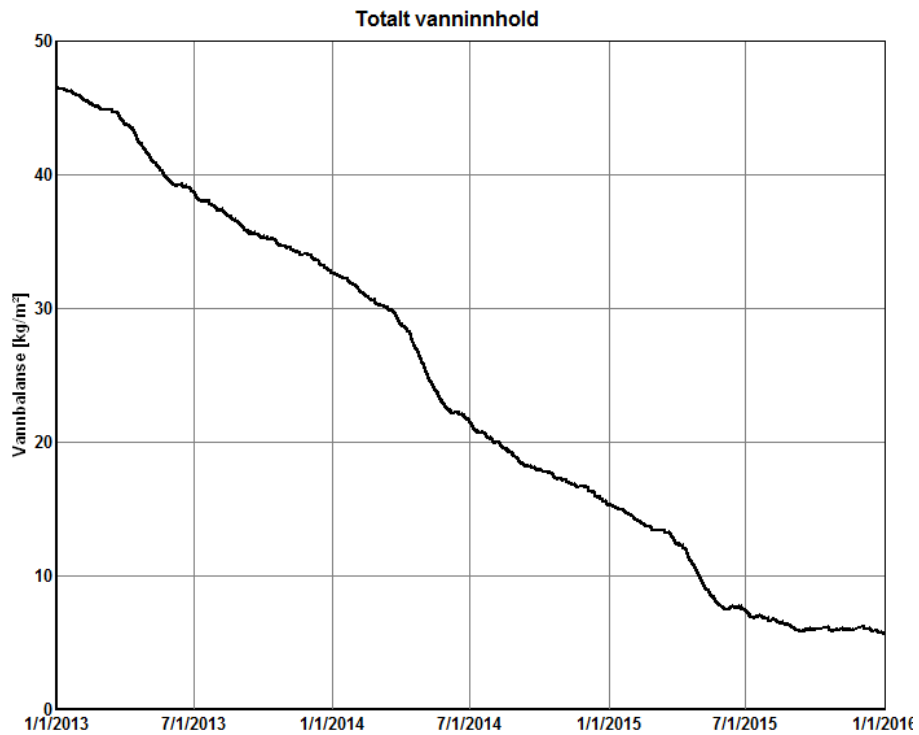


Figur 2. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med bruk av OSB-plate som vindsperre.

Resultater for total vanninnhold i konstruksjonene ved simulering av høy startfuktighet i teglkonstruksjonen:



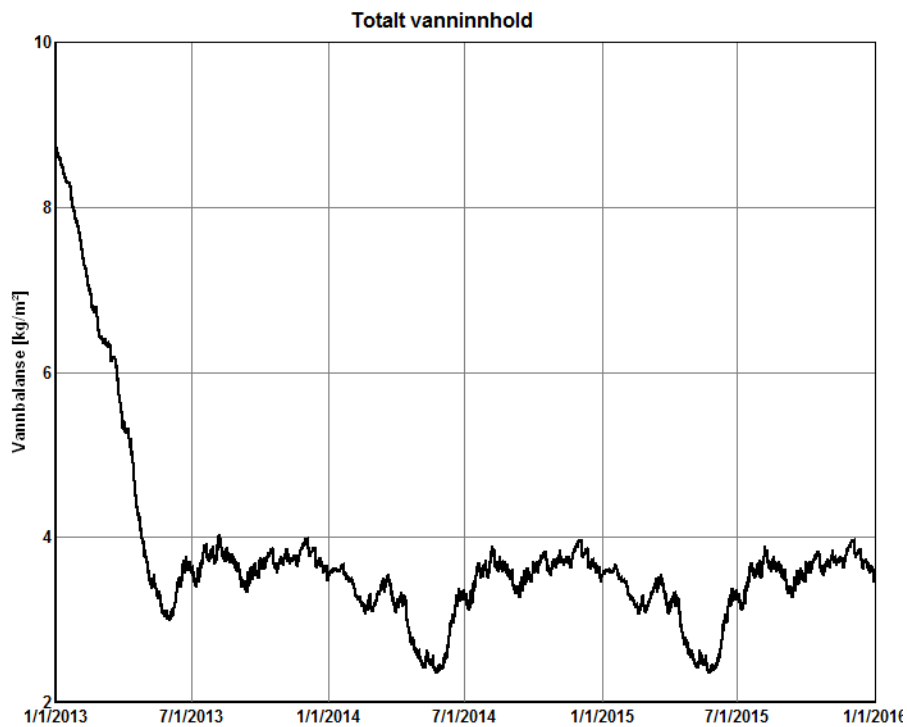
Figur 3. Totalt vanninnhold i konstruksjonen med GU-plate og høyt startfuktnivå på teglstein.



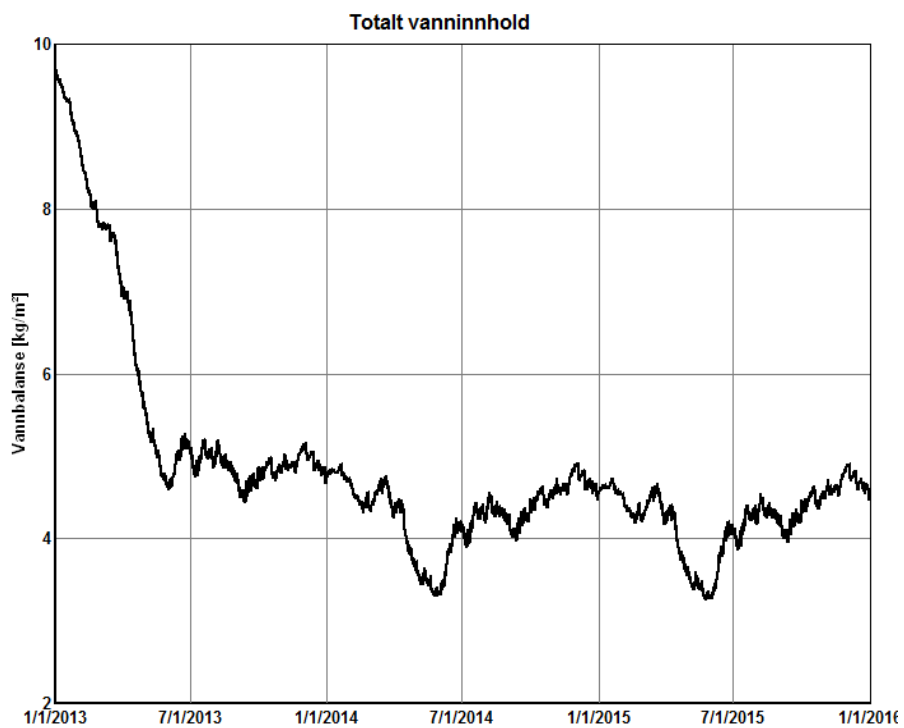
Figur 4. Totalt vanninnhold i konstruksjon med OSB-plate og høyt startfuktnivå i teglsteinen.

Vedlegg 7 – Resultater fra WUFI beregninger med OSB-plate

Resultater for total vanninnhold i konstruksjonene med fuktklasse 1 med henholdsvis bruk av GU-plate og OSB-plate som vindsperre:



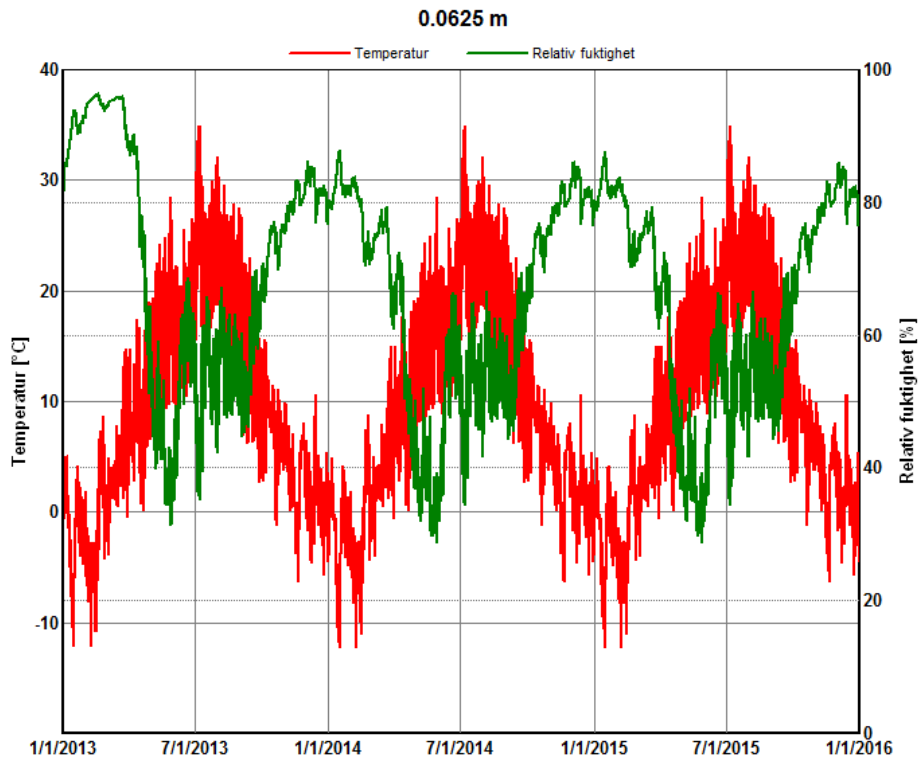
Figur 5. Totalt vanninnhold for simulering med fuktklasse 1 og GU-plate.



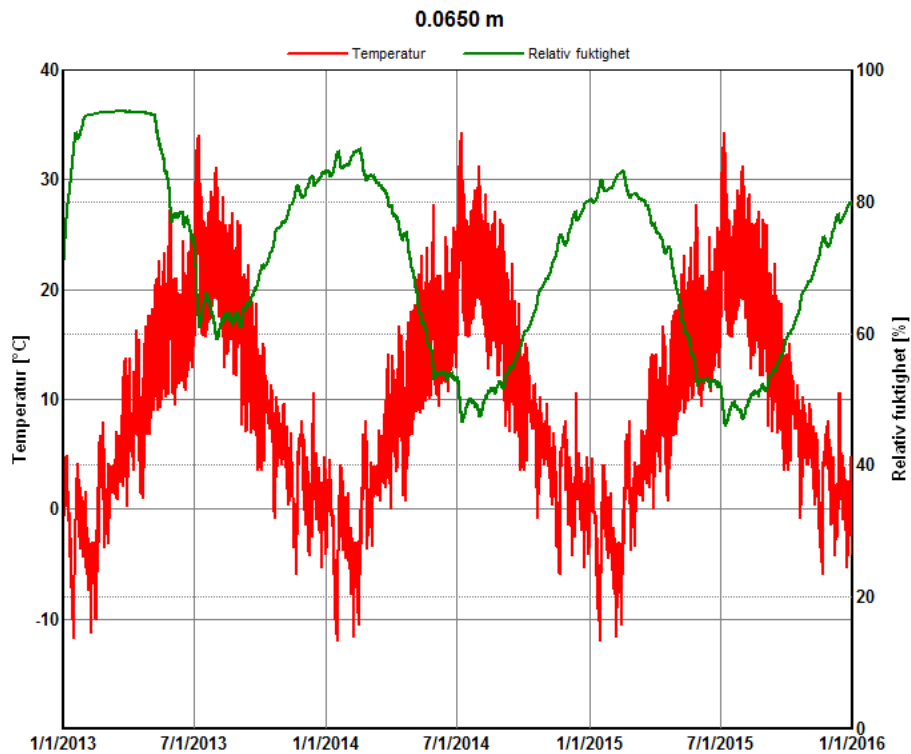
Figur 6. Totalt vanninnhold med fuktklasse 1 og bruk av OSB-plate som vindsperre.

Vedlegg 7 – Resultater fra WUFI beregninger med OSB-plate

Resultater for simulering av fuktproblematikk på baksiden av vindspærren i konstruksjonene med GU-plate og OSB-plate som vindspærre, med bruk av fuktklasse 1:

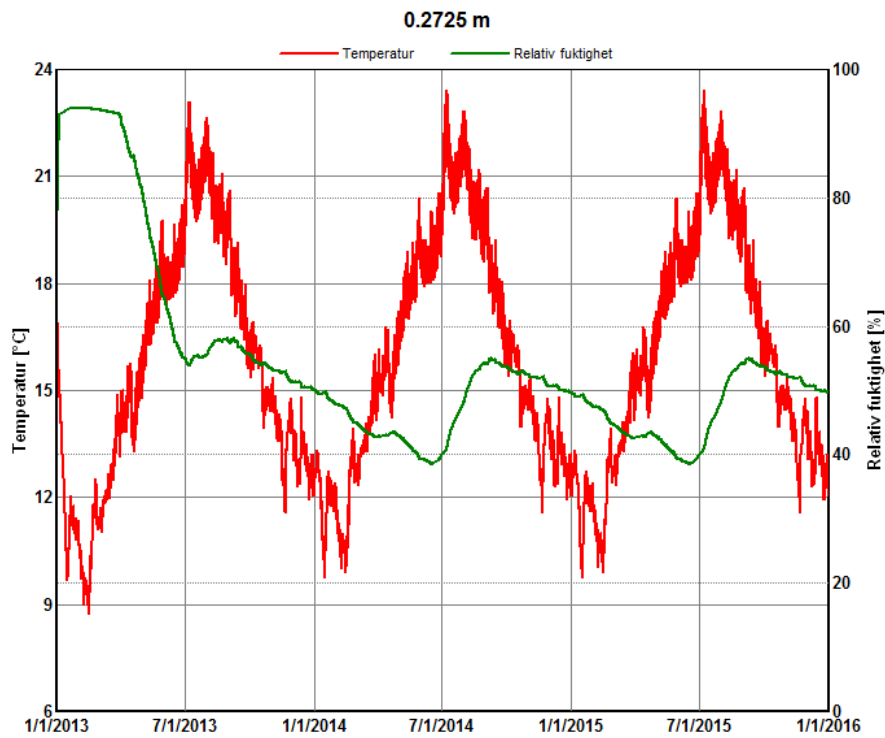


Figur 7. RF og temperatur på baksiden av vindspærren med bruk av GU-plate og fuktklasse 1.

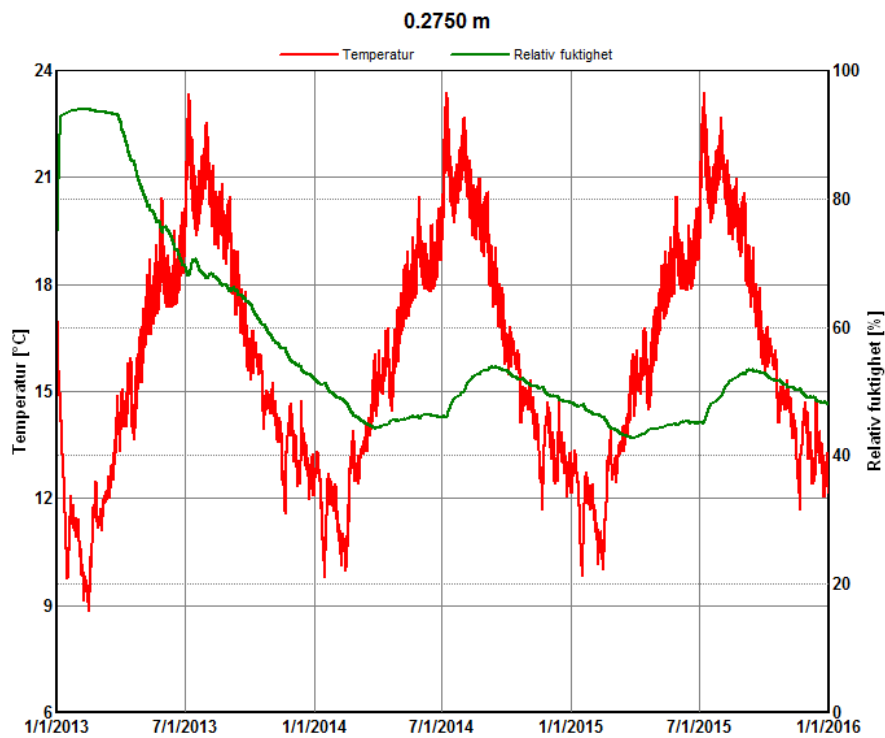


Figur 8. RF og temperatur på baksiden av vindspærren med bruk av OSB-plate og fuktklasse 1.

Resultater for simulering av fuktforholdet på baksiden av dampbremsen med fuktklasse 1:

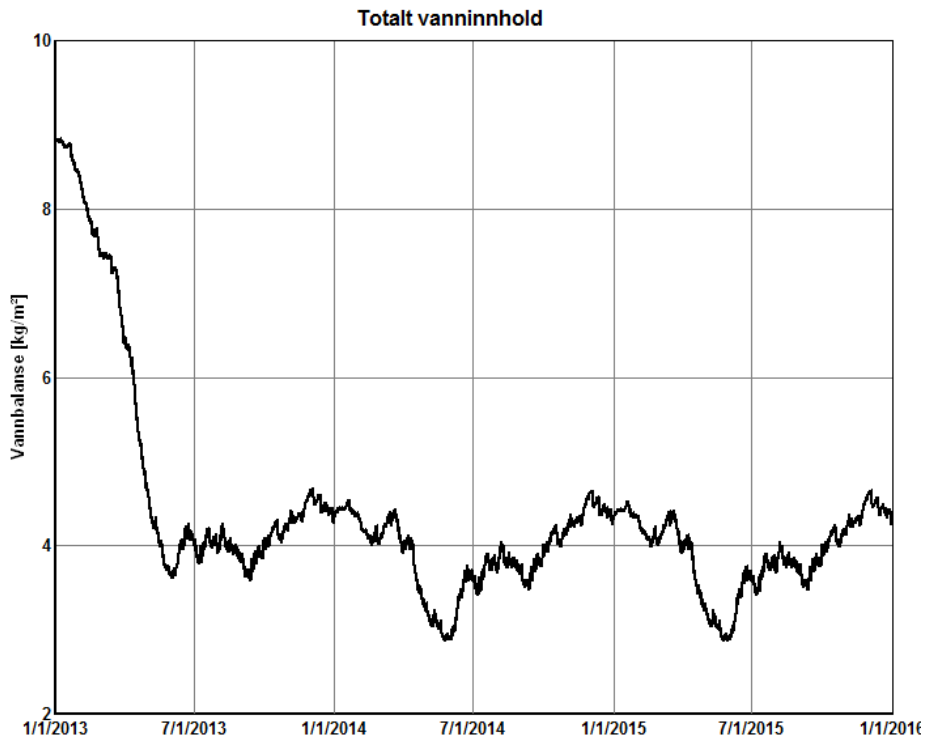


Figur 9. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med fuktklasse 1 og GU-plate.

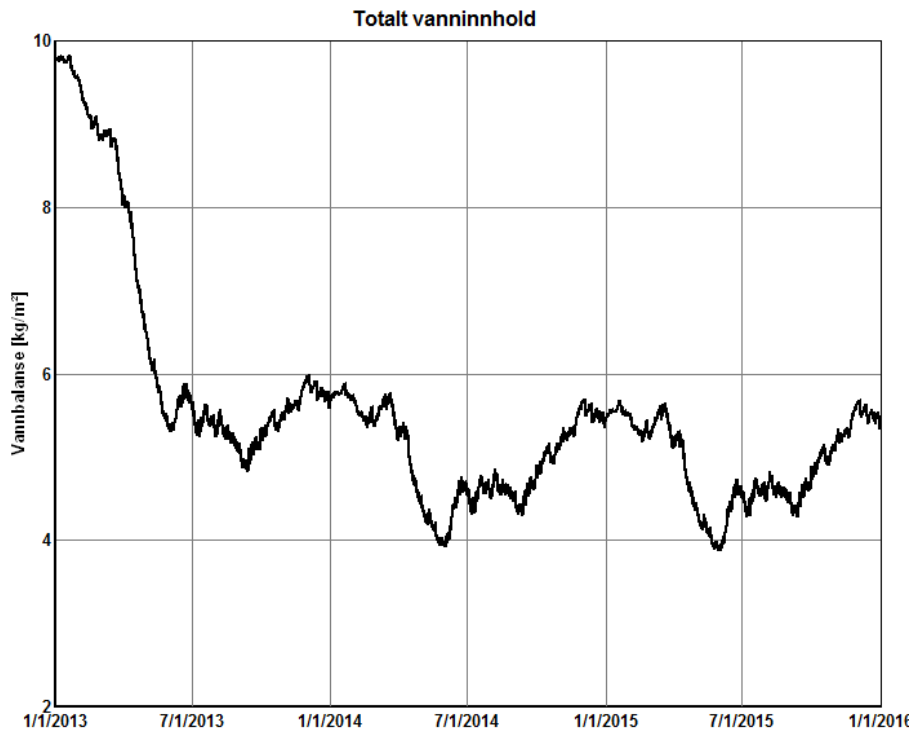


Figur 10. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med fuktklasse 1 og bruk av OSB-plate som vindsperre.

Resultater for totalt vanninnhold for simulering av fuktklasse 3 med bruk av GU-plate og OSB-plate som vindsperre i elementene:



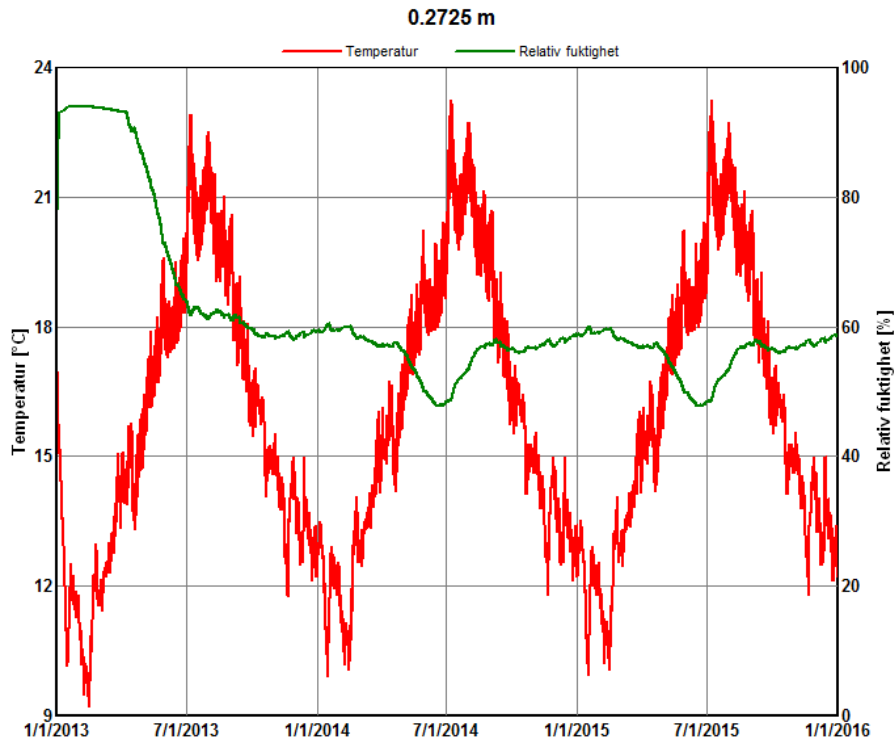
Figur 11. Totalt vanninnhold med bruk av fuktklasse 3 og GU-plate.



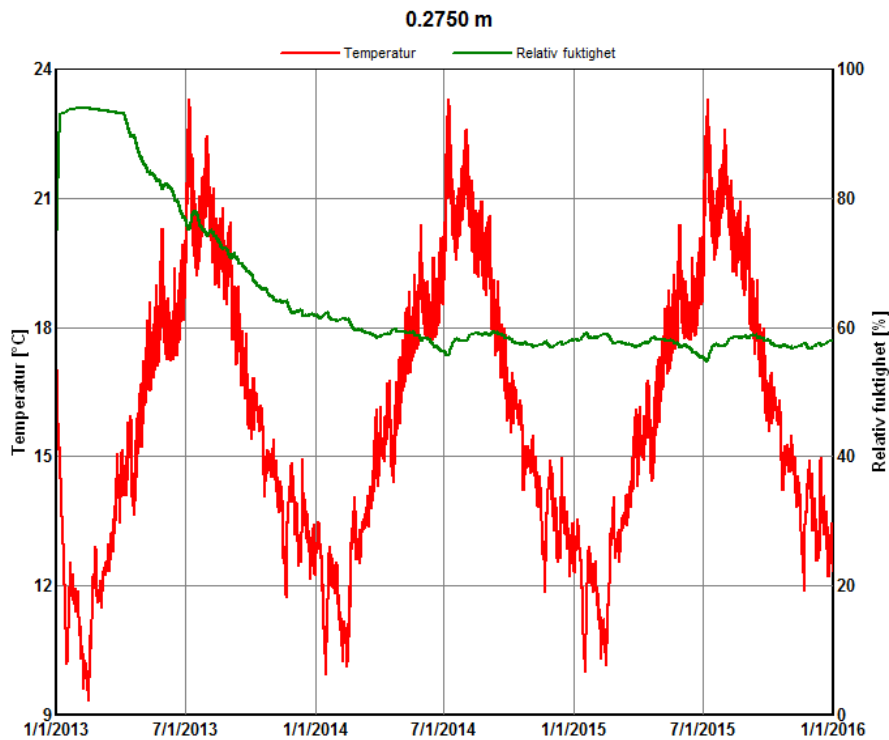
Figur 12. Totalt vanninnhold i elementet med fuktklasse 3 og OSB-plate.

Vedlegg 7 – Resultater fra WUFI beregninger med OSB-plate

Resultater for beregning av fuktproblematikk på baksiden av dampbremsen med fuktklasse 3 og bruk av GU-plate og OSB-plate som vindsperre:



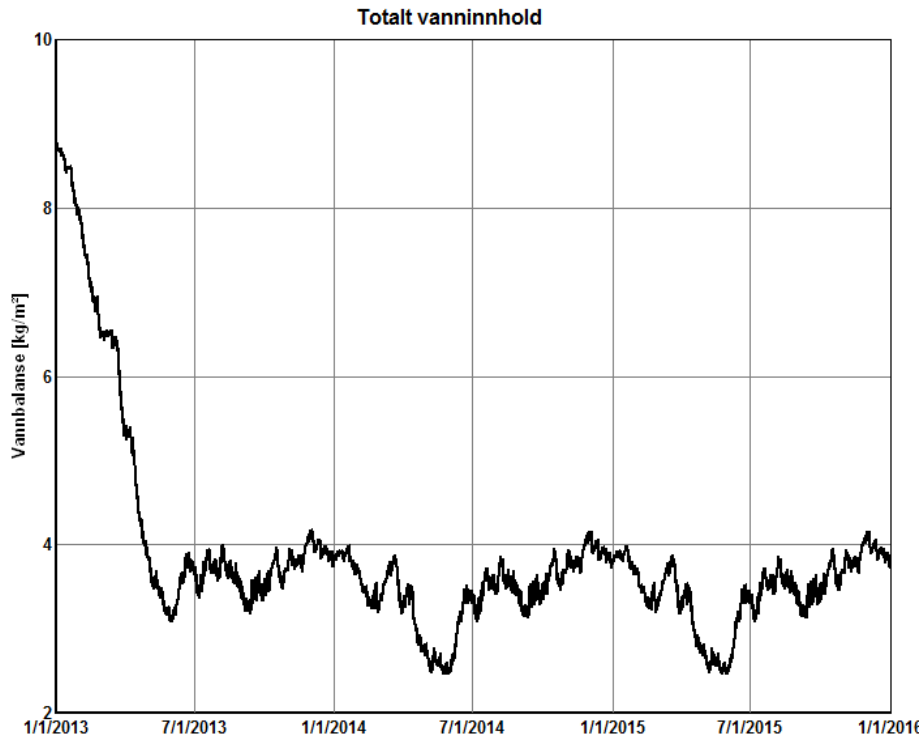
Figur 13. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med fuktklasse 3 og GU-plate.



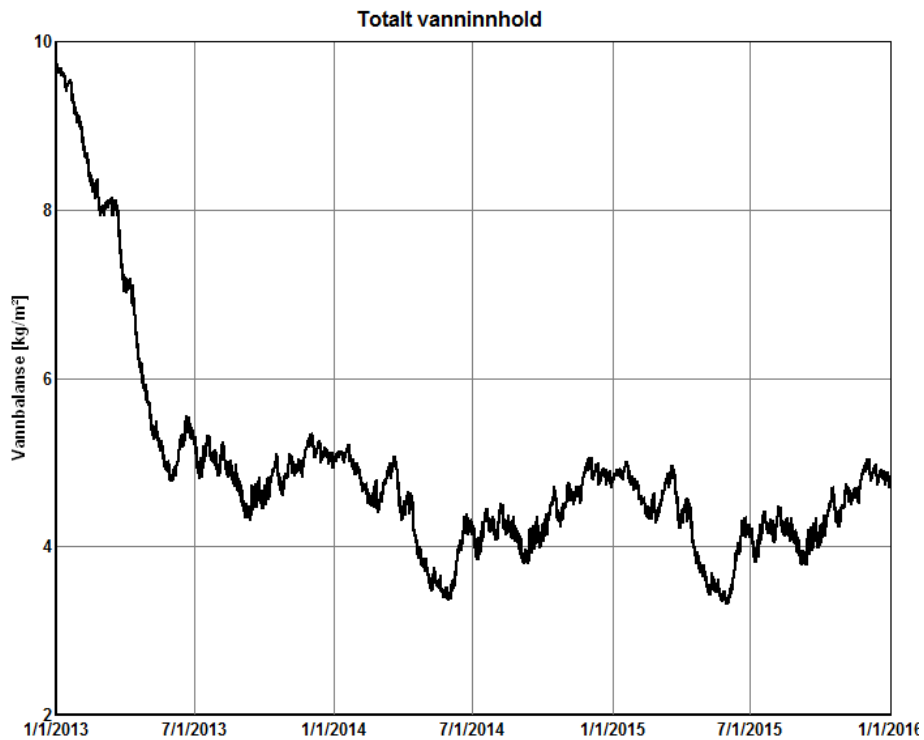
Figur 14. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med fuktklasse 3 og OSB-plate.

Vedlegg 7 – Resultater fra WUFI beregninger med OSB-plate

Resultater for totalt vanninnhold med simulering med sørvendt orientering og henholdsvis GU-plate og OSB-plate som vindsperre:



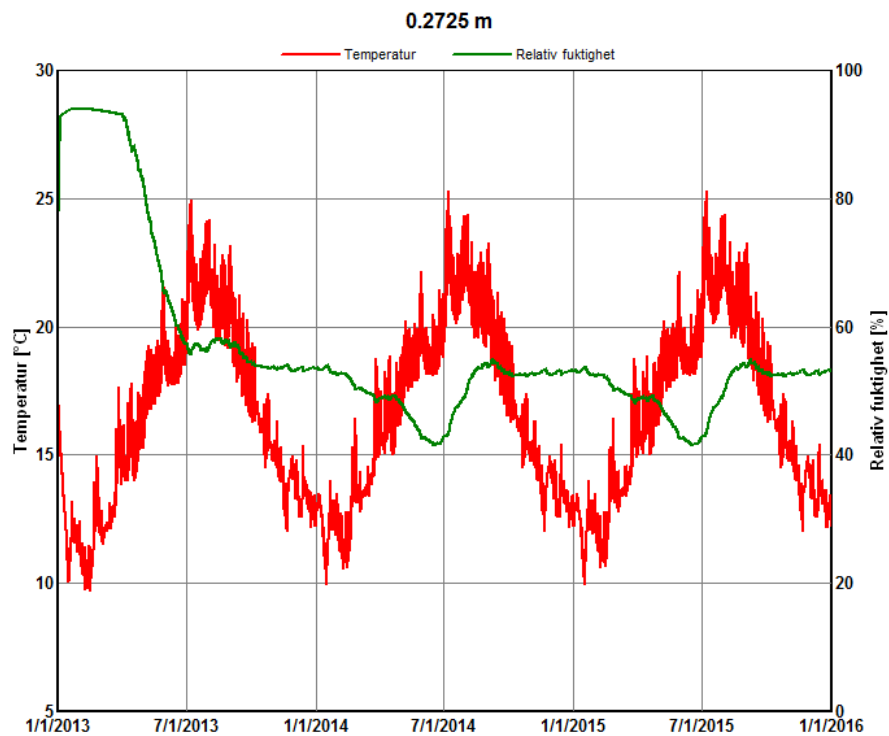
Figur 15. Totalt vanninnhold i elementet med sørvendt orientering og GU-plate som vindsperre.



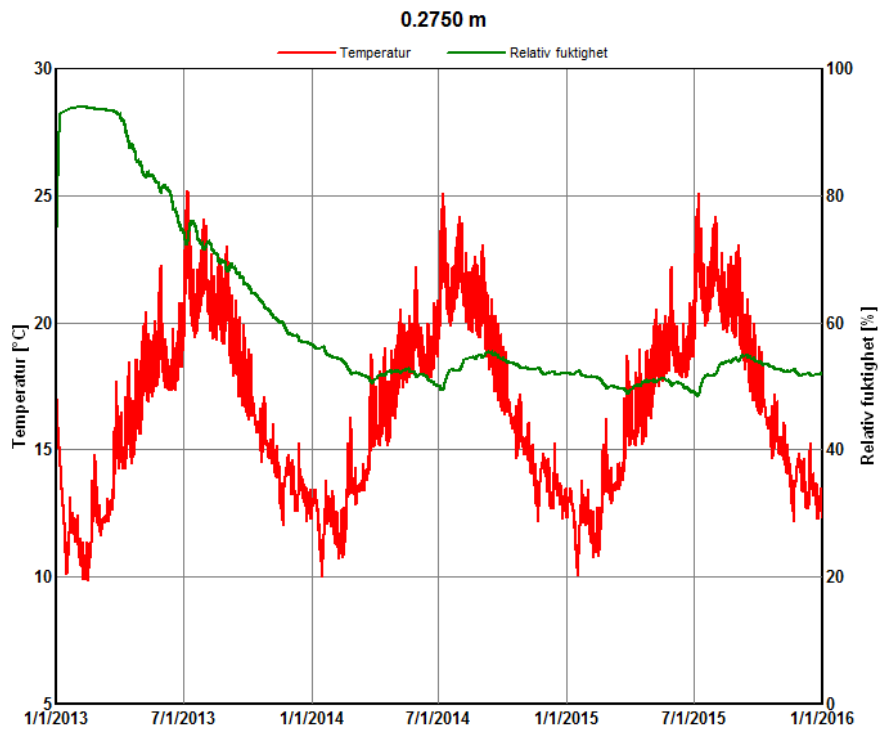
Figur 16. Totalt vanninnhold i element med sørvendt orientering og bruk av OSB-plate.

Vedlegg 7 – Resultater fra WUFI beregninger med OSB-plate

Resultater for simulering av fuktproblematikk på baksiden av dampbremsen for konstruksjonene med sørvendt orientering. Grafene viser henholdsvis bruk av GU-plate og OSB-plate som vindsperre:

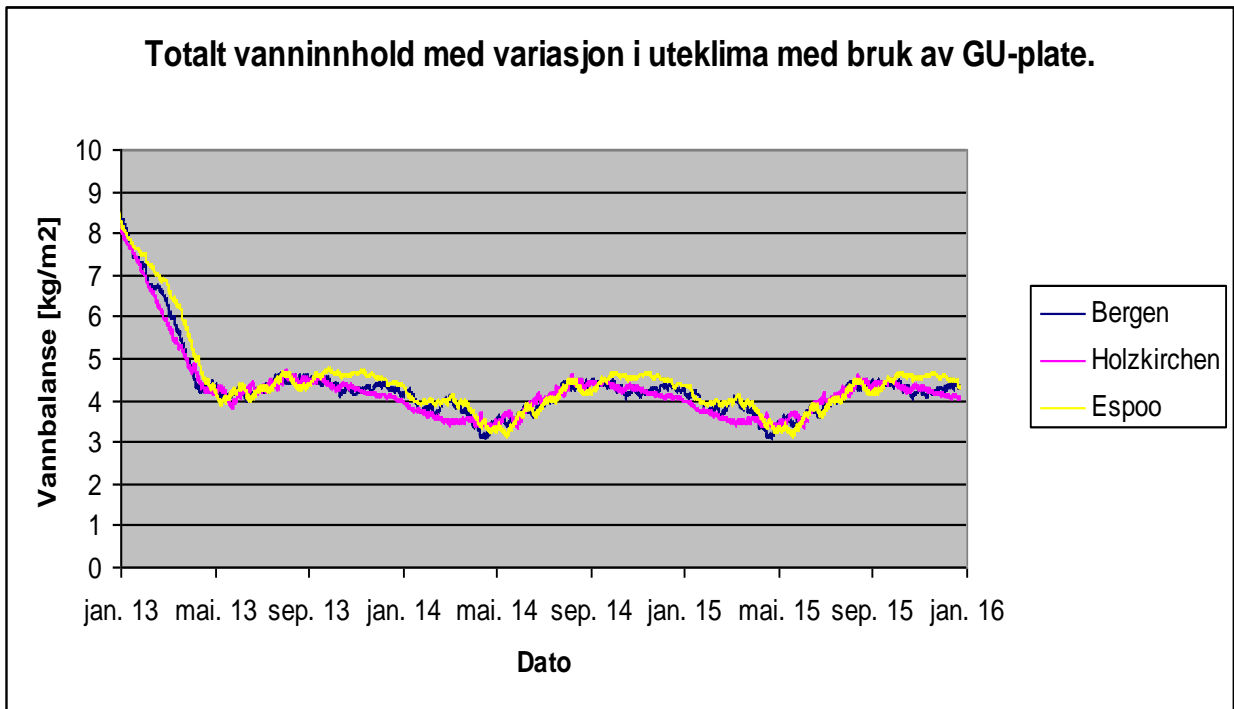


Figur 17. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med GU-plate og sørvendt orientering.

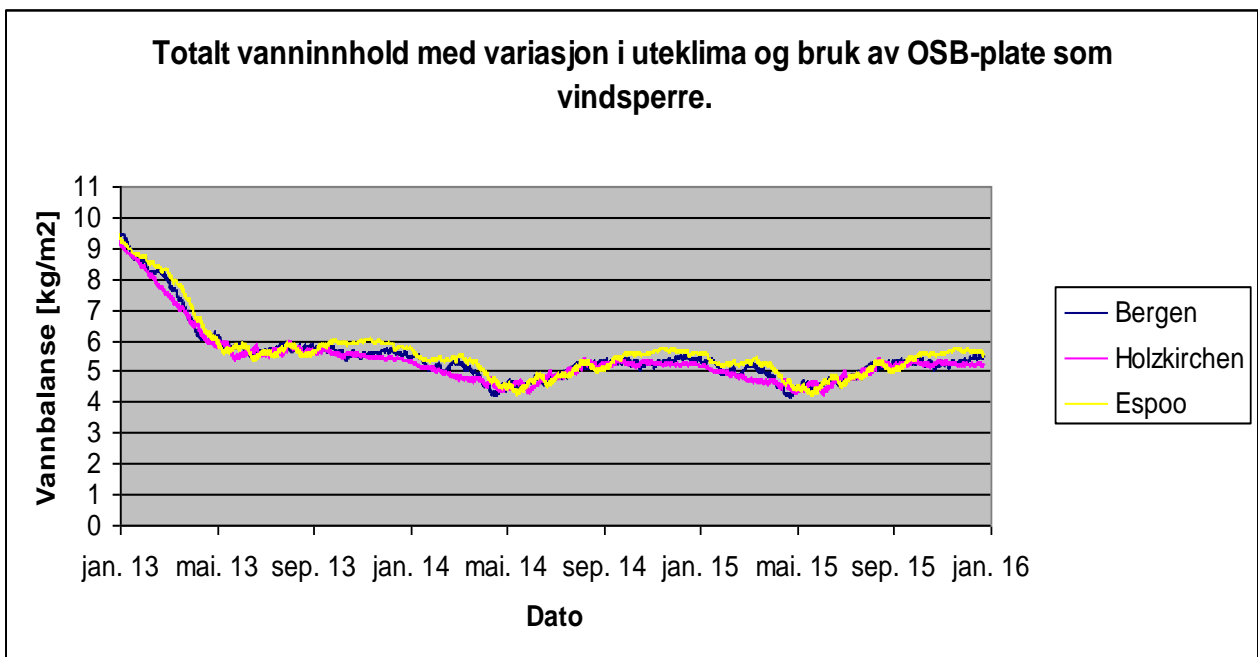


Figur 18. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med OSB-plate og sørvendt orientering.

Resultater for total vanninnhold i konstruksjonen for variasjon i uteklima for Bergen, Holzkirchen og Espoo. Grafene viser henholdsvis bruk av GU-plate og OSB-plate som vindsperre.

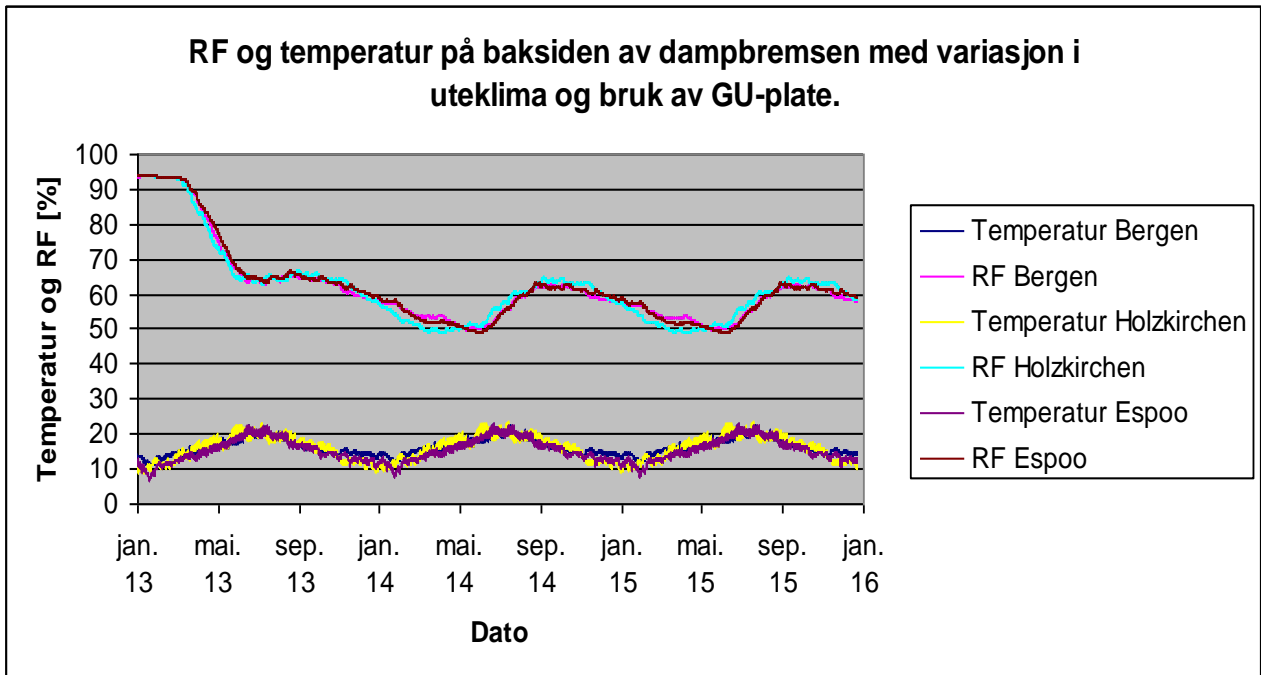


Figur 19. Totalt vanninnhold med variasjon i uteklima med bruk av GU-plate.

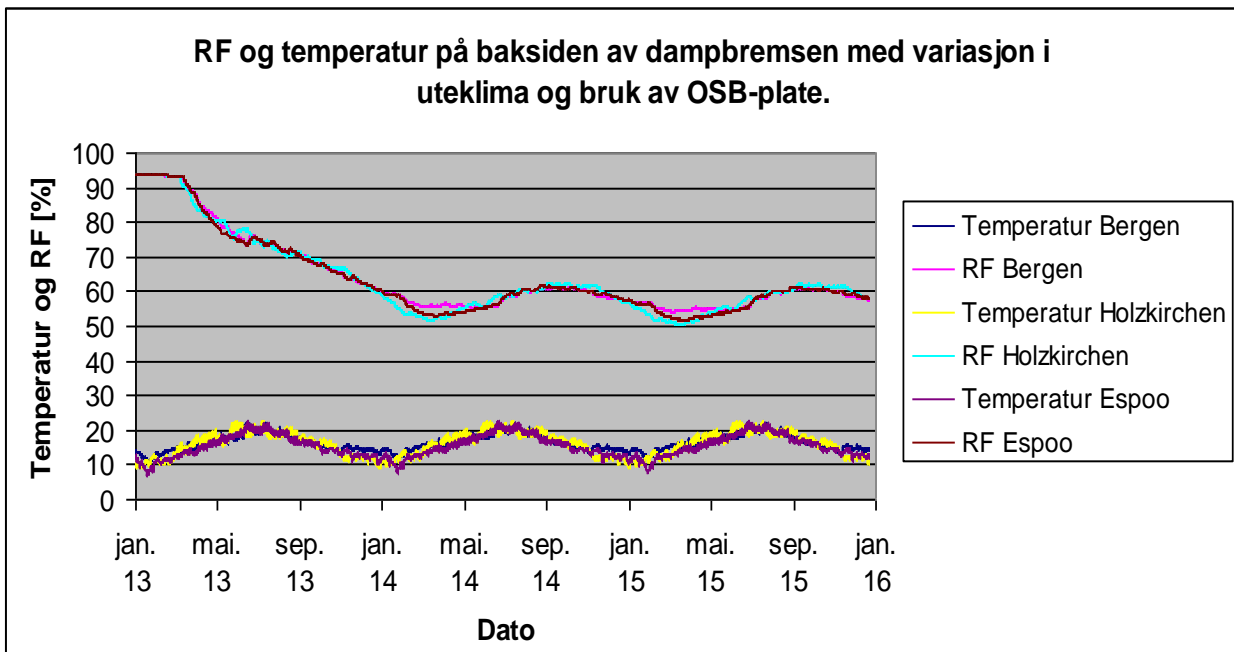


Figur 20. Totalt vanninnhold med variasjon i uteklima og bruk av OSB-plate som vindsperre.

Resultater for RF og temperatur på baksiden av dampbremsen, men henholdsvis bruk av GU-plate og OSB-plate som vindsperre. Grafene viser en variasjon i uteklima for Bergen, Holzkirchen og Espoo.



Figur 21. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med variasjon i uteklima og bruk av GU-plate som vindsperre.

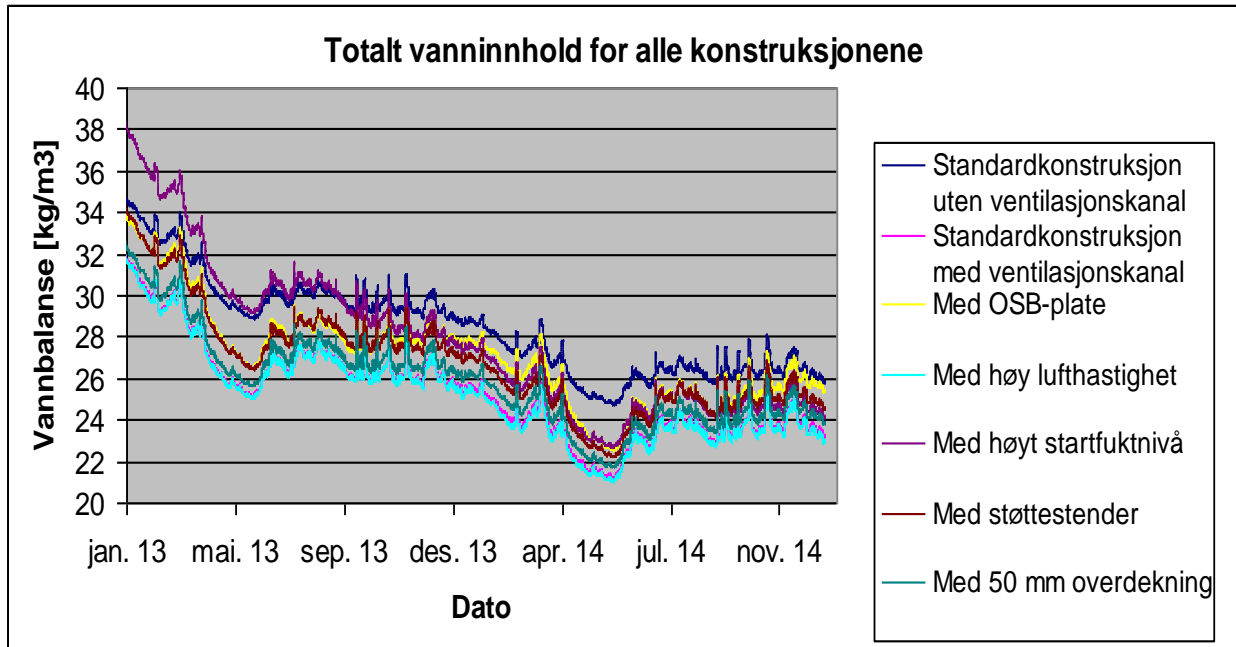


Figur 22. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen med variasjon i uteklima og bruk av OSB-plate.

Vedlegg 7 – Resultater fra WUFI beregninger med OSB-plate

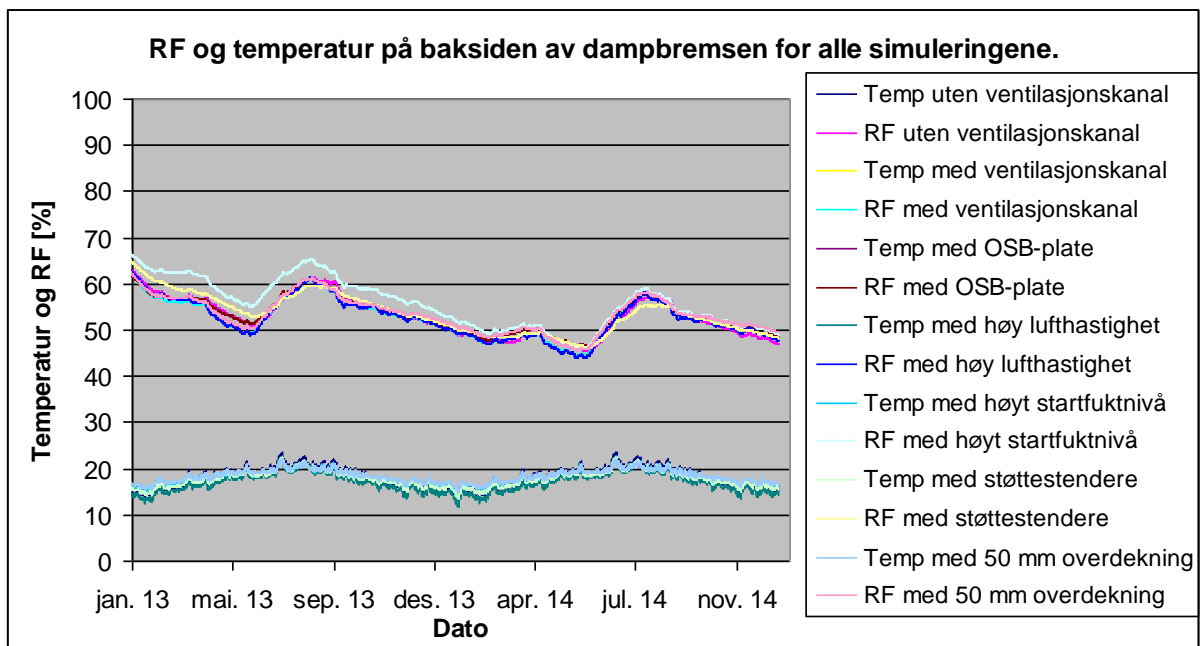
Resultater fra WUFI beregningene med ventilasjonskanal

Resultater for total vanninnhold for alle elementene som ble benyttet i simuleringene er gjengitt under.



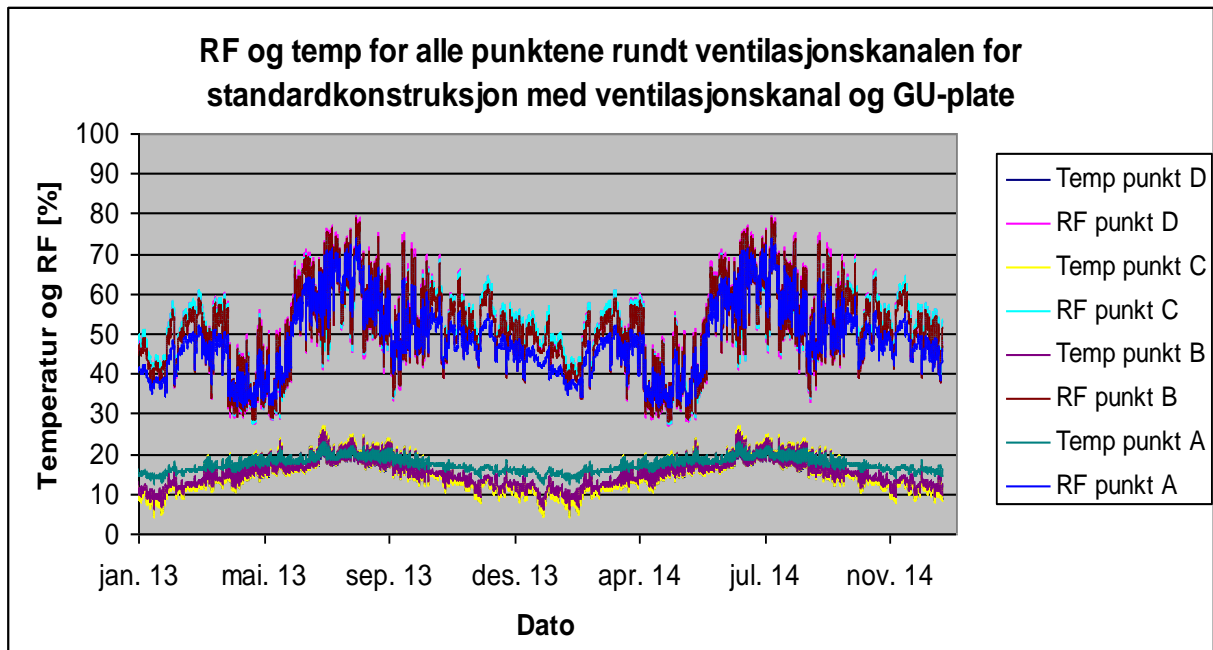
Figur 1. Totalt vanninnhold i alle konstruksjonene.

Resultatene viser simulering av RF og temperatur på baksiden av dampbremsen for alle simuleringene som ble gjort:



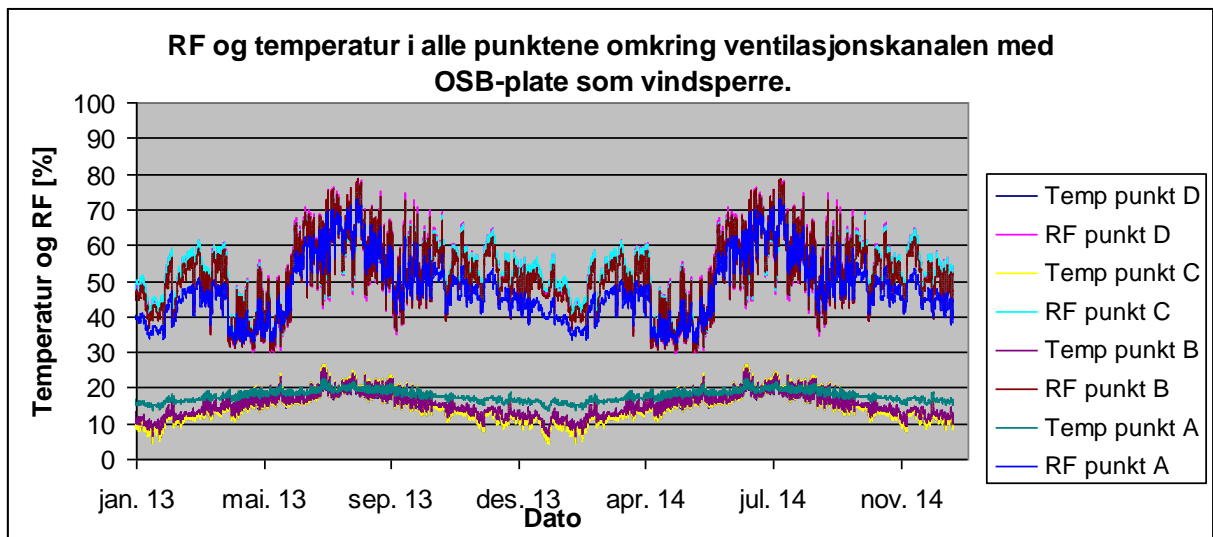
Figur 2. RF og temperatur på baksiden av dampbremsen for alle simuleringene.

Resultatene viser RF og temperatur forholdene for punktene omkring ventilasjonskanalen for standardkonstruksjonen med ventilasjonskanal og GU-plate:



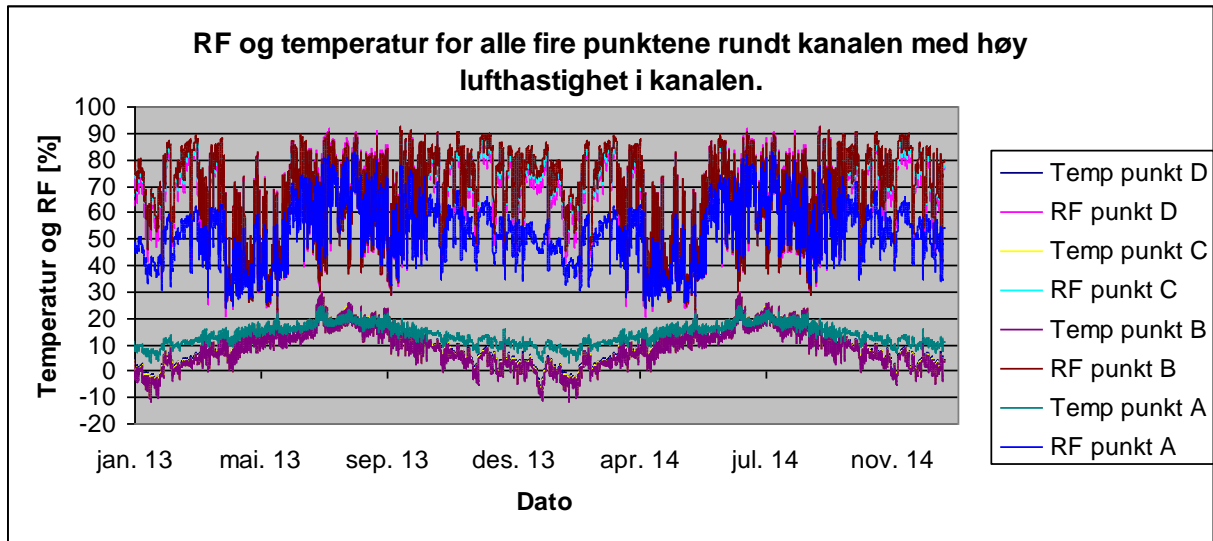
Figur 3. RF og temperatur for alle punktene rundt ventilasjonskanalen for standardkonstruksjonen med ventilasjonskanal og GU-plate.

Resultatene viser RF og temperatur for alle punktene omkring ventilasjonskanalen med bruk av OSB-plate som vindsperre:



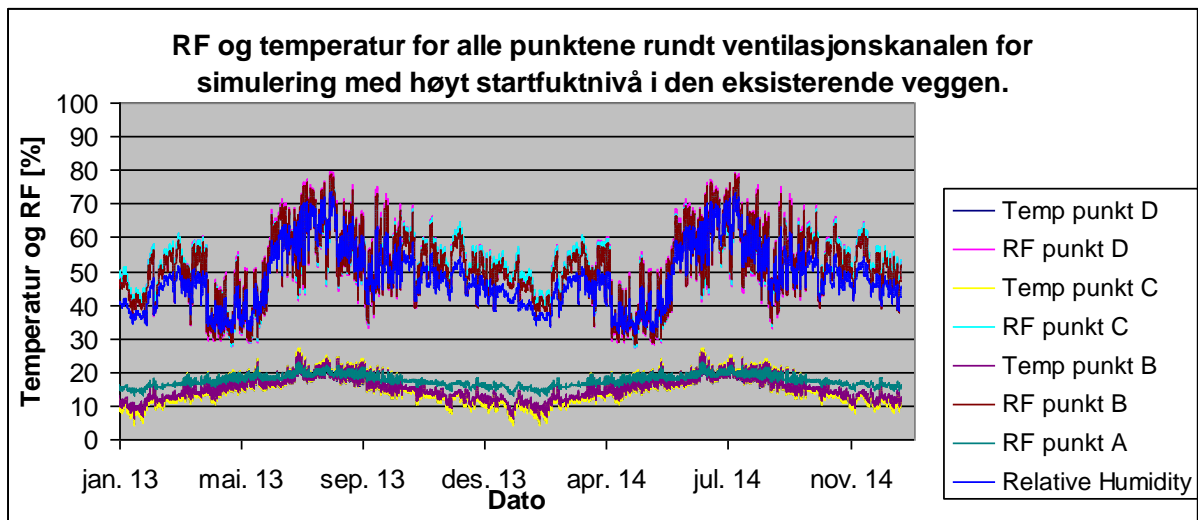
Figur 4. RF og temperatur for alle punktene omkring ventilasjonskanalen med bruk av OSB-plate som vindsperre.

Resultatene viser RF og temperatur for alle de fire punktene rundt kanalen med høy lufthastighet gjennom kanalen:



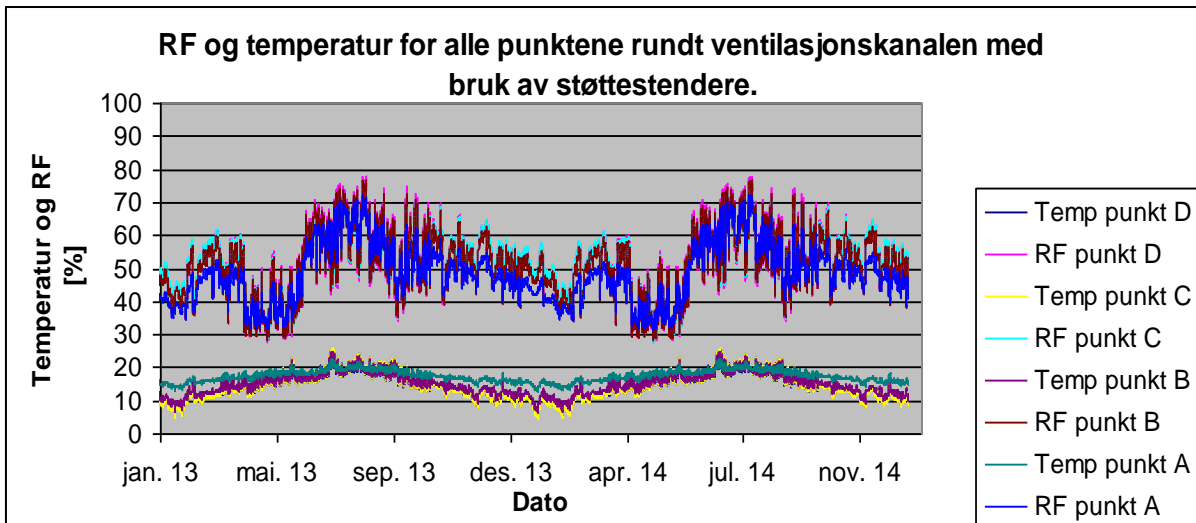
Figur 5. RF og temperatur rundt kanalen med høy lufthastighet.

Resultatene viser RF og temperatur for alle punktene rundt ventilasjonskanalen for simulering med høyt startfuktnivå i den eksisterende vegg:



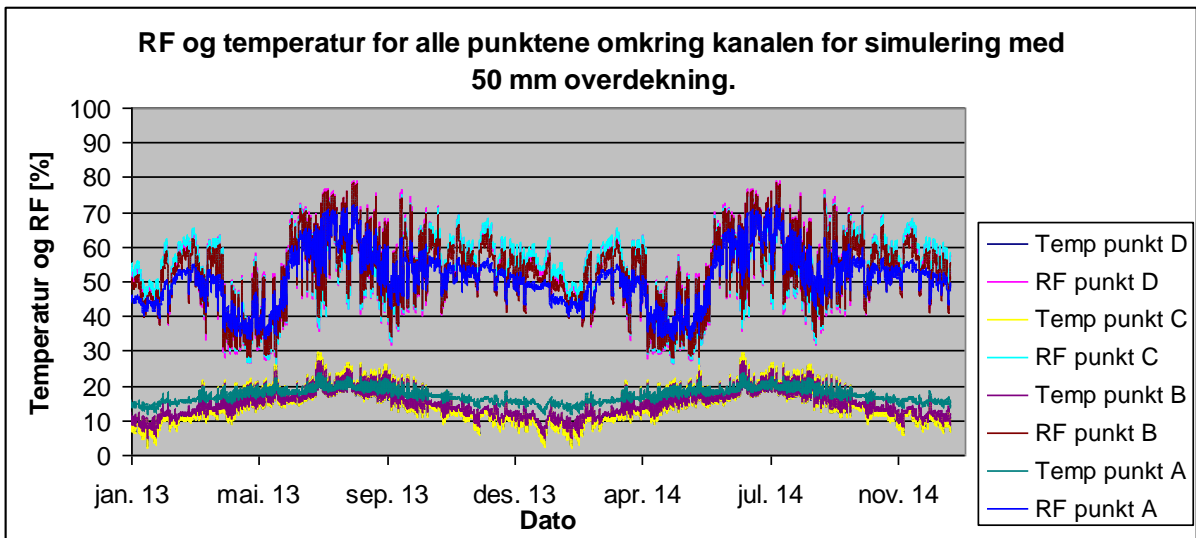
Figur 6. RF og temperatur for alle punktene rundt ventilasjonskanalen for simulering med høyt startfuktnivå.

Resultater for RF og temperatur for alle punktene rundt ventilasjonskanalen med bruk av støttestendere:



Figur 7. RF og temperatur for alle punktene rundt ventilasjonskanalen med bruk av støttestendere.

Resultater for RF og temperatur for alle punktene omkring kanalen for simulering med 50 mm overdekning:



Figur 8. RF og temperatur for alle punktene omkring kanalen for simulering med 50 mm overdekning.