

Maria Færstad Sæbø

Trefasader og brannsikkerhet

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Anne Steen-Hansen

Juni 2022

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Maria Færstad Sæbø

Trefasader og brannsikkerhet

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Anne Steen-Hansen
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Sammendrag

Denne masteroppgaven har tatt for seg brannsikkerhet ved bruk av behandlet trekledning på norske fasader. I Norge er trekledning den klart dominerende typen utvendig fasademateriale til trehus, og de fleste trekledninger behandles for å forbedre holdbarheten. Etter et tilsyn av DiBK i løpet av 2019 og 2020 ble det avdekket at flere produsenter ikke var klar over at EU stiller krav om testing av brannegenskaper for behandlet trekledning. De klassifiserte derfor brannegenskaper for produkter av behandlet trekledning uten nødvendig testing. Tilsynet førte til branntesting av flere produkter av behandlet trekledning, og resultatene viste at flere treprodukter med vanlige behandlinger ikke oppnådde tilfredsstillende brannklassifisering i henhold til regelverket. Et nytt materiale av behandlet trekledning fikk stor oppmerksomhet etter en brann utenfor Bergen i august 2021. Brannen hadde en uvanlig rask brannspredning og bygget sto ikke til å redde. Bygget hadde balkonger som var konstruert i tre og kledd med Kebonykledning, og det ble stilt spørsmål ved om kledningen kunne være en årsak til at brannen ble så kraftig.

Dette har ført til stor usikkerhet rundt bruken av behandlet trekledning. Denne masteroppgaven sikter på å svare på problemstillingen ”*utgjør bruk av behandlet trekledning på norske fasader en uakseptabel brannrisiko?*”. For å svare på dette er det gjennomført et informasjons- og litteraturstudie rundt antennelses- og brannegenskaper for trevirke, og det er gjennomført branntesting i henhold til ISO 5660-1 (konkalorimeter) av ti og to år gammel Kebonykledning og ubehandlet furukledning.

Det er undersøkt om behandlet trekledning har dårligere brannegenskaper enn ubehandlet trekledning med hensyn til antennelse og varmeavgivelse. Branntestingen avdekket at Kebonykledningene hadde dårligere motstand mot å antennes ved eksponering for en ekstern varmeffluks enn det ubehandlet furukledning hadde. En predikert brannklassifisering ble også beregnet, og her oppnådde Kebonykledningene en bedre klassifisering enn ubehandlet furukledning. Varmeavgivelseshastigheten ansees som den viktigste variabelen for å vurdere produkters brennbarhet og brannfare, og to år gammel Kebonykledning hadde betydelig høyere og raskere varmeavgivelse enn de to andre materialene.

Det er videre sett på hvordan treets fuktinnhold påvirker antenneligheten og brannegenskapene. Resultatene fra branntestingen viste at treets fuktinnhold påvirket ulike brannegenskaper i varierende grad. Det tørre materialet var lettere å antenne og hadde en raskere og kraftigere varmeutvikling. Andre egenskaper ble ikke påvirket i nevneverdig grad av fuktinnholdet, som total varmeavgivelse, totalt massetap og predikert brannklassifisering. Det tørre materialet i testingen hadde et fuktinnhold på rundt 3 %, noe som er svært tørt. Trekledning i et nordisk klima vil sjeldent få et så lavt fuktinnhold, og dermed vil fuktinnholdet i trekledningen på et reelt byggverk i Norge trolig være av mindre betydning.

Det er også vurdert om kritisk fluks for antennelse er et godt kriterium for treklednings brannegenskaper. Kritisk fluks for antennelse sier noe om hvor lett materialet antenner ved eksponering for en ekstern varmeffluks, men det sier ikke noe om hvordan materialet oppfører seg etter antennelse. Egenskaper som varmeavgivelse, brannutbredelse og produksjon av brennende dråper eller partikler vil være vel så viktig ved vurdering av treklednings brannegenskaper. Likevel vil kritisk fluks være nyttig ved vurdering av risiko for brannspredning mellom byggverk. Dette fører til at kritisk fluks for antennelse ikke vil være et godt kriterium alene for å vurdere treklednings brannegenskaper, men det vil være nyttig å bruke i kombinasjon med andre kriterier for egenskaper ved brannpåvirkning.

Abstract

This master's thesis has dealt with fire safety issues regarding the use of treated wood cladding on facades in Norway. Wood cladding is the clearly dominant type of exterior facade material for wooden houses in Norway, and most wood claddings are treated to improve their durability. Following an audit by DiBK during 2019 and 2020, it was revealed that several manufacturers were not aware that the EU requires testing of fire properties for treated wood claddings. Fire properties for multiple treated wood cladding products were classified without the required testing. The audit led to fire testing of several products of treated wood cladding which revealed that several wood products with common wood treatments did not achieve an adequate fire classification in accordance with the regulations. A new material of treated wood cladding received much attention after a fire in an apartment block in Bergen in August 2021. The fire had an unusually rapid fire spread. The building had balconies constructed of wood, and the cladding used on the balconies was Kebony cladding. It was later questioned whether the cladding could be a reason for the unusually rapid fire development.

This has led to great uncertainty regarding the use of treated wood cladding. This thesis aims to answer the question "*does the use of treated wood cladding on Norwegian facades constitute an unacceptable fire risk?*". To do so, an information and literature study has been carried out on ignition and fire properties of wood, and fire testing has been carried out in accordance with ISO 5660-1 (cone calorimeter) of Kebony cladding, aged ten and two years, and of untreated pine cladding.

It was investigated whether treated wood cladding has poorer fire properties than untreated wood cladding with regard to ignition and heat release. The fire testing revealed that the Kebony claddings had poorer ignition resistance when exposed to an external heat flux than the untreated pine cladding. A predicted fire classification was also calculated, and the Kebony cladding achieved a better classification than untreated pine cladding. However, the heat release rate is considered the most important variable for assessing the fire hazard of products. Kebony cladding, aged two years, had significantly higher and faster heat release than the other two materials.

Furthermore, it was studied how the moisture content of wood affects the flammability and fire properties. The results revealed that the moisture content of the wood affected different fire properties to varying degrees. The dry material was easier to ignite and had a more rapid and powerful heat release. Other properties were not significantly affected by the moisture content, such as total heat release, total mass loss and predicted fire classification. The dry material had a moisture content of approximately 3 %, which is very dry. Wood cladding in a Nordic climate will rarely have such a low moisture content, and thus moisture content of wood cladding on buildings in Norway will probably be of less importance.

It was also assessed whether critical heat flux for ignition is a good criterion for fire properties of wood cladding. Critical heat flux indicates how easily the material ignites when exposed to an external heat flux, but it does not tell how the material reacts after ignition. Properties such as heat release, fire spread and production of burning droplets will be just as important when assessing the fire properties of wood cladding. Still, critical heat flux can be useful when assessing the risk of fire spread to adjacent buildings. Therefore, critical heat flux for ignition will not be a good criterion alone for assessing fire properties of wood cladding, but it will be useful to use in combination with other criteria for reaction to fire properties.

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet våren 2022 ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU i Trondheim. Oppgaven utgjør det avsluttende arbeidet innen sivilingeniørgraden Bygg- og miljøteknikk, og er skrevet i faget TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave. Masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng innenfor hovedprofilen bygnings- og materialteknikk.

Masteroppgaven omhandler trefasader og brannsikkerhet, og det er gjennomført branntesting av Kebonykledning og ubehandlet furukledning i konkalorimeter for å undersøke materialenes ulike brannegenskaper. Det er vektlagt trevirkets behandling og fuktinnhold, og hvordan disse to faktorene påvirker materialets brannegenskaper. Resultatene fra testingen er også sammenlignet med resultater fra testing i litteraturen.

Jeg ønsker å rette en takk til veileder fra NTNU, Anne Steen-Hansen, for god veiledning og oppfølging gjennom hele semesteret. Jeg ønsker også å takke ekstern samarbeidspartner Marcus Lagerkvist fra Rambøll for støtte og oppfølging. Videre vil jeg takke Edvard Aamodt fra RISE Fire Research for opplæring og god bistand i forbindelse med branntesting til masteroppgaven.

NTNU, Trondheim, 9. juni 2022



Maria Færstad Sæbø

Terminologi

Akronymer og forkortelser

<i>FIGRA</i>	Brannutviklingsindeks (Fire Growth Rate Index), angir hastighet for brannutvikling [W/s].
<i>LFS</i>	Horisontal flammespredning (Lateral Flame Spread) [-].
<i>THR</i>	Total varmeavgivelse (Total Heat Release) [MJ].
F_s	Vertikal flammespredning, høyeste punktet som nås av flammespissen [mm].
<i>SMOGRA</i>	Røykutviklingsindeks (Smoke Growth Rate Index), angir hastighet for røykproduksjon [m^2/s^2].
<i>TSP</i>	Total røykproduksjon (Total Smoke Production) [m^2].
<i>HRR</i>	Varmeavgivelseshastighet (Heat Release Rate) [kW/m^2].

Begreper

Varmefluks	Mengde varmeenergi avgitt, transmittert eller mottatt per arealenhet og per tidsenhet (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2022).
Kritisk fluks for antennelse	Minimum ekstern varmefluks som kreves for å oppnå antennelse, ved hjelp av en gnist eller liten flamme, for et eksponert prøvestykke (Spearpoint mfl., 2001).
Varmeavgivelse	Varmemengde et materiale avgir under forbrenning (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2022).
Varmeavgivelseshastighet (HRR)	Varmemengde som avgis per tidsenhet ved forbrenning av et materiale under angitte prøvingsbetingelser (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2022).
Effektiv forbrenningsvarme	Varmemengde per masseenheter [MJ/kg] som frigjøres ved forbrenning av et materiale under angitte prøvebetingelser (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2022).

Innhold

Sammendrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Terminologi	vii
Figurer	xiii
Tabeller	xiv
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.1.1 Royalsaken	1
1.1.2 Brannen på Lone, august 2021	2
1.1.3 Usikkerhet rundt bruk av behandlet trekledning	3
1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål	4
1.3 Omfang og avgrensning	4
1.4 Leserveiledning	5
2 Metode	7
2.1 Branntesting	7
2.2 Informasjons- og litteraturstudie	8
2.2.1 Gjenbruk av materiale fra prosjektoppgaven	9
2.2.2 Videre informasjons- og litteraturstudie	9
2.2.3 Kildekritikk	10
3 Teori	11
3.1 Tre som ytterkledning	11
3.1.1 Behandling av trekledning	11
3.1.2 Kebony og furfurylering	13
3.2 Regelverk	14
3.2.1 Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)	14
3.2.2 Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (DOK)	16
3.3 Forskjell mellom kledning og overflate	19
3.4 Brannklassifisering av bygningsprodukter	20

3.4.1	Klassifisering av overflater	20
3.5	Prøvmingsmetoder for klassifisering av ytterkledning	22
3.5.1	Klassifiseringskriterier	23
3.5.2	NS-EN 13823 (SBI-testen)	24
3.5.3	NS-EN ISO 11925-2 (Prøving med én enkelt flamme)	25
3.5.4	Brannklassifisering uten ytterligere testing (CWFT)	26
3.6	Treprodukters egenskaper ved brannpåvirkning	26
3.6.1	Antennelighet	28
3.6.2	Kritisk fluks for antennelse	29
3.6.3	Varmeavgivelseshastighet	30
3.7	Fuktopptak i furfurylert tre	31
3.8	Resultater fra branntesting i litteraturen	33
3.8.1	Testing av Kebonykledning	33
3.8.2	Tester av royalimpregnert furukledning	33
3.8.3	Påvirkning av fuktinnhold	34
3.8.4	Grenseverdi kritisk fluks for antennelse	35
3.8.5	FIGRA	36
3.8.6	Effektiv forbrenningsvarme	37
4	Branntesting	39
4.1	Testoppsett	39
4.2	Testmaterialet	41
4.2.1	Prøvestykkenes størrelse	42
4.2.2	Prøvestykkenes fuktinnhold	43
4.3	Testmatrise	44
4.4	Testprosedyrer	45
4.4.1	Tørking	45
4.4.2	Kritisk fluks-tester	45
4.4.3	Fullstendig konkalorimetertest	47
4.5	Beregning av predikert brannklassifisering	48
5	Resultater fra branntesting	49
5.1	Fuktinnhold	49
5.2	Tid til antennelse	50
5.2.1	Kritisk fluks-tester	50
5.2.2	Fullstendige konkalorimetertester	50
5.2.3	Gjennomsnittlig tid til antennelse	51

5.3	Kritisk fluks for antennelse	53
5.4	Densitet og tid til antennelse	55
5.5	Varmeavgivelseshastighet (HRR)	56
5.5.1	Maksimal HRR	58
5.5.2	Total varmeavgivelse (THR)	59
5.6	FIGRA	60
5.7	Totalt massetap	61
5.8	Effektiv forbrenningsvarme	62
5.9	Predikert brannklassifisering	63
5.10	Observasjoner under testing	63
6	Diskusjon	65
6.1	Metodekritikk	65
6.1.1	Usikkerheter ved kritisk fluks-testene	65
6.1.2	Usikkerheter ved de fullstendige konkalorimeterrestene	67
6.2	Forskjeller mellom prøvestykkene	67
6.3	Prøvestykkenes fuktinnhold	68
6.4	Tid til antennelse	70
6.5	Kritisk fluks for antennelse	72
6.6	Densitet og tid til antennelse	74
6.7	Varmeavgivelseshastighet (HRR)	75
6.8	Maksimal HRR	76
6.9	Total varmeavgivelse (THR)	77
6.10	FIGRA	78
6.11	Totalt massetap	79
6.12	Effektiv forbrenningsvarme	80
6.13	Predikert brannklassifisering	82
6.14	Kritisk fluks for antennelse som kriterium for brannklassifisering av trekledning	83
7	Konklusjon	85
7.1	Utgjør bruken av behandlet trekledning på norske fasader en uakseptabel brannrisiko?	87
7.2	Videre arbeid	88
	Referanseliste	89
	Vedlegg	I
A	Systemer for vurdering og verifikasjon av ytelse	I

B	CWFT for panel og kledning av heltre	II
C	Trendlinjer	IV
C.1	Kebony, 10 år	IV
C.2	Kebony, 2 år	VI
C.3	Ubehandlet, 0 år	VIII
D	HRR for hvert materiale	X
E	Sensitivitetsanalyse: kritisk fluks	XII
E.1	Oppsummering	XII
E.2	1800 s i stedet for 1 800 000 s	XIV
E.3	Bruke laveste verdi av resultater med stort sprik	XVII
E.4	3600 s i stedet for 1 800 000 s	XX

Figurer

3.1	Stegene for å lage Kebonytre	13
3.2	Brannpåvirket tre med forkullingslag	27
3.3	Eksempel på bruk av Janssens prosedyre	30
3.4	SEManalyse av ubehandlet tre og furfurylert tre	31
4.1	Testapparat til konkalorimetertesting	39
4.2	Testapparat til konkalorimetertesting på RISE Fire Research i Trondheim	40
4.3	Ti og to år gammel Kebonykledning	41
4.4	Oppbevaringsboks for kondisjonering av vått materiale	43
4.5	Test 73 like etter antennelse.	46
5.1	Tid til antennelse (snitt av to like tester)	51
5.2	Tid til antennelse (snitt for et fuktnivå)	53
5.3	Trendlinje for Kebony 10 år, klimarom	54
5.4	Densitet plottet mot tid til antennelse for fullstendige konkalorimetertester	55
5.5	HRR-kurvene for tester kondisjonert som tørt materiale	56
5.6	HRR-kurvene for tester kondisjonert i klimarom	56
5.7	HRR-kurvene for tester kondisjonert som vått materiale	57
5.8	Maksimal HRR	58
5.9	Total varmeavgivelse (THR)	59
6.1	Test 25 (med kvist) og test 26 (uten kvist)	67
6.2	Test 33 (uten kvist) og test 34 (med kvist)	68

Tabeller

3.1	Preaksepterte ytelser til overflater for risikoklasse 1-6	16
3.2	Systemer for vurdering og verifikasjon av ytelser	19
3.3	Euroklassene og tilleggsklasser	21
3.4	Relevante prøvingsmetoder for ytterkledning	22
3.5	Klassifiseringskriterier for egenskaper ved brannpåvirkning	23
3.6	Resultater fra testing av royalkledning (SBI)	34
3.7	Resultater fra testing av royalkledning (konkalorimeter)	34
3.8	Verdier for kritisk fluks for antennelse av tre i litteraturen	35
3.9	Effektiv forbrenningsvarme for ulike treslag	37
4.1	Bilder av prøvestykker brukt i testingen	42
4.2	Fullstendig testmatrise	44
4.3	Testmatrise for kritisk fluks-tester	46
4.4	Testmatrise for fullstendige konkalorimetertester	47
5.1	Resultatene i oppgaven og hvilken av testene de utledes fra	49
5.2	Resultater fuktinnhold	49
5.3	Tid til antennelse for kritisk fluks-testene	50
5.4	Tid til antennelse for de fullstendige konkalorimetertestene	51
5.5	Tid til antennelse (snitt for materialene ved hvert fluksnivå)	52
5.6	Gjennomsnittlig tid til antennelse for hvert materiale	52
5.7	Kritisk fluks for hvert materiale og fuktnivå	54
5.8	Gjennomsnittlig kritisk fluks for hvert materiale	54
5.9	Beregning av densitet	55
5.10	Gjennomsnittlig maksimal HRR for hvert materiale	58
5.11	Gjennomsnittlig total varmeavgivelse for hvert materiale	59
5.12	FIGRA for fullstendige konkalorimetertester	60
5.13	Gjennomsnittlig FIGRA for hvert materiale	60
5.14	Totalt massetap	61
5.15	Gjennomsnittlig totalt massetap for hvert materiale	61
5.16	Effektiv forbrenningsvarme	62
5.17	Gjennomsnittlig effektiv forbrenningsvarme for hvert materiale	62
5.18	Predikert brannklassifisering	63
6.1	Sensitivitetsanalyse for beregning av kritisk fluks for antennelse	66
6.2	Variablene brukt for beregning av predikert brannklassifisering	82
7.1	Rangering av materialene mht. ulike brannegenskaper	85

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Bakgrunnen for denne masteroppgaven er at det har oppstått stor usikkerhet rundt brann-sikkerheten ved bruk av fadsadekledning av tre. Forfatteren utarbeidet en prosjektoppgave høsten 2021 som undersøkte problemstillingene rundt bruk av behandlet tre som ytterkledning. Spørsmålet rundt brann-sikkerheten ved bruk av trekledning dukket opp som følge av et tilsyn med brannhemmende trekledning utført av Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK) i løpet av 2019 og 2020. Resultatene fra tilsynet ble publisert i en rapport i november 2020 (Direktoratet for byggkvalitet, 2020). Den nevnte prosjektoppgaven danner grunnlaget for videre arbeid med denne masteroppgaven.

Det skilles mellom behandlet trekledning og brannhemmende trekledning. Behandlet trekledning er behandlet for å forlenge levetiden til trevirket ved å beskytte det mot sopp, insekter etc. (SINTEF, 2017). Brannhemmende trekledning er behandlet med brannhemmende overflatebehandling eller brannhemmende impregnering for å bedre kledningens brannegenskaper (Evans, 2005).

1.1.1 Royalsaken

Tilsynet undersøkte produkter av brannhemmende trekledning, og det ble avdekket at flere produkter av brannhemmende trekledning ikke oppnådde den brannklassifiseringen produsenten hadde oppgitt (Direktoratet for byggkvalitet, 2020). Spesielt ble det avdekket at brannhemmende royaloljebehandlet trekledning oppnådde resultater på branntesting som ikke tilfredstilte minimumskravene til overflater i regelverket (Direktoratet for byggkvalitet, 2020).

I forbindelse med tilsynet ble det også oppdaget at flere produsenter av vanlig royaloljebehandlet trekledning, som altså ikke er brannhemmende, deklarerer produktene sine feil i forbindelse med systemet for vurdering og verifikasjon av byggevarers ytelser (Direktoratet for byggkvalitet, 2020).

Dette systemet baserer seg på at mange byggevarer har stor betydning for bygninger, og dermed skal visse byggevarer ha en form for kontroll fra en uavhengig tredjepart (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). Det er fem ulike systemer for vurdering og verifikasjon av ytelse, og disse angir hvilke oppgaver som skal gjøres av produsent, og hva som må utføres av en tredjepart, basert på hvor stor betydning en byggevare har for bygningen. Jo større betydning en byggevare har, jo strengere kontroll blir den underlagt.

Flere produsenter deklarerer altså royaloljebehandlet trekledning, som ikke var brannhemmende, i feil system og oppga at produktene hadde klasse D-s3,d0 for egenskaper ved brannpåvirkning, uten å gjennomføre nødvendig testing av produktet (Direktoratet for

byggkvalitet, 2020).

Dette førte til at tre produsenter av royaloljebehandlet trekledning, heretter kalt royalbehandlet trekledning, gjennomførte en rekke branntestinger av trekledning med ulike behandlinger - beiset, malt og royalbehandlet. Testene ble gjennomført i småskala konkalorimeter i henhold til ISO 5660-1 (International Organization for Standardization, 2015) og mellomskala SBI-test i henhold til NS-EN 13823 (Standard Norge, 2020a). Resultatene fra disse testene er dokumentert i egne rapporter, men oppsummeres i en rapport fra RISE av Steen-Hansen og Mostad (2021).

Resultatene fra testing i henhold til NS-EN 13823 (SBI-testen) avdekket at ingen av de behandlede produktene (royalimpregnert, malt og beiset) tilfredstilte kravene til brannklasse D, som er minimumskravet til utvendige overflater i veiledningen til byggt teknisk forskrift. Resultatene fra testing i henhold til ISO 5660-1 (konkalorimeter) var at fersk royalimpregnert kledning av furu hadde betydelig lavere kritisk fluks for antennelse enn referanseverdien for ubehandlet trekledning. Malt og beiset kledning hadde høyere kritisk fluks enn referanseverdien.

Det at ikke bare royalbehandling, men også vanlige behandlinger som maling og beis, så ut til å påvirke brannegenskapene til trekledningen har skapt stor usikkerhet ved brannsikkerheten ved bruk av tre som kledning i Norge i dag. I prosjektoppgaven ble historiske forskrifter gjennomgått, noe som avdekket at det lenge har vært usikkerhet rundt hvorvidt ulike behandlingsmetoder for trekledning påvirker kledningens brannegenskaper. Etter en gjennomgang av byggeforskrift av 1949, 1965, 1985 og 1987, og teknisk forskrift av 1997 og 2010, ble det tydelig at det har vært usikkerhet om hvordan man skal behandle vanlig overflatebehandling med normal maling i regelverket.

1.1.2 Brannen på Lone, august 2021

Saken rundt behandlet trekledning og brannsikkerhet fikk igjen oppmerksomhet etter en kraftig brann på Lone utenfor Bergen i august 2021. Natt til 7. august ble brannvesenet varslet om brann i et kommunalt boligbygg for rusmiddelmissbrukere på Lone (Larsen, 2021). Da brannvesenet ankom kort tid senere, var allerede fasaden på det fire etasjer høye bygget overtent. Denne brannen fikk så stor oppmerksomhet fordi det ble stilt spørsmål ved hvordan et så moderne bygg fra 2012 kunne ha en slik uvanlig rask brannspredning. Brannen førte til svært store materielle skader, og bygget sto ikke til å redde. Likevel klarte alle beboerne i bygget å redde seg ut uten brannvesenets hjelp og det var ingen skadede eller omkomne. Dette til tross for at alle beboerne var rusmiddelmissbrukere, og dermed regnes som en sårbar gruppe når det kommer til brannsikkerhet.

Brannvesenet har gjennomført en undersøkelse av bygget og brannen for å finne en forklaring på den hurtige brannspredningen og hva som førte til at ingen omkom. Etter denne undersøkelsen ble det pekt på flere sammenfallende faktorer som brannvesenet mener har hatt betydning. En av faktorene var at balkongene på bygget var konstruert i tre og kledd

med Kebonykledning, som er en type behandlet trekledning. En annen faktor var at tørt vær hadde ført spesielt tørt trevirke på balkongene, og at dette var en medvirkende årsak til at brannen spredte seg raskere enn forventet.

Resultatet av tilsynet til DiBK førte som nevnt til branntesting av royalbehandlet trekledning, samt trekledning med maling og beis. Det at ingen av disse produktene tilfredstilte klasse D for egenskaper ved brannpåvirkning har ført til spørsmål om bruken av behandlet trekledning på norske bygg utgjør en uakseptabel brannrisiko. Når det i tillegg oppstår en uvanlig stor brann i et bygg med en annen type trekledning, Kebonykledning, forsterkes denne usikkerheten.

1.1.3 Usikkerhet rundt bruk av behandlet trekledning

I Norge er trekledning den klart dominerende typen utvendig fasademateriale til trehus (Edvardsen mfl., 2014). De aller fleste trekledninger er behandlet på en eller annen måte for at kledningen skal ha bedre bestandighet mot fukt, råte og sopp. Vil det si at ingen av disse bygningene med behandlet trekledning kan regnes som trygge å bo eller oppholde seg i? Kan en i prinsippet ikke behandle trekledningen selv etter at den har kommet opp på veggen, uten å forverre brannegenskapene? Må en kjøpe ferdig behandlet og malt trekledning for at brannsikkerheten skal være tilfredsstillende?

Fra granskningen av Lonebrannen var det flere faktorer Bergen brannvesen trakk frem som mulige grunner til den hurtige brannspredningen. To av disse var bruk av tre i balkongkonstruksjonene og kledning forøvrig, samt spesielt tørt trevirke på tidspunktet. I denne masteroppgaven er det derfor undersøkt nærmere hvordan brannegenskapene til Kebonykledning er sammenlignet med ubehandlet trekledning. Det er gjennomført et informasjons- og litteraturstudie rundt antennelses- og brannegenskaper for trevirke. I tillegg er det gjennomført branntesting i henhold til ISO 5660-1 (konkalorimeter) av Kebonykledning fra bygget i Lonebrannen og ubehandlet furukledning. Faktorer som ble testet var trekledningens behandling, behandlingens alder og treets fuktinnhold.

1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Problemstillingen som utgjør bakgrunnen for denne oppgaven er som følger:

*Utgjør bruk av behandlet trekledning på norske fasader en uakseptabel
brannrisiko?*

Dette er en omfattende problemstilling, så for å avgrense problemstillingen er det formulert tre forskningsspørsmål:

1. Har behandlet trekledning dårligere brannegenskaper enn ubehandlet trekledning med hensyn til antennelse og varmeavgivelse?
2. Hvordan påvirker treets fuktinnhold antenneligheten og brannegenskapene til kledningen?
3. Er kritisk fluks for antennelse et godt kriterium for å vurdere treklednings brannegenskaper?

Målsettingen for oppgaven er å besvare forskningsspørsmålene over. For å svare på forskningsspørsmålene brukes metodene branntesting og informasjons- og litteraturstudie.

Branntesting av Kebonykledning fra Lonebrannen brukes som en metode for å bidra til å svare på de tre forskningsspørsmålene, ettersom denne metoden gir resultater som kan være med på å besvare disse. Informasjons- og litteraturstudiet brukes som metode for å undersøke hva som finnes i litteraturen om brannegenskapene til behandlet trekledning, påvirkning av fuktinnhold og kritisk fluks for antennelse.

1.3 Omfang og avgrensning

Hovedfokuset i denne oppgaven er behandlet trekledning uten brannhemmende egenskaper, som sammenlignes med ubehandlet trekledning. Branntesting er avgrenset til å teste Kebonykledning av furu og fersk ubehandlet furukledning.

Testingen ble gjennomført i henhold til ISO 5660-1 (konkalorimeter). Denne metoden ble valgt fordi det er en velkjent og mye brukt metode som ikke krever store mengder testmateriale. I forbindelse med denne oppgaven var dette svært gunstig da det var en begrenset mengde testmateriale tilgjengelig. Med denne metoden kan man ut fra testing av små prøvestykker få en stor mengde måledata som kan brukes til å modellere større branner, og dermed forutsi materialets oppførsel i en faktisk brann.

1.4 Leserveiledning

Kapittel 2 beskriver metodene som er brukt i oppgaven og bakgrunnen for at disse er valgt. Metodene er informasjons- og litteraturstudie og branntesting.

Kapittel 3 gjennomgår det teoretiske grunnlaget for oppgaven.

Kapittel 4 beskriver branntesting som er gjennomført i forbindelse med denne oppgaven. Først presenteres testoppsettet, testmaterialet og testmatrisen. Videre gjennomgås testprosedyrene for tørking av materiale, kritisk fluks-tester og fullstendige konkalorimetester.

Kapittel 5 presenterer resultatene fra branntesting.

Kapittel 6 består av en diskusjon av resultater fra branntesting. Det gjennomgås usikkerheter ved branntesting og tolkning og diskusjon av resultater fra branntesting opp mot funn i litteraturen.

Kapittel 7 prøver å besvare de tre forskningsspørsmålene og konkluderer ut fra disse.

2 Metode

I denne oppgaven er det brukt to metoder: informasjons- og litteraturstudie og brann-testing. Målsettingen for oppgaven er å besvare forskningsspørsmålene presentert i kapittel 1.2. Informasjons- og litteraturstudiet har dermed blitt benyttet for å danne et teoretisk grunnlag for å bidra til å besvare de tre forskningsspørsmålene, mens branntestingen har gitt direkte resultater.

2.1 Branntesting

Branntestingen i denne oppgaven ble gjennomført i henhold til ISO 5660-1 (konkolorimeter). Denne testmetoden brukes gjerne som grunnlag for brannteknisk modellering (RISE Research Institutes of Sweden, 2022b). Data fra testresultatene kan brukes for å modellere større branner, for eksempel kan en brannsekvens i NS-EN 13823 (SBI) predikeres fra ISO 5660-metoden. Metoden er også mye brukt i produktutvikling ettersom testmetoden gjør det mulig å sammenligne en stor variasjon av måledata. På denne måten kan en finne den varianten av produktet som virker mest lovende å fortsette med for videre testing. En fordel med metoden er dermed at den er kostnadseffektiv når det gjelder produktutvikling og produksjonskontroll. Derfor brukes testing i konkolorimeter også for produksjonskontroll ved tredjepartsverifikasjon.

Ved testing i henhold til ISO 5660-1 blir et prøvestykke på 100 mm x 100 mm eksponert for et bestemt strålingsnivå, en såkalt varmekraft (RISE Research Institutes of Sweden, 2022b). Prøvestykkets eksponerte overflate blir dermed varmet opp og begynner å avgi pyrolysegasser som etter hvert antennes av en gnist. Gassene som avgis samles i en avtrekkshette og transporteres bort gjennom et ventilasjonssystem. Målt oksygenkonsentrasjon i den avgitte røyken brukes for å beregne varmeavgivelsen. Røykproduksjonen måles kontinuerlig gjennom testen ved hjelp av et lasersystem.

Ytelsen til prøvestykket måles med følgende parametre:

- Antennelsesegenskaper
- Varmeavgivelseshastighet (HRR) [kW/m^2]
- Total varmeavgivelse (THR) [MJ/m^2]
- Totalt massetap [g]
- Effektiv forbrenningsvarme [MJ/kg]
- Røykproduksjonshastighet [m^2/s]

En nærmere gjennomgang av testmaterialet, testoppsettet og testprosedyrene blir presentert i kapittel 4. Som nevnt ble denne metoden valgt ettersom man kan få en stor mengde data fra testing av små prøvestykker. Dette gjorde at mange tester kunne gjennomføres med det materialet som var tilgjengelig. Videre ble denne metoden valgt ettersom resultatene kan brukes til å predikere resultater det samme materialet ville hatt i en test i større

skala. Målet med testingen var følgende:

- Undersøke antennelses- og brannegenskaper for ti og to år gammel Kebonykledning og sammenligne med referansetester av fersk ubehandlet furukledning.
- Vurdere hvordan kledningens behandling påvirker brannegenskapene i testingen, og også om behandlingens alder påvirker brannegenskapene.
- Vurdere hvordan kledningens fuktinnhold påvirker brannegenskapene i testingen.
- Finne kritisk fluks for antennelse for testmaterialet.
- Beregne en antatt brannklassifisering fra testresultater i konkalorimeteret.

2.2 Informasjons- og litteraturstudie

Som beskrevet i kapittel 1.1 utarbeidet forfatteren en prosjektoppgave høsten 2021 som dannet grunnlaget for denne masteroppgaven. Prosjektoppgaven hadde samme tittel, *Trefasader og brannsikkerhet*. Målet med prosjektoppgaven var å sette seg inn i problemstillingene rundt bruk av tre som ytterkledning, med fokus på overflatebehandlet og impregnert tre. I forbindelse med prosjektoppgaven ble det derfor gjennomført et litteratursøk og litteraturstudie.

Et litteraturstudie er en grundig granskning og tolkning av litteraturen som finnes om et bestemt tema eller fagområde (NTNU, 2022b). Dette ble vurdert som en passende metode for prosjektoppgaven, ettersom målet var å sette seg inn i problemstillingene som finnes rundt fasadekledninger av tre. I litteratursøket ble det forsøkt å finne relevant litteratur ved å bruke tre utvalgte søkemotorer, og det ble definert relevante søkeord. Søkemotorene som ble anvendt var Google Scholar, Scopus og Science Direct, og de definerte søkeordene ble brukt på alle tre søkemotorene.

Først ble det søkt på generelle begreper, som *trekledning brann*, *wood cladding fire* og *wooden facade fire* for å finne overordnet informasjon. Disse søkene ga svært mange resultater, så søket ble videre snevret inn ved å søke på blant annet *behandlet trekledning*, *royalbehandlet trekledning* og *treated wood cladding fire*. Det ble også sett på regelverk, tidligere byggeforskrifter og brannklassifisering av ytterkledning.

Etter litteratursøket ble dokumentene gjennomgått for å filtrere ut hvilke dokumenter som var relevante, og hvilke som ikke var det. Dette ble gjort ved å lese gjennom sammendragene, se hvor dokumentene var publisert og hvilket år de var fra.

2.2.1 Gjenbruk av materiale fra prosjektoppgaven

Resultatene fra litteraturstudiet har videre blitt brukt som et teoretisk grunnlag i denne masteroppgaven. Alle dokumentene funnet til prosjektoppgaven ble ikke anvendt, ettersom problemstillingen for masteroppgaven ble bestemt å kun omhandle behandlet trekledning som ikke har brannhemmende egenskaper. Dermed var ikke dokumenter som omhandlet brannhemmende trekledning relevant.

Ettersom prosjektoppgaven dannet grunnlaget for videre arbeid med masteroppgaven, er dermed noe informasjon i masteroppgaven hentet fra prosjektoppgaven. Prosjektoppgaven er ikke offentlig, så for at leseren skal inneha all nødvendig informasjon for å forstå det som beskrives i denne oppgaven, er all relevant informasjon fra prosjektoppgaven inkludert.

Teorikapittelet i denne masteroppgaven bygger derfor videre på relevant informasjon fra prosjektoppgaven. Noe er hentet direkte fra prosjektoppgaven, men det meste er omarbeidet og det er lagt til ny teori. Teori som er hentet direkte fra prosjektoppgaven er overordnet og generell teori som ansees som relevant for masteroppgaven, for eksempel om behandling av trekledning. Teori som er basert på prosjektoppgaven, men omarbeidet delvis eller fullstendig i forbindelse med masteroppgaven, er teori om regelverk, brannklassifisering av bygningsprodukter og noen av prøvingsmetodene for brannklassifisering.

De delene av oppgaven som er hentet direkte fra prosjektoppgaven er:

- Kapittel 3.1: Teorien frem til der 3.1.2 begynner
- Kapittel 3.6: De tre første avsnittene
- Kapittel 3.6.1: De to første avsnittene

2.2.2 Videre informasjons- og litteraturstudie

Gjennom arbeidet med masteroppgaven er det også gjennomført et fortløpende informasjons- og litteraturstudie for å tilføre relevant litteratur der det var behov. Som nevnt ble branntesting av kebonykledning og ubehandlet furukledning brukt som en metode i denne oppgaven. Derfor har det blitt gjennomført litteratursøk for å finne informasjon som er relevant for branntesting av ytterkledninger, for eksempel teori som omhandler konkalorimeter og faktorer som påvirker treprodukters egenskaper ved brannpåvirkning. I tillegg har informasjon om hvordan Kebonytre lages blitt gjennomgått, samt litteratur om hvordan behandlingen påvirker fuktopptaket i treet. Det er også funnet resultater fra branntesting av andre treprodukter for å danne et sammenligningsgrunnlag for resultatene i denne oppgaven.

Dette informasjons- og litteraturstudiet ble gjennomført ved å bruke spesifikke søkeord, slik at søket resulterte i mest mulig relevante resultater. Etter søk ble dokumentene med titler som virket relevante gjennomgått, først ved å lese sammendraget, og dersom dokumentet fortsatt virket relevant ble det gjennomgått nøyere.

I tillegg er noe litteratur tilsendt fra veileder, blant annet litteratur om kritisk fluks for antennelse og prosedyrer for å beregne dette, samt metode for å beregne en predikert brannklassifisering fra resultater i konkalorimeteret.

2.2.3 Kildekritikk

Som nevnt ble dokumentene gjennomgått for å filtrere ut hvilke som var relevante. En annen viktig faktor ved vurdering av relevante dokumenter var kildekritikk. Kildekritikk betyr å vurdere avsenderen av informasjon og hvor troverdig denne informasjonen er (Orgeret, 2021). I prinsippet er kildekritikk å stille to kritiske spørsmål: ”hvem er kilden?” og ”hvor troverdig er det som sies akkurat her?”.

Det skilles normalt mellom kilden, også kalt avsenderen, og kildematerialet, som er det som formidles (Orgeret, 2021). I kildekritikken stilles det ofte spørsmål knyttet til forholdet mellom kilden og kildematerialet, for eksempel hvordan kilden påvirker kildematerialet. Validering av litteraturen i litteratursøket ble derfor gjort ved å bruke TONE-prinsippet (NTNU, 2022a). Dette prinsippet går ut på å bruke fire kriterier for å vurdere informasjonens kvalitet og relevans (Orgeret, 2021):

- Troverdighet
- Objektivitet
- Nøyaktighet
- Egnethet

Disse kriteriene ble brukt for å vurdere litteraturen. Ved troverdighet menes det om kilden er til å stole på (Overland, 2018). Det ble derfor vurdert hvem forfatteren var og om dette var lett å finne, samt hvor dokumentet var publisert. Med objektivitet menes det om kilden er nøytral. Dette ble vurdert ved å undersøke hva forfatterens hensikt var da han eller hun skrev teksten og om informasjonen ble formulert på en nøytral måte. Ved vurdering av nøyaktighet menes det om det finnes spor etter juks eller slurv. En vurdering ble derfor gjort av om teksten inneholdt skrivefeil eller slurv og om forfatteren oppga kildene sine. Egnethet betyr å sjekke om kilden gir deg svarene du trenger. Dette ble gjort ved å lese over sammendraget først, for så å gjøre en vurdering om dokumentet passet til formålet før en nøyere gjennomlesing ble gjort.

3 Teori

I dette kapitlet blir relevant bakgrunnsteori presentert for å danne et teoretisk grunnlag for oppgaven. Først beskrives ulike behandlingsmetoder for ytterkledning av tre, regelverket som omhandler ytterkledning og brann, brannklassifisering av bygningsprodukter og prøvingsmetoder for klassifisering av ytterkledning. Videre beskrives treprodukters egenskaper ved brannpåvirkning og hvordan behandlingsmetoden furfurylering påvirker fukt-opptaket i trevirket. Avslutningsvis gjennomgås resultater fra tidligere utført branntesting av forskjellige trekledninger.

3.1 Tre som ytterkledning

Tre har vært benyttet som kledningsmateriale i Norge siden begynnelsen av 1600-tallet (Øvrum, 2022). Dette gjør at problemstillingen rundt trekledning og brannsikkerhet involverer svært mange bygninger i Norge i dag, både små og store bygg. Ikke minst involverer den boliger, ettersom tre er et vanlig kledningsmateriale for eneboliger og rekkehus.

De vanligste treslagene å bruke er gran og furu (Øvrum, 2022). Gran har gode fuktavvisende evner, men veldig hurtigvokst gran kan ha høyt fuktupptak. Furu har kjerneved som er regnet som veldig godt kledningsmateriale på grunn av evnen til å motstå oppfukting, mens yteveden tar lett opp fuktighet og kan gi misfarging og blæring i overflatebehandlingen. Yteved er den ytre lysere delen av veden i trestammen, og ligger utenfor kjerneveden (*yteved* 2021).

Overflaten til en ubehandlet trekledning vil over tid tæres bort av vær og vind (Jacobsen, 2009). Når ubehandlet trevirke eksponeres utendørs vil lyset sette i gang en fotokjemisk nedbrytning. Etter en stund vil det ytre sjiktet være mer porøst og sugende. Dette sjiktet vil beskytte treet innenfor mot videre lysnedbrytning, men ikke mot vanninntrengning. Gjennom oppfukting og tørking kan deformasjoner og sprekkdannelser dannes, samt at sopp kan utvikle seg og føre til misfarging og råte. Derfor brukes ofte ulike beskyttelsesmetoder for å gjøre trevirket mer motstandsdyktig mot vanninntrengning, og dermed forlenge levetiden. Disse metodene har derfor som intensjon å forbedre kledningens bestandighet, men ikke å forbedre brannegenskapene.

3.1.1 Behandling av trekledning

Behandlingsmetoder som brukes i Norge for å forlenge levetiden til trevirke kan deles inn i tre kategorier: overflatebehandling, trykkimpregnering og modifisering.

Overflatebehandling kan utføres ved at beskyttelsesmiddelet påføres ved påstrykning med pensel, påsprøyting eller dypping (SINTEF, 2017). Dette beskyttelsesmiddelet inneholder soppgifter og insektgifter. Det trekker kun inn i de aller ytterste lagene av trevirket,

ca. 2-3 mm, når det påføres på overflaten, og derfor kan senere sprekkdannelser eller skader som går dypere enn behandlingen føre til fukt- og insektsskader. Dette gjør at overflatebehandling ikke beskytter det dypereliggende, ubehandlede trevirket. Derfor bør trevirket være tørt nok til at sprekkdannelsen allerede har skjedd før man bruker overflatebehandling, samt at det må være ferdig bearbeidet.

Trykkimpregnering utgøres ved at impregneringsmidlene presses inn i yteveden i trevirket under trykk, noe som gir en betydelig bedre beskyttelse enn overflatepåføring (SINTEF, 2017). Valg av trykkprosess avhenger av hvor dypt impregneringsmiddelet skal presses inn i trevirket, samt av hvor stort opptak som trengs for å gi ønsket impregneringsklasse. Ulike impregneringsprosesser er trykkimpregnering med vannløste midler, kreosotimpregnering og vakuumimpregnering med oljeløste midler. De to sistnevnte brukes henholdsvis til stolper som skal stå i sjøvann og for å impregnere vinduer.

Som nevnt i kapittel 1.1 ble det oppdaget at trekledning som var royalbehandlet hadde dårligere brannegenskaper enn ubehandlet trekledning. Royalimpregnering er en kombinasjon av trykkimpregnering med vannløste midler, som regel kobbersalter, etterfulgt av oljebehandling der trevirket kokes i olje under vakuum (SINTEF, 2017). Royalimpregnert trevirke er derfor innoljet på alle sider og får vannavvisende egenskaper, noe som gir forbedret bestandighet. Royalolje består av rundt 50 % petroleumbasert olje og 50 % linolje.

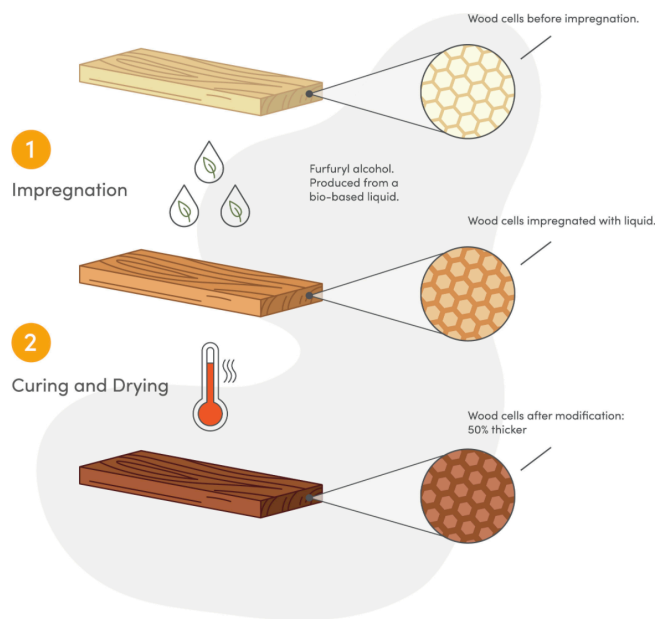
Modifisering er en kjemisk, biologisk eller fysisk behandling av trevirke som bidrar til å forbedre trevirkets egenskaper (SINTEF, 2017). Egenskaper som kan forbedres gjennom modifisering er biologisk holdbarhet, dimensjonsstabilitet, UV-stabilitet og/eller hardhet.

- Termisk modifisering, også kalt varmebehandling, er metode som går ut på å varme opp trevirket til rundt 180-250 °C ved redusert tilgang på oksygen. Ved økt temperatur øker den biologiske holdbarheten og dimensjonsstabiliteten til trevirket, mens styrkeegenskaper kan reduseres. Med denne metoden blir hele tverrsnittet i trevirket modifisert. Det finnes flere produsenter av varmebehandlet kledning i Norge, blant annet WoodLink og Moelven.
- Ved kjemisk modifisering impregneres trevirket med kjemikalier som reagerer kjemisk inne i trevirket, og det er kun den delen av trevirket som er impregnerbar som blir modifisert. Ulike typer kjemisk modifisering er acetylering og furfurylering som begge gir økt biologisk holdbarhet, hardet og dimensjonsstabilitet. I Norge produseres furfurylert trevirke av Kebony ASA, mens kommersiell produksjon av acetylert trevirke foregår ved et anlegg i Nederland under handelsnavnet Accoya (TreFokus, 2022).

I tillegg er en type behandling **etterbehandling** med maling, beis og lignende. Dette gjøres i hovedsak av estetiske grunner, som valg av farge, på ikke-bærende konstruksjoner, som utvendige kledninger (SINTEF, 2017).

3.1.2 Kebony og furfurylering

I denne oppgaven er det gjennomført branntesting av Kebonykledning fra brannen på Lone. Som nevnt over produserer Kebony furfurylert trevirke. Furfurylering er en todelt prosess, først blir trevirket impregnerert med furfurylalkohol, som er et restprodukt fra sukkerproduksjon, deretter blir trevirket tørket og herdet ved oppvarming til over 100 °C (Norsk institutt for bioøkonomi, 2017). Denne herdingsprosessen fører til at en polymer, altså lange kjeder av furfurylalkohol, kryssbindes til treets cellevegg. Dette gjør at trevirket får økt holdbarhet og levetid, samt mindre svelling og krymping. Prosessen for å produsere Kebonytre vises i figur 3.1.



Figur 3.1: Stegene for å lage Kebonytre, hentet fra Kebonys nettside (Kebony Norge, 2022b).

Denne prosessen fører til at Kebonytre består av permanent tykkere og mer stabile cellevegger slik at det får egenskapene til tropisk hardved (Kebony Norge, 2022d). Hardved brukes som en betegnelse på treslag som vokser saktere og som vanligvis har høyere densitet enn mykved (Accoya, 2018). Eksempler på trær som regnes som hardved er eik og teak. Slike trær har en mer kompleks struktur, noe som fører til at de har høyere styrke og holdbarhet, samt at de har en naturlig værbestandighet.

Behandlingen er ikke vannavvisende, noe som vil si at vann fortsatt trenger inn i treet når det regner (Lande, 2022). Det tar imidlertid kortere tid å tørke ut Kebonykledning enn malt kledning, noe som gjør at Kebonykledning er mer motstandsdyktig mot råte. Som nevnt tidligere er det bare den delen av treet som er impregnerbar som blir modifisert, og dette er også tilfellet for Kebonytre, da dette er furu. For furukledninger er det yteveden som er behandlet, og ikke kjerneveden. Yteveden er den ytre, lyseste delen av veden i trestammen, mens kjerneved er den eldre, innerste delen (*yteved* 2021) (Helgheim, 2022).

Det finnes ulike Kebonyprodukter som kan brukes som utvendig kledning, Kebony Clear og Kebony Character (Kebony Norge, 2022e). Disse produktene får en dyp brunfarge som følge av av impregneringsprosessen, men etter eksponering for sol og regn utvikles det en naturlig sølvgrå patina. I følge deres produktdatablader har Kebonykledningene brannklassifisering D-s2,d0, og fuktinnholdet er 8-14 % (Kebony Norge, 2022a).

Utbredelse av Kebony i Norge

I følge salgsavdelingen til Kebony Norge har Kebony ca. under 10 % markedsandel på kledning i Norge i dag (Lande, 2022). Kebony leverer på offentlige bygg som skoler, barnehager, omsorgsboliger etc., samt næringsbygg, leilighetsbygg, eneboliger og hytter. Kebonykledning blir også brukt på andre bygg som har trekledning, som avfallsanlegg, renseanlegg, kraftverk og lignende. De selger rundt 8000-8500 m³ årlig av sine produkter i Norge.

3.2 Regelverk

3.2.1 Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)

I Norge er det Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift) av 2017 som setter minimumskravene til et byggverk for at det skal kunne oppføres lovlig (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017). Forskriften angir funksjonskrav, noe som vil si overordnede formål som skal oppfylles i det ferdige byggverket, og disse kan gjelde byggverket som helhet eller kun bygningsdeler og installasjoner. Funksjonskravene er angitt kvalitativt og er i mange tilfeller også fortolket og gitt som ytelseskrav i forskriften, eller som preaksepterte ytelser i veiledningen til forskriften (VTEK) (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Preaksepterte ytelser er ytelser gitt av Direktoratet for byggkvalitet, og de vil enten oppfylle eller bidra til å oppfylle ett eller flere av funksjonskravene i byggteknisk forskrift. TEK17 er delt inn i kapitler som tilsvarer ulike fagområder, og det er *Kapittel 11. Sikkerhet ved brann* som angir de branntekniske kravene til et byggverk.

Risikoklasse og brannklasse

Det stilles ulike krav til hvert enkelt byggverk ut fra byggverkets risikoklasse og brannklasse. Byggverkets risikoklasse fastsettes ut fra den trusselen en brann kan innebære for skade på liv og helse (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Risikoklassene skal legges til grunn for prosjekteringen og utførelsen slik at rømning og redning blir sikret ved brann. Fastsettelsen av risikoklasse avhenger blant annet av om byggverket er beregnet for varig personopphold, om det er beregnet for overnatting og om personer i byggverket er kjent med rømningsforholdene. I veiledningen til § 11-2. *Risikoklasser* er det angitt en tabell med eksempler på virksomheter og hvilken risikoklasse de tilhører. Eksempelvis vil

en arbeidsbrakke tilhøre risikoklasse 1, kontor risikoklasse 2, bolig risikoklasse 4, mens et sykehus tilhører risikoklasse 6.

Videre plasseres byggverk eller ulike deler av et byggverk i brannklasser. Brannklassen fastsettes ut fra den konsekvensen en brann kan innebære for skade på liv, helse, miljøet og samfunnsmessige interesser (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Brannklassen legges til grunn for prosjekteringen og utførelsen slik at blant annet byggverkets bæreevne er sikret ved en brann. Jo høyere brannklasse, jo større konsekvens vil en brann innebære. Konsekvensen ved brann avhenger av byggverkets risikoklasse, antall personer, byggverkets størrelse etc. I veiledningen til § 11-3. *Brannklasser* er det gitt en tabell som viser sammenhengen mellom risikoklasse, antall etasjer i byggverket og byggverkets brannklasse.

Krav til utvendig kledning

Bestemmelsene som er relevant for utvendig kledning er angitt i veiledningen til TEK17 § 11-9. *Materialer og produkters egenskaper ved brann*. I denne paragrafen er det to ledd som angir funksjonskrav:

1. Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det er liten sannsynlighet for at brann skal oppstå, utvikle og spre seg. Det skal tas hensyn til byggverkets bruk og den nødvendige tiden for rømning og redning.
2. Materialer og produkter skal ha egenskaper som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det skal legges vekt på muligheten for antennelse, hastigheten av varmeavgivelse, røykproduksjon, utvikling av brennende dråper og tid til overtenning.

Veiledningen til første ledd beskriver at bruken av utvendige overflater og kledninger har betydning for utvikling og spredning av brann. Mens innvendige, synlige overflater gjerne involveres tidlig i et brannforløp og har størst betydning for personsikkerheten, vil utvendige overflater på fasader som regel bli involvert senere i et brannforløp. De utvendige overflatene vil kunne bidra til brannspredning mellom byggverk eller mellom ulike deler av et byggverk.

Veiledningen til annet ledd har seks seksjoner som omhandler forskjellige materialer og produkter. For utvendige kledninger er det seksjon E *Utvendige overflater* som er relevant. Det beskrives her at utvendige overflater på vegger normalt ikke vil ha en avgjørende betydning tidlig i brannforløpet, med mindre byggverket antennes utvendig. Likevel kan utvendige overflater ha stor betydning for brannspredningen dersom brannen har blitt mer omfattende og går til overtenning.

Preaksepterte ytelser for utvendige overflater er som følgende:

1. Utvendige overflater er tilfredsstillende når det benyttes produkter med egenskaper som angitt i tabell 1A og 1B, med unntak gitt i nr. 2 til 4.
2. Yttervegg i byggverk i brannklasse 2 og 3 kan ha utvendig overflate som tilfredsstillende klasse D-s3,d0 [Ut 2], når enten
 - a. ytterveggen er utformet slik at den hindrer brannspredning i fasaden, eller
 - b. byggverket er i risikoklasse 1, 2 og 4 og har inntil fire etasjer, og det er liten fare for brannspredning til og fra nabobyggverk.
3. Overflater i hulrom i ytterveggkonstruksjoner betraktes på samme måte som utvendig overflate og må ha minst like gode branntekniske egenskaper.
4. Byggverk i brannklasse 1 og boliger inntil 3 etasjer kan ha uklassifiserte overflater i hulrom.

Tabell 1A i veiledningen angir preaksepterte ytelser for ulike områder og bygningsdeler i risikoklasse 1-5, mens 1B angir det samme for risikoklasse 6. For utvendige overflater er de angitte minimumsyttelsene de samme for risikoklasse 1-5 og 6, og yttervegg i byggverk skal derfor ha utvendig overflate som oppfyller ytelsene gitt i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Ytelser til overflater for risikoklasse 1-6 i henhold til preaksepterte ytelser i VTEK.

Overflater og kledninger	Brannklasse		
	1	2	3
Overflate på ytterkledning	D-s3,d0 [Ut 2]*	B-s3,d0 [Ut 1]*	B-s3,d0 [Ut 1]*

*Yttelsene angitt i klammeparentes angir hva de norske klassifiseringsbetegnelse i henhold til NS 3919:1997 tilsvarer i det europeiske systemet for klassifisering av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning.

3.2.2 Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (DOK)

Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk, også kalt Byggevareforskriften (DOK), inneholder regler for dokumentasjon og omsetning av produkter til byggverk - byggevarer, løfteinnretninger og varmtvannskjeler (Byggevareforskriften (DOK), 2013). Veiledning om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk er gitt av Direktoratet for byggkvalitet (2022). Forskriften er delt inn i fem ulike kapitler som inneholder krav til forskjellige produkter. Kapittel I og V inneholder fellesbestemmelser og gjelder derfor for alle produkter til byggverk. Kapittel II inneholder krav om og regler for CE-merking av byggevarer. Dette kapitlet gjennomfører byggevareforordningen (forordning (EU) nr. 305/2011) i norsk rett. CE-merking gjelder for alle byggevarer hvor det finnes en harmonisert standard, eller for byggevarer hvor produsentent har valgt å få utført en europeisk teknisk bedømmelse av produktet.

Videre inneholder forskriftens kapittel III krav om dokumentasjon for byggevarer som ikke er CE-merket. Dette er for byggevarer hvor det ikke finnes en harmonisert standard eller produsenten ikke har valgt å få utført en europeisk teknisk bedømmelse. Kapittel IV inneholder krav om dokumentasjon og CE-merking av løfteinnretninger og varmtvannskjeler, og vil ikke bli gjennomgått i denne oppgaven.

Byggevareforordningen

Byggevareforordningen definerer regler for omsetning og markedsføring av byggevarer i EØS-området (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). Forordninger er en type lovgivning fra EU som benyttes direkte i medlemslandene. Ettersom Norge ikke er en del av EU, men er tilknyttet gjennom EØS-avtalen, gjelder ikke forordninger fra EU direkte. Derfor må byggevareforordningen gjøres til norsk rett ved lov eller forskrift, noe kapittel II i DOK gjør. Forordninger inkluderes ordrett inn i den nasjonale lovgivningen, og derfor gjelder de i alle EØS-landene på lik linje med hvert lands egne lover.

I hovedtrekk fastsetter byggevareforordningen regler om (Direktoratet for byggkvalitet, 2022):

- De grunnleggende kravene til byggverk som byggevarene skal vurderes opp mot
- Hvordan produsentene skal angi byggevarens ytelser på bakgrunn av harmoniserte tekniske spesifikasjoner (harmoniserte standarder og europeiske bedømmelsesdokumenter)
- Regler for CE-merking av byggevarer og ytelseserklæring
- Forpliktelser til markedsdeltakere som gjør byggevarer tilgjengelig på EØS-markedet
- Systemer for vurdering og verifikasjonen av byggevarens ytelser (som pålegger ulike oppgaver til produsenter og tekniske kontrollorgan)
- Krav til organer som foretar tredjepartsvurderinger og verifikasjon av byggevarens ytelser (tekniske kontrollorgan)

Byggevarer defineres som varer og byggesett som produseres og omsettes med hensikt til å inngå permanent i byggverk eller deler av byggverk (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). Slike produkters ytelser påvirker byggverkets ytelse når det gjelder de grunnleggende kravene til byggverket. Alle byggevarer må ha dokumenterte egenskaper for å kunne omsettes. Det er tre fremgangsmåter for å utarbeide produktokumentasjon (Direktoratet for byggkvalitet, 2020):

1. Byggevaren er dekket av en harmonisert produktstandard slik at CE-merking er obligatorisk. I tillegg skal en ytelseserklæring følge byggevaren når den omsettes.
2. Byggevaren er ikke dekket av en harmonisert produktstandard, men produsenten kan frivillig CE-merke sine byggevarer ved å skaffe seg en europeisk teknisk bedømmelse, ETA (European Technical Assessment). Når en byggevare er CE-merket kan det fritt omsettes i hele EØS-området. Dersom produsenten velger å CE-merke byggevaren må også en ytelseserklæring i henhold til denne ETA-en følge byggevaren når den

omsettes.

3. Byggevarer er ikke dekket av en harmonisert produktstandard og produsenten velger å ikke CE-merke byggevarer gjennom en ETA. Her krever norsk rett at byggevarer uansett skal ha dokumenterte egenskaper som reguleres av kapittel 3 i byggevarerforordningen. Disse byggevarer skal ikke, og kan ikke, ha CE-merking eller ytelseserklæring. De må derimot følges av produktdokumentasjon som inneholder lignende informasjon, men det finnes ingen formkrav til denne dokumentasjonen.

Det finnes en harmonisert produktstandard for trekledning, NS-EN 14915:2013 *Panelbord og kledningsbord av heltre. Egenskaper, evaluering av samsvar og merking*. Dette gjør at behandlet trekledning må dokumenteres som første punkt over, med CE-merking og ytelseserklæring.

Systemer for vurdering og verifikasjon av ytelse

Ettersom mange byggevarer har stor betydning for bygninger er det bestemt at visse byggevarer skal ha en form for kontroll fra en uavhengig tredjepart (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). Kontrollen skal gjennomføres av en uavhengig tredjepart, et teknisk kontrollorgan som er utpekt av et EØS-land. I veiledningen til byggevarerforordningen er det angitt fem ulike systemer for vurdering og verifikasjon av ytelse.

Disse systemene angir hvilke oppgaver som skal gjøres av produsent, og hva som må utføres av en tredjepart, basert på hvor stor betydning en byggevarer har for bygningen (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). Jo større betydning en byggevarer har, jo strengere kontroll blir den underlagt. For eksempel vil byggevarer som har svært stor betydning for bygningen plasseres i system 1+, og da stilles det krav til at en uavhengig tredjepart, et produktsertifiseringsorgan, blant annet fastsetter produktets ytelser, gjennomfører inspeksjon av produksjonsanlegget og har tilsyn, vurdering og evaluering av produksjonskontrollen i fabrikk. Videre finnes systemene 1, 2+, 3 og 4, med gradvis mindre strenge krav til kontroll. For byggevarer plassert i system 4 kan produsenten fastsette produktets ytelser og gjennomføre produksjonskontroll i fabrikk selv.

Det er EU-kommisjonen som fastsetter hvilket av de fem systemene for vurdering og verifikasjon av ytelse som gjelder for ulike produktgrupper (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). Harmoniserte produktstandarder inneholder opplysninger om hvilket system produktet tilhører. For eksempel plasseres brannhemmende trekledning i system 1 (Direktoratet for byggkvalitet, 2020).

Som nevnt i kapittel 1.1 avdekket DiBK under tilsynet at flere produsenter av royaltbehandlet trekledning deklarerer produktene i system 4 (Direktoratet for byggkvalitet, 2020). De oppga at produktet hadde klasse D-s3,d0 for egenskaper ved brannpåvirkning, uten å gjennomføre nødvendig testing. I henhold til NS-EN 14915:2013 plasseres behandlet trekledning i system 3. System 3 og 4 for vurdering og verifikasjon av ytelse er oppsummert i tabell 3.2, mens tabellen fra veiledningen til byggevarerforordningen er vist i vedlegg A.

Tabell 3.2: Systemer for vurdering og verifikasjon av ytelser (SINTEF, 2016).

System	Beskrivelse
4	Gjelder for produkter hvor egenskapene vurderes å være mindre kritiske for det ferdige byggverket. F.eks. produkter som har mindre betydning for sikkerhet og helse. Produsenten kan selv gjennomføre produksjonskontroll i fabrikk og fastsette produktets ytelser. CE-merking av produktet kan utføres av produsent uten å involvere et teknisk kontrollorgan.
3	Gjelder for samme produkter som system 4. Produsenten kan selv gjennomføre produksjonskontroll i fabrikk. Krever at et teknisk kontrollorgan skal vurdere produktets ytelser på grunnlag av typeprøving i et prøvingslaboratorium, beregninger eller beskrivende dokumentasjon. Deretter kan produsenten CE-merke produktet.

3.3 Forskjell mellom kledning og overflate

I denne oppgaven brukes begrepene ytterkledning og trekledning hyppig. I brannteknisk sammenheng skilles det likevel mellom kledning og overflate, og begrepene defineres i TEK17 i innledning til kapittel 11 *Sikkerhet ved brann*.

Kledning defineres som en byggevare som benyttes innvendig eller utvendig på en vegg, eller på undersiden av en etasjeskiller.

Overflate defineres som det ytterste tynne sjiktet av en bygningsdel, altså det du kan ta på. Dette kan være et overflatesjikt som dannes av maling, tapet eller lignende. Underlaget som dette sjiktet er plassert på har stor betydning for brannegenskapene til overflaten. Derfor må overflate ses i sammenheng med underlaget, som sponplate, gipsplate, isolasjonsmateriale etc. En overflate i seg selv kan derfor ikke få en brannklassifisering. Klassifiseringen for overflate gjelder for det endelige produktet, altså kombinasjonen av overflaten og underlaget som denne er plassert på. Dette vil si at klassifiseringen for overflate gjelder for overflate med underliggende kledning.

Når det snakkes om krav til ytterkledning er det dermed kravet til overflate som gjelder, som er presentert i tabell 3.1, ettersom overflate ses i sammenheng med underlaget. Det samme gjelder når det i oppgaven snakkes om klassifisering for trekledning, dette gjelder for hele treproduktet, altså kledningen med behandling eller overflatesjikt.

3.4 Brannklassifisering av bygningsprodukter

I brannteknisk prosjektering er det to kategorier av branntekniske egenskaper som er relevante (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Dette er bygningsdelers brannmotstand, og materialers og produkters egenskaper ved brannpåvirkning. Det er etablert felles prøvingsmetoder og klassifiseringskriterier for branntekniske egenskaper i hele EØS-området.

Disse felles europeiske klassene for produkters branntekniske egenskaper og for bygningsdelers brannmotstand er beskrevet i ulike standarder. Klassifisering av bygningsdelers brannmotstand gjelder for en rekke bygningsdeler, blant annet bærende bygningsdeler med eller uten brannskillende funksjon, produkter og systemer for beskyttelse av bygningsdeler og vegg- og himlingskledninger med brannbeskyttende evne (Standard Norge, 2016). Denne klassifiseringen vil derfor ikke være relevant for kledning uten brannhemmende egenskaper. Standarden som gjelder for klassifisering av ytterkledning/overflater er NS-EN 13501-1:2018 *Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler. Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning*.

Byggevarers og bygningsdelers egenskaper ved brannpåvirkning klassifiseres i ”Euroklasser” for å kunne skille mellom hvordan ulike produkter påvirker brannforløpet (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Egenskaper som vurderes er hvor raskt og i hvilken grad produktet bidrar i en brann og hvilken røykproduksjon det gir. Som nevnt tidligere er det etablert felles europeiske prøvingsmetoder og tilhørende brannklasser for byggevarers og bygningsdelers egenskaper ved brannpåvirkning, og disse ble innført fra og med 2000.

3.4.1 Klassifisering av overflater

For overflater er hovedklassene A1, A2, B, C, D, E og F, mens tilleggsklassene s1, s2 og s3 angir røykproduksjon og d0, d1 og d2 angir produksjon av brennende dråper (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). En forklaring av de ulike hovedklassene og tilleggsklassene er vist i tabell 3.3. Grunnlaget for klassifiseringen er prøving som dokumenterer tid til overtenning, varmeavgivelse, røykproduksjon, brannutbredelse og brennende dråper eller partikler. Minste tid til overtenning for referansescenariet i Room Corner test (ISO 9705) skal være 20 minutter for klasse A- og B-produkter, 12 minutter for klasse C-produkter, 10 minutter for klasse D-produkter og 2 minutter for klasse E-produkter.

Tabell 3.3: Beskrivelse av euroklassene og tilleggsklasser (Steen-Hansen og Mostad, 2021).

Euroklasse	Ytelse
F	Produkter som ikke kan klassifiseres i noen av klassene A1, A2, B, C, D eller E.
E	Produkter som i et kort tidsrom kan motstå eksponering av en liten flamme uten at det oppstår vesentlig flammespredning.
D	Produkter som tilfredsstillende klasse E, og som samtidig kan motstå flammeksponering i et lengre tidsrom uten at det oppstår vesentlig flammespredning. Produktene skal også kunne gi tilstrekkelig forsinket begrenset varmeavgivelse når de eksponeres for et brennende objekt (SBI - Single Burning Item).
C	Som klasse D, men med strengere kriterier. Produktene skal også ha begrenset horisontal flammespredning.
B	Som klasse C, men med strengere kriterier.
A2	Skal tilfredsstillende de samme kriteriene som klasse B for SBI-metoden. Produkter skal i tillegg ikke gi signifikante bidrag til brannenergi eller brannvekst.
A1	Produkter i klasse A1 skal ikke bidra i noen fase av brannen, dette gjelder også i den fullt utviklede brannen. Det antas derfor at et slikt produkt automatisk vil tilfredsstillende alle krav til de lavere klassene.
Tilleggsklasse	Ytelse
s3	Ingen krav til begrenset røykproduksjon.
s2	Både total røykproduksjon og hastigheten for produksjon av røyken er begrenset.
s1	Produkter skal tilfredsstillende strengere krav enn tilleggsklasse s2.
d2	Ingen krav til brennende dråper og biter.
d1	Ingen brennende dråper eller biter får eksistere lenger enn en gitt tillatt tid.
d0	Det er ikke tillatt med brennende dråper eller biter.

3.5 Prøvingsmetoder for klassifisering av ytterkledning

Som nevnt klassifiseres overflater i henhold til NS-EN 13501-1. Denne standarden angir hvilke prøvingsmetoder som skal anvendes for å klassifisere produkters egenskaper ved brannpåvirkning. Testmetodene som er relevante for ytterkledning presenteres i tabell 3.4.

Tabell 3.4: Relevante prøvingsmetoder for ytterkledning (Standard Norge, 2019).

Prøvingsmetode	Resultat	Relevant for
NS-EN ISO 1182 (Prøving av ubrennbarhet)	Identifiserer produkter som ikke vil, eller ikke signifikant vil, bidra til en brann, uavhengig av deres sluttbruk.	Klasse A1 og A2
NS-EN ISO 1716 (Bestemmelse av forbrenningsvarme (brennverdi))	Bestemmer den potensielle maksimum totale varmeavgivelsen til et produkt når det brenner fullstendig, uavhengig av dets sluttbruk.	Klasse A1 og A2
NS-EN 13823 (SBI-testen)	Vurderer det potensielle bidraget fra et produkt til utviklingen til en brann under en brannsituasjon som simulerer ett enkelt brennende objekt i et romhjørne nær produktet.	Klasse A2, B, C og D. Relevant for A1 under visse spesifiserte forhold.
NS-EN ISO 11925-2 (Prøving med én enkelt flamme)	Vurderer antennelsen til et produkt under eksponering av en liten flamme.	Klasse B, C, D, E og F

Problemstillingen i denne oppgaven omhandler ytterkledning av tre uten brannhemmende egenskaper. Minimumskravet for slik utvendig kledning i VTEK er D-s3,d0. Dermed er det prøving i henhold til NS-EN 13823 (SBI) og NS-EN ISO 11925-2 som er relevant. For klassifisering av ubrennbare produkter (klasse A1) og produkter med svært lav brennbarhet (klasse A2) kreves det prøving i henhold til andre teststandarder. Disse vil ikke bli beskrevet nærmere i denne oppgaven.

Tilleggsklassene s1, s2 og s3 for røykproduksjon utledes fra måledata innhentet fra testing i henhold til NS-EN 13823 (SBI). Tilleggsklassene d0, d1 og d2 for brennende dråper eller biter utledes fra måledata innhentet fra testing i henhold til ulike standarder avhengig av hvilken klassifisering produktet har. For klasse E kan d2 utledes fra testing i henhold til NS-EN ISO 11925-2. For klasse B, C og D kan d0, d1 eller d2 utledes fra testing i henhold til NS-EN ISO 11925-2 og NS-EN 13823 (SBI).

3.5.1 Klassifiseringskriterier

NS-EN 13501-1 angir også klassifiseringskriterier for hver klasse. Dette vil si hvilke ytelsesnivåer hver parameter i testmetodene må oppnå for at produktet kan klassifiseres i de ulike klassene. Klassifiseringskriteriene for klasse C, D, E og F presenteres i tabell 3.5 ettersom de er mest relevante for trekledning uten brannhemmende egenskaper. Symboler som brukes i klassifiseringskriteriene og i prøvingsmetodene beskrevet i kapittel 3.5.2 og kapittel 3.5.3 forklares først slik at leseren får forståelse for det som beskrives videre. Definisjonene er hentet fra Standard Norge (2019) om ikke annet er oppgitt.

<i>FIGRA</i>	Brannutviklingsindeks. Indeksen sier noe om hvor fort en brann utvikler seg (Steen-Hansen og Hovde, 2000). Baserer seg på at mye varme avgitt i løpet av kort tid utgjør en stor trussel. FIGRA beregnes ved å dividere den maksimale varmeavgivelsen med tiden det tar å nå maksimal varmeavgivelse.
<i>FIGRA_{0,4MJ}</i>	Terskelverdi for FIGRA. Dette brukes for å unngå feilklassifisering av produkter som antenner svært raskt, men som ikke avgir så mye varme, da dette normalt vil gi en høy FIGRA-verdi (Steen-Hansen og Hovde, 2000). Terskelverdien er bestemmende for om FIGRA skal beregnes eller ikke. Dette betyr at for Euroklasse C og D beregnes FIGRA etter at total varmeavgivelse har overskredet 0,4 MJ.
<i>LFS</i>	Horisontal flammespredning.
<i>THR₆₀₀</i>	Total varmeavgivelse de første 600 sekundene av testen.
<i>F_s</i>	Vertikal flammespredning, høyeste punktet som nås av flammespissen.
<i>SMOGRA</i>	Røykutviklingsindeks. Indeksen sier noe om hvor fort en brann utvikler seg (Steen-Hansen og Hovde, 2000). Baserer seg på at mye røyk produsert i løpet av kort tid er et faremoment som bør unngås.
<i>TSP_{600s}</i>	Total røykproduksjon de første 600 sekundene av testen.

Tabell 3.5: Klassifiseringskriterier for klasse C, D, E og F for egenskaper ved brannpåvirkning for byggprodukter unntatt gulvbelegg og lineære isolasjonsprodukter for rør (Standard Norge, 2019).

Klasse	Testmetode(r)	Klassifiseringskriterie
C	NS-EN 13823, og	$FIGRA_{0,4MJ} \leq 250$ W/s, og $LFS <$ kanten av prøvestykket, og $THR_{600s} \leq 15$ MJ
	NS-EN ISO 11925-2 ^a : eksponering = 30 s	$F_s \leq 150$ mm i løpet av de første 60 s
D	NS-EN 13823, og	$FIGRA_{0,4MJ} \leq 750$ W/s
	NS-EN ISO 11925-2 ^a : eksponering = 30 s	$F_s \leq 150$ mm i løpet av de første 60 s
E	NS-EN ISO 11925-2 ^a : eksponering = 30 s	$F_s \leq 150$ mm i løpet av de første 20 s
F	NS-EN ISO 11925-2 ^a : eksponering = 15 s	$F_s > 150$ mm i løpet av de første 20 s

^a Under forhold med overflateflammeangrep, og kantflammeangrep hvis det er hensiktsmessig for sluttbruken av produktet.

Tilleggsklasser for røykproduksjon

Tilleggsklasse for røykproduksjon anvendes kun for produkter klassifisert som A2, B, C og D og utledes fra testing i henhold til NS-EN 13823 (SBI).

- **s1:** $SMOGRA \leq 30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ og $TSP_{600s} \leq 50 \text{ m}^2$.
- **s2:** $SMOGRA \leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$, og $TSP_{600s} \leq 200 \text{ m}^2$.
- **s3:** dersom ingen ytelse er deklarerert, eller for produkter som ikke tilfredsstiller s1 eller s2.

Tilleggsklasser for brennende dråper eller biter

Tilleggsklasse for produksjon av brennende dråper eller partikler anvendes kun for produkter klassifisert som A2, B, C og D.

- **d0:** ingen brennende dråper/partikler ila. 600 s når testet i henhold til NS-EN 13823.
- **d1:** ingen brennende dråper/partikler som vedvarer lenger enn 10 s ila. 600 s når testet i henhold til NS-EN 13823.
- **d2:** dersom ingen ytelse er deklarerert, eller hvis produktet enten:
 - ikke samsvarer med d0- eller d1-klassifiseringskriterene gitt over, eller
 - antenner papiret i NS-EN ISO 11925-2.

3.5.2 NS-EN 13823 (SBI-testen)

Som vist i tabell 3.4 brukes SBI-testen for klassifisering av produkter i klasse A2, B, C og D. Denne prøvingsmetoden er angitt i standarden NS-EN 13823:2020 *Prøving av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning. Byggeprodukter (unntatt gulvbelegg) som utsettes for termisk påkjennning fra en brennende gjenstand.*

Testprinsippet er at et testeksemplar, bestående av to vertikale vinger, en lang og en kort, som danner et rettvinklet hjørne, eksponeres for flammer fra en propanbrenner plassert nederst i hjørnet (Standard Norge, 2020a). Dimensjonene på testeksemplaret skal være slik at kort vinge er $(495 \pm 5) \text{ mm} \times (1\,500 \pm 5) \text{ mm}$, mens lang vinge er $(1\,000 \pm 5) \text{ mm} \times (1\,500 \pm 5) \text{ mm}$. Testeksemplaret skal ikke være tykkere enn 200 mm.

Testen foregår over 20 minutter, og ytelsen til testeksemplaret måles med følgende parametre:

- Varmeavgivelse
- Røykproduksjon
- Horisontal flammespredning
- Produksjon av brennende dråper eller partikler

Forbrenningsgassene samles opp i en avtrekkshette hvor varmeavgivelseshastighet og røykproduksjon blir målt (RISE Research Institutes of Sweden, 2022c). Produktets varmeutvikling brukes dermed til å beregne varmeavgivelseshastigheten (HRR), total varmeavgivelse

(THR) og FIGRA. Mengden røyk produsert brukes til å beregne røykproduksjonshastigheten (SPR), total røykproduksjon og SMOGRA. I tillegg gjøres visuelle observasjoner for å vurdere horisontal flammespredning og om det er produksjon av brennende dråper og partikler.

3.5.3 NS-EN ISO 11925-2 (Prøving med én enkelt flamme)

Som presentert i tabell 3.4 brukes prøving med én enkelt flamme for klassifisering av produkter i klasse B, C, D, E og F. Denne prøvingsmetoden er angitt i standarden NS-EN ISO 11925-2:2020 *Prøving av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning. Antennelighet av byggeprodukter ved direkte påvirkning av flamme. Del 2: Prøving med én enkelt flamme.*

Denne testmetoden måler antenneligheten til produktet som testes når det utsettes for en liten flamme (RISE Research Institutes of Sweden, 2022a). Dimensjonene på prøvestykket skal være (250 ± 2) mm x (90 ± 2) mm (Standard Norge, 2020b). Prøvestykkens tykkelse skal være 60 mm eller mindre. Prøvestykker som er tykkere enn 60 mm skal kuttes til å bli 60 mm ved å fjerne uekspontert overflate, mens prøvestykker som er tynnere enn 60 mm skal testes i full tykkelse. Testen gjennomføres inne i et testkammer hvor prøvestykket monteres vertikalt (RISE Research Institutes of Sweden, 2022a). Prøvestykket utsettes deretter for kant- og/eller overflateeksponering fra en liten gassflamme.

Testens varighet er 20 eller 60 sekunder, avhengig av hvor lang flammeeksponering det er bestemt å bruke (Standard Norge, 2020b). Dette bestemmes av en sponsor for testingen. Ved 15 sekunder flammeeksponering skal den totale varigheten av testen være 20 sekunder fra tiden flammene er i kontakt med prøveeksemplaret. Ved 30 sekunders flammeeksponering skal den totale varigheten være 60 sekunder. Ytelsen til prøvestykket måles med følgende parametre:

- Om og når antennelse oppstår.
- Om flammene overskrider 150 mm over flammeeksponeringspunktet, og tiden når dette skjer.
- Produksjon av brennende dråper eller partikler som forårsaker antennelse av filterpapiret.
- Observasjoner av prøvestykkets fysiske oppførsel.

3.5.4 Brannklassifisering uten ytterligere testing (CWFT)

I tillegg til de nevnte prøvingsstandardene beskriver også NS-EN 13501-1 at Europakommisjonen har utarbeidet en liste over produkter som under spesifiserte forhold kan antas å være klasse A1 uten testing (Standard Norge, 2019). Dette gjelder for produkter som åpenbart er ubrennbare, som glass, metall og stein, og de kan derfor ”klassifiseres uten ytterligere testing” gjennom prosedyren for CWFT - classified without further testing (Steen-Hansen og Mostad, 2021). Dette gjelder også for enkelte andre produkter som man har lang erfaring med, og der kunnskapen om brannegenskapene er godt dokumentert. Det er blant annet utarbeidet en CWFT for panel og kledning av heltre (Europakommisjonen, 2006). Tabellen som gjelder for trepanel og trekledning vises i vedlegg B.

For å kunne klassifisere et treprodukt uten testing forutsettes det at produktet tilfredsstiller alle kriteriene som er angitt i denne bestemmelsen (Steen-Hansen og Mostad, 2021). Slike kriterier kan være type treslag, minimum tykkelse, minimum densitet, beskrivelse av montering, luftespalte bak kledningen og skjøter i sluttbruken av produktet.

Etter det ble avdekket at flere store produsenter i Norge ikke har vært klar over at EU stiller krav om testing av brannegenskaper for behandlet trekledning, har det i 2022 blitt bestemt at EU-kommisjonen skal revidere reglene for testing av behandlet trekledning (Kommunal- og distriktsdepartementet, 2022). EU-kommisjonen har bekreftet at det er krav til testing av brannegenskaper av trekledninger som er overflatebehandlet av produsenten. Dette betyr at produsenten kun kan klassifisere brannegenskaper uten testing for produkter av ubehandlet heltre.

3.6 Treprodukters egenskaper ved brannpåvirkning

Tre er et brennbart materiale, men det brenner forutsigbart og det er dermed opparbeidet god kjennskap til hvordan tre brenner (Glasø mfl., 2022). Tre brenner med tilnærmet konstant hastighet, og etter hvert som tre brenner vil det dannes et forkullende lag som beskytter det bakenforliggende og friske trevirket.

Tre inneholder fuktighet, så for at det skal brenne må fuktigheten reduseres (Glasø mfl., 2022). Når tre blir varmet opp vil vannet i trevirket drives ut, så temperaturen vil ikke øke mer før alt vannet i treet har fordampet. Tre brenner når temperaturen overstiger rundt 200 °C (Norsk institutt for bioøkonomi, 2022). Etter denne temperaturen er nådd vil gasser frigjøres og antennes når det er en flamme til stede. En vanlig brann er ofte en kombinasjon av en pyrolyse og vanlig forbrenning. Pyrolyse er kjemisk nedbrytning av et stoff ved påvirkning av varme (Standard Norge, 2017). Brann vil forkulle overflaten til trevirket, og dette kullsjiktet isolerer det friske treet under (Norsk institutt for bioøkonomi, 2022). Dette bremser pyrolyseprosessen i de underliggende lagene. Innbrenningshastigheten, altså den hastigheten som forbrenningen forplanter seg med innover i dybden av trematerialet, er konstant og avhenger av trevirkets densitet.



Figur 3.2: Brannpåvirket tre med forkullingslag (Glasø mfl., 2022).

Følgende skjer ved økende temperatur i trevirket (Glasø mfl., 2022):

- **Ca. 110-230 °C:** Termisk dekomposisjon av trevirket begynner, noe som vil si at en del av treets bestanddeler omdannes til ulike gasser som karbondioksid, karbonmonoksid og forskjellige syrer. Først ved 150-160 °C skjer nedbrytningen raskt og treet får en tydelig mørk farge.
- **Ca. 230-260 °C:** Flammepunktet nås, altså den temperaturen hvor treets letteste gasser kommer i kontakt med luft og antennes. Ved denne temperaturen kan ikke forbrenning holde seg selv i gang.
- **Ca. 260-290 °C:** Brennpunktet nås, her har gassene fått en sammensetning og temperatur som gjør at det foregår en forbrenning med varmeoverskudd.
- **Ca. 350-450 °C:** Selvantennelse skjer, noe som vil si at gassene som kommer i kontakt med luft vil antennes uten tilstedeværelse av flammer. Ved rundt 500 °C består gassene i hovedsak av hydrogen, karbonmonoksid og tjæredamp.

Selv om tre er et brennbart materiale, kan trekonstruksjoner ha gode branntekniske egenskaper (Östman, König mfl., 2012). Som nevnt tidligere vil det ved forbrenning av tre danne seg et kullsjikt som reduserer varmeoverføringen og beskytter det bakenforliggende, friske treet. Brannegenskapene til trematerialer som overflatemateriale påvirkes av flere faktorer, men de viktigste gjennomgås her og er hentet fra Östman, König mfl. (2012) om ikke annet er angitt.

Treets fuktinnhold påvirker brannegenskapene, men det vil vanligvis ikke forandre brannklassen ettersom alt tremateriale skal være kondisjonert til et konstant fuktinnhold ved branntesting. Kondisjonering av et tremateriale betyr å få prøvestykket til å oppnå en ønsket tilstand før prøving (*kondisjonere* 2020). Dette dreier ofte om å få materialet til å ha rett temperatur og fuktighet.

Treslag og densitet. Forskjellige treslag kan ha ulik brannoppførsel, og den viktigste fysiske faktoren er treets densitet. Treslag som har høyere densitet kan ha bedre brannegenskaper, men egenskaper som varmeutvikling og tid til antennelse påvirkes også av treslag og dets mikrostruktur.

Dimensjoner, tykkelse og tverrsnitt. Trematerialer som ansees som termisk tykke, altså har en tykkelse på mer enn 10 mm, har mer forutsigbare brannegenskaper enn tynnere materialer. Det er ikke slik at økende tykkelse hos trematerialet forbedrer brannegenskapene, men tre med tykkelse mindre enn 10 mm kan ha dårligere brannegenskaper.

Tremateriale, trekompositter. Noen tradisjonelle trekompositter, som kryssfiner, sponplater og OSB, har lignende brannegenskaper som tre fordi den faktoren som i hovedsak påvirker deres brannegenskaper er densiteten. Produkter som har lav densitet antennes fortere og har en raskere brannutvikling enn trekompositter som har høy densitet. Andre, nyere materialkombinasjoner har man ikke like god kjennskap til og er derfor mindre forutsigbare.

Behandlinger (overflatebehandling, impregnering, brannbeskyttelsesbehandling). Som nevnt tidligere behandles ofte trematerialer med overflatebehandling eller impregnering for å beskytte mot mikrobiologisk nedbrytning. Tradisjonell trebeskyttelsesbehandling påvirker ikke brannoppførslen i merkbar grad. Overflatebehandling kan svekke treproduktets brannklasse, så for slike produkter må brannklassen bestemmes gjennom prøving.

Tremodifisering (varmebehandling, furfurylering, acetylering) kan ofte svekke trematerialets brannegenskaper noe. Dette skyldes først og fremst et lavere fuktinnhold, men vanligvis opprettholdes samme brannklasse. Likevel kan en kombinasjon med andre faktorer føre til klasse E. Hvert enkelt produkt må bedømmes separat.

Skjøter/falser mellom ulike deler av treproduktene kan påvirke brannegenskapene.

3.6.1 Antennelighet

En viktig egenskap når man vurderer trematerialers brannegenskaper er antennelighet. Antennelighet er et mål på hvor lett et prøvestykke kan antennes av en ekstern varmekilde under angitte prøvingsbetingelser (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2022). Tre kan antennes ved direkte flammepåvirkning, det kan antenne etter en glødefase som etterfølges av flammer eller ikke flammer, og det kan antenne ved at det er i kontakt med varme objekter (Fjær mfl., 2021). Antennelighet av tre avhenger av blant annet trevirkets densitet, fiberretningen, fuktinnhold, overflatestruktur og termisk treghet (evnen til å ta opp varme). Forhold i omgivelsene vil også påvirke, blant annet temperatur, vindforhold og eksponering fra brannen.

Det skilles mellom to antennelsesmekanismer. Ved pilotantennelse antenner materialet ved hjelp av en gnist eller en liten flamme, mens ved spontanantennelse skjer antennelsen av materialet fordi temperaturen i materialet har nådd spontanantennelsestemperaturen for materialet (Stensaas, 2007). Ved spontanantennelse skjer antennelsen altså uten flamme eller gnist, men på grunn av ytre varmeeksponering.

Metoden for branntesting i denne oppgaven utsetter treet for en ekstern varmekraft fra et varmeelement og gnist for å fremprovosere en antennelse. En varmekraft er definert som mengde varmeenergi avgitt, transmittert eller mottatt per arealenheter og tidsenhet (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2022). Antennelse ved denne metoden er dermed en pilotantennelse på grunn av gnist. Derfor fokuseres det videre på karakteristikker forbundet med materialers egenskaper ved pilotantennelse.

3.6.2 Kritisk fluks for antennelse

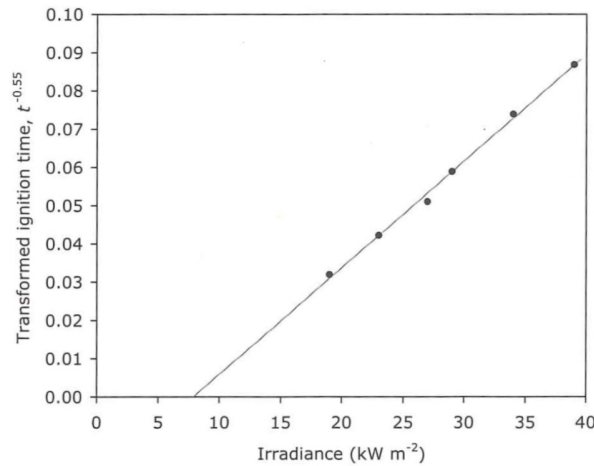
Ved pilotantennelse skilles det mellom to svært viktige egenskaper, minimum varmekraft for antennelse og kritisk varmekraft for antennelse (Janssens, 1991). Minimum varmekraftnivå for antennelse er det laveste nivået av varmestråling som kan gi antennelse, mens kritisk fluks for antennelse er et varmestrålingsnivå hvor antennelse vil ta uendelig lang tid (Steen-Hansen og Mostad, 2021). Minimum varmekraftnivå for antennelse kan i flere tilfeller være betydelig høyere enn kritisk varmekraft for antennelse.

Janssens prosedyre, 1991

I 1966 ble det observert at data fra antennen av drivgasser ved høy strålings- eller konvektiv varmekraft kunne korreleres ved å plote varmekraften på x-aksen, kvadratroten av tid til antennelse (t_{ign}) på y-aksen og trekke en linje med stigningstall $-0,92$ mellom punktene (Babrauskas, 2003). Dette tilsvarer å plote varmekraft på x-aksen og $t_{ig}^{-0,543}$ på y-aksen.

Janssens gjenopplaget denne korrelasjonen i 1991, men han fortsatte med å utvikle den basert på et mer solid matematisk grunnlag (Babrauskas, 2003). Prosedyrene utviklet av Janssens er i dag den beste metoden for å analysere antennesdata for termisk tykke faste stoffer og for å interpolere eller ekstrapolere fra disse resultatene.

Hans matematiske utledninger hadde stor betydning for den praktiske anvendelsen av data for antennelse ved eksponering for stråling (Babrauskas, 2003). De antydte at om eksperimentelle data plottes med varmekraftnivået langs x-aksen og $t_{ig}^{-0,55}$ langs y-aksen, så vil dataene ende på en rett linje. Et eksempel hvor dette er gjort vises i figur 3.3. Skjæringspunktet mellom denne linjen og x-aksen vil da være kritisk fluks for antennelse.



Figur 3.3: Eksempel på bruk av Janssens prosedyre på polyetylen, hvor $t^{-0,55}$ er plottet på y-aksen og varmekraft på x-aksen (Babrauskas, 2003).

Den lineære linjen vil bestå av en funksjon $y = ax - b$. Materialets kritiske fluks for antennelse kan dermed beregnes ved å bruke ligning 1.

$$\dot{q}_{cr}'' = b/a \quad (1)$$

Noen materialer vil ikke få resultater som legger seg på en rett linje når det plottes på måten beskrevet over (Babrauskas, 2003). Dette skyldes at korrelasjonen kun gjelder for termisk tykke materialer. Et termisk tykt materiale er et fast stoff der temperaturen på ueksponert side ikke vil øke når det eksponeres for en varmekraft på den motsatte siden (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2022). Dersom materialet er for tynt vil datapunktene ved høyere varmekrafter falle langs en rett linje, mens datapunktene ved lavere varmekrafter vil avvike og ligge over denne linjen (Babrauskas, 2003).

Janssens foreslår at det i slike tilfeller kun brukes datapunkter som faller på en rimelig rett linje for å utlede termiske egenskaper (Babrauskas, 2003). Dersom et materiale er så tynt at det kan regnes som termisk tynt over mesteparten av eksponeringsområdet, bør det behandles som termisk tynt og det bør anvendes en annen metode.

3.6.3 Varmeavgivelseshastighet

I en brannsituasjon avhenger bidraget fra brennbare materialer til en brann tydelig av varmeavgivelseshastigheten (HRR) (Dietenberger mfl., 2016). En varmeavgivelseshastighet er varmemengde som avgis per tidsenhet ved forbrenning av et materiale under angitte prøvingsbetingelser (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2022).

Ved testing i konkalorimeter (ISO 5660-1), vil ubehandlet tre ha økende HRR som når en topp kort etter antennelse (Dietenberger mfl., 2016). Når treet eksponeres for en konstant varmekraft vil HRR videre avta til en lavere og semi-konstant HRR. Dette skyldes

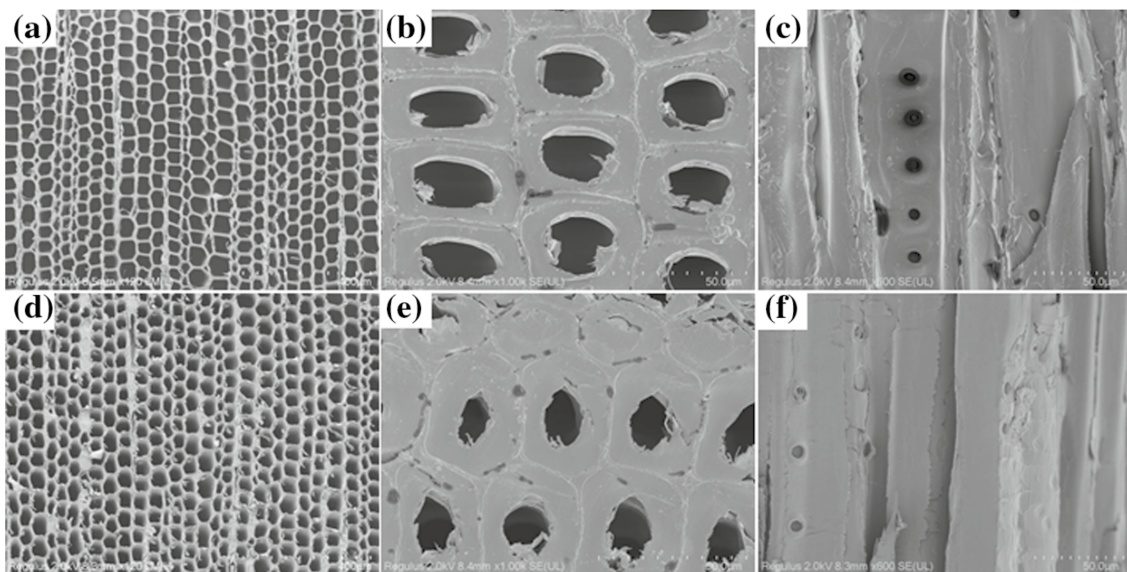
kullsjiktet som dannes på overflaten av trevirket som gir varmeisolasjon mot brannen og reduserer forkullingshastigheten, og dermed også HRR. Prøvestykker av tre som testes med en isolerende bakside vil i tillegg få en ny topp i HRR på grunn av at kullsjiktet sprekker opp og nytt, frisk trevirke blir eksponert slik at man får en økning i HRR igjen.

Babrauskas og Peacock (1992) har tidligere konkludert med at varmeavgivelseshastighet er den viktigste variabelen for å vurdere produkters brennbarhet og brannfare. Denne konklusjonen er basert på typiske brannhistorier som demonstrerer at selv om dødsfall i branner primært forårsakes av giftgasser er likvel varmeavgivelseshastigheten den beste prediktor for brannfare. Videre ble det også konkludert med at forsinkelser i antennelsestid kun har en liten effekt på utviklingen av brannfare.

3.7 Fuktopptak i furfurylert tre

Fuktopptak, også kalt absorpsjon, er når en væske eller en gass trenger inn i et annet stoff og fordeler sine molekyler jevnt over det indre av stoffet (*absorpsjon (kjemi)* 2020). Det skiller mellom opptak av flytende vann og opptak av vanndamp (Hundhausen, 2022) (Geving, 2021). I denne oppgaven vil det fokuseres på opptak av vanndamp, og videre presenteres resultater fra undersøkelser i litteraturen om hvordan furfurylering påvirker treets fuktopptak.

Yang mfl. (2022) undersøkte effektene furfurylering av tre har på fuktopptaket og fukt-kondisjonering av tre. Det ble testet furu impregnert med furfurylalkohol, og dette ble sammenlignet med ubehandlet tre. Det ble brukt en SEM-analyse (Scanning Electron Microscopy) for å studere prøvestykkenes struktur etter furfurylering. Porestrukturen til furfurylert tre og ubehandlet tre vises i figur 3.4.



Figur 3.4: SEM-analyse av tverrsnitt (a)(b) og radialsnitt (c) av ubehandlet tre, og tverrsnitt (d)(e) og radialsnitt (f) av furfurylert tre (Yang mfl., 2022).

Det er tydelig at det furfurylerte treet, nederst i bildet, har tykkere cellevegger enn det ubehandlede treet. Dette demonstrerer effekten av furfurylering, som ble beskrevet i kapittel 3.1.2, at furfurylalkoholen binder seg til celleveggene og fører til permanent tykkere og mer stabile cellevegger.

Etter furfuryleringsprosessen ble også modifiseringsgraden bestemt (Yang mfl., 2022). Modifiseringsgraden kalles for WPG (weight percent gain) og sier noe om hvor mye furfurylalkohol treet har tatt opp og reagert med. Etter furfurylering hadde treet en økt masse, og den gjennomsnittlige modifiseringsgraden (WPG) for det furfurylerte treet var 26,7 %, altså at massen hadde økt med 26,7 %.

Både furfurylert tre og ubehandlet tre ble kondisjonert ved like forhold for å undersøke hvordan furfuryleringen påvirket fuktopptaket i trevirket (Yang mfl., 2022). De ble begge kondisjonert ved to forskjellige miljøer, og et av de var med 25 °C og 80 % RF. RF står for relativ fuktighet og er forholdet mellom den absolutte fuktigheten i luften og den luftfuktigheten som må til for å oppnå metning ved en bestemt temperatur (Samuelson, 2021). RF oppgis i prosent, og luft som er helt mettet med vanndamp har en RF på 100 %.

Resultatene etter kondisjonering ved høye relative fuktigheter viste at det var flere vannmolekyler til stede i miljøet som omga furfurylert tre enn det som omga ubehandlet tre (Yang mfl., 2022). Dette betydde at furfurylert tre ikke absorberte like mye av vannmolekylene fra den omgivende luften som det ubehandlet tre gjorde, og at furfurylert tre dermed hadde et lavere fuktopptak. Videre viste resultatene av fuktinnhold i trevirket også at furfurylert tre hadde et lavere fuktinnhold enn ubehandlet tre etter eksponering for et miljø med 80 % RF. Det ble dermed konkludert med at furfurylering av tre reduserte treets fuktopptak.

Esteves mfl. (2011) undersøkte egenskapene til furfurylert tre ved å bruke prøver av *Pinus pinaster* (strandfuru), behandlet med furfurylalkohol. Egenskaper som ble målt var blant annet modifiseringsgrad (WPG) og likevektsfuktigheten, på engelsk kalt equilibrium moisture content (EMC). Likevektsfuktighet er definert som fuktigheten et trevirke etter hvert vil innstille seg på i et gitt klima, altså med gitt luftfuktighet og temperatur (*likevektsfuktighet* 2021). Likevektsfuktigheten avhenger av treslag, men som et vanlig gjennomsnitt for norske treslag vil den ved 20 °C og 65 % RF omtrent være 12 %.

Modifiseringsgraden ble beregnet til å være 38 % i gjennomsnitt for prøvestykkene (Esteves mfl., 2011). Resultatene viste at likevektsfuktigheten til furfurylert furu ble lavere enn likevektsfuktigheten til ubehandlet tre. Ved 35 % RF hadde ubehandlet tre en likevektsfuktighet på 8,9 %, mens den var 5,1 % for furfurylert furu. Forskjellen i likevektsfuktigheten mellom ubehandlet og furfurylert tre økte jo høyere RF var, og ved 85 % RF hadde ubehandlet tre en likevektsfuktighet på 17,3 %, mens furfurylert furu hadde en likevektsfuktighet på kun 9 %.

Resultatene for reduksjon i likevektsfuktigheten for det furfurylerte treet ble også sammenlignet med testing gjennomført tidligere. Epmeier mfl. (2004) hadde resultater som viste at likevektsfuktigheten for ubehandlet furu ble redusert fra 8 % til 2-4 % ved 30 % RF ved furfurylering av treet med modifieringsgrad 48 %. Dette var en enda større reduksjon enn resultatene til Esteves mfl. (2011), og faktorer som ble trukket fram som kunne påvirke reduksjonen i likevektsfuktigheten var treslag og modifieringsgrad.

3.8 Resultater fra branntesting i litteraturen

Som beskrevet i kapittel 2.1 blir flere ulike parametere målt ved testing i henhold til ISO 5660-1, som total varmeavgivelse og effektiv forbrenningsvarme. Videre presenteres resultater fra tidligere utførte branntester av ulike trematerialer.

3.8.1 Testing av Kebonykledning

Östman og Tsantaridis (2006) skrev rapporten *Innovative eco-efficient high fire performance wood products for demanding applications*. Det ble testet treprodukter med ulik behandling, som termisk modifiering, furfurylering og flammehemmende behandling.

Kebonybehandlet tre, angitt som WK-0 i rapporten, ble testet i henhold til ISO 5660, med varmefluks 50 kW/m^2 . Materialet ble kondisjonert ved $23 \text{ }^\circ\text{C}$ og 50 % RF, og prøvestykkene hadde en tykkelse på 20-21 mm. Det nevnes ikke noe om materialets alder eller modifieringsgrad.

Følgende resultater ble målt for Kebonytreet:

- Densitet: 744 kg/m^3
- Fuktinnhold: 7,7 %
- Tid til antennelse: 29 s
- Maksimal varmeavgivelseshastighet: 267 kW/m^2
- Total varmeavgivelse (THR): 121 MJ/m^2
- Predikert Euroklasse: D

3.8.2 Tester av royalimpregnert furukledning

Som nevnt i kapittel 1.1.1 ble det i 2020 avdekket at royalbehandlet trekledning oppnådde dårligere resultater på branntesting, og at flere produsenter oppga at materialet oppnådde klasse D-s3,d0 uten å gjennomføre nødvendig testing. Dette førte til at det ble gjennomført testing i henhold til NS-EN 13823 (SBI) og ISO 5660-1 (konkolorimeter), og resultatene vises i henholdsvis tabell 3.6 og tabell 3.7.

Tabell 3.6: Resultater fra testing av royalkledning i henhold til NS-EN 13823 (SBI) (Steen-Hansen og Mostad, 2021).

Produkt	Klassifisering
Royalimpregnert kledning av furu, fersk	Antatt E eller F
Royalimpregnert kledning av furu, aldret 18 mnd. på yttervegg	Antatt E eller F
Grunnet og malt kledning av gran	E
Beiset kledning av gran	E
Ubehandlet kledning av furu	D-s2,d0

Tabell 3.7: Resultater fra testing av royalkledning i henhold til ISO 5660-1 (konkalorimeter) (Steen-Hansen og Mostad, 2021).

Produkt	Q_{cr} [kW/m ²]
Royalimpregnert kledning av furu, fersk	4,9
Royalimpregnert kledning av furu, aldret 18 mnd. på yttervegg	< 10,5
Grunnet og malt kledning av gran, oljemaling	15,5
Beiset kledning av gran, oljebeis	14,1

3.8.3 Påvirkning av fuktinnhold

Som presentert i kapittel 3.6 er det mange ulike faktorer som påvirker hvordan trevirket oppfører seg ved brann. Ett av forskningsspørsmålene i denne oppgaven handler om å vurdere hvordan treets fuktinnhold påvirker antenneligheten og brannegenskapene til kledningen.

Simms og Law (1967) gjennomførte spontanantennelses- og pilotantennestester på prøvestykker av tre med ulikt fuktinnhold og målte tid til antennelse. Det ble brukt en pilotflamme i strømmen av gasser utviklet ved oppvarming av treet. Tester av douglasgran og vanlig gran, som tilhører furufamilien, ble gjennomført med prøver av ulike tykkelser og med ulikt fuktinnhold. De konkluderte med at økende fuktinnhold øker tid til antennelse.

Det at øktende fuktinnhold gir økt tid til antennelse ble også demonstrert av Atreya mfl. (1991). De gjennomførte testing og vurderte hvordan ulike variabler påvirket pilotantennelsen av tre. Det ble konkludert med at tilstedeværelsen av fuktighet forsinker nedbrytningsprosessen og fortynner forbrenningsproduktene.

3.8.4 Grenseverdi kritisk fluks for antennelse

Det brukes ofte en referanseverdi for kritisk fluks for antennelse for ubehandlet tre slik at resultater fra branntesting av andre produkter kan sammenlignes med denne. I litteraturen er det angitt mange ulike verdier for hva som menes er grenseverdien for kritisk fluks for antennelse for ubehandlet tre. Bartlett mfl. (2019) har samlet kritisk fluks for pilotantennelse for tre fra ulike kilder. Verdiene fra litteraturen, for de treslagene som er relevante for denne oppgaven, vises i tabell 3.8.

Tabell 3.8: Verdier for kritisk fluks for antennelse av tre i litteraturen.

Forfatter	Treslag	Kritisk fluks for antennelse [kW/m ²]
Browne mfl. (1958)	Generell verdi for tre	12,6
Drysdale (2011)	Generell verdi for tre	12
Moghtaderi mfl. (1997)	Montereyfuru (fukt 15 %)	13,2
	Sukkerfuru (fukt 10-12 %)	14,0
Simms og Hird (1958)	Douglasgran	14,7
Simms (1963)	Generell verdi for tre	12,6
Tran mfl. (1992)	Pinus echinata (kortbladet furu)	10,7
Dietenberger mfl. (2016)	En rekke treprodukter	10-13

Det er også gjort undersøkelser for å vurdere hvordan varierende fuktinnhold påvirker kritisk fluks for pilotantennelse, og det ble konkludert med at 12,56 kW/m² ga tilstrekkelig med sikkerhetsmargin, selv for tørt materiale, ved bestemmelse av nødvendig avstand mellom byggverk (Simms og Law, 1967) (Nordvoll, 2020).

Standard Norge

I standarden SN-INSTA/TS 950:2014 beskrives det i kapittel 11 hvordan brannsikkerhetsmålet om å sikre beskyttelse av brannspredning mellom bygninger kan opprettholdes (Standard Norge, 2014). Det angis at for kvantitative risikoanalyser kan et gitt vurderingskriterium brukes for å vurdere risikoen for brannspredning. Det anbefales at vurderingskriteriet for materialer med klasse dårligere enn A2-s1,d0 settes til 15 kW/m² på mottaksoverflaten i 30 minutter. Videre beskrives det at andre vurderingskriterier også kan brukes dersom verdien underbygges av pålitelig forskningsdata.

Britiske byggeregler

De britiske byggereglene for bolighus har angitt metoder for beregning av akseptabel mengde ubeskyttet område. Det beskrives at to enkle metoder er gitt for å beregne akseptabel mengde ubeskyttet område i en yttervegg som er minst 1000 mm fra ethvert punkt på den aktuelle grensen (The Building Regulations 2010, 2007).

I byggereglene fra 2007 er disse to metodene angitt i avsnitt 9.13 til 9.17 (The Building Regulations 2010, 2007). I tillegg skrives det at det finnes andre mer presise metoder,

beskrevet i BRE-rapport BR 187, som kan anvendes i stedet for metode 1 og metode 2. Bakgrunnen for de to metodene er at målet er å sikre at bygningen er atskilt fra grensen med minst halvparten av avstanden hvor den totale varmestrålingsintensiteten mottatt fra alle ubeskyttede områder i veggen vil være $12,6 \text{ kW/m}^2$ (i stille luft), forutsatt at strålingsintensiteten ved hvert ubeskyttet område er 84 kW/m^2 . Grenseverdien på $12,6 \text{ kW/m}^2$ er ikke et kriterium (eller klassifisering) i regelverket, men et kriterium ved bruk av beregning av sikker avstand mellom bygninger.

I byggereglene fra 2019 er metodene angitt i avsnitt 11.16 til 11.20 (The Building Regulations 2010, 2019). Her beskrives det igjen at to enkle metoder er gitt, men at mer presise metoder er beskrevet i BRE-rapport BR 187, som kan brukes i stedet. I disse byggreglene blir ikke verdien $12,6 \text{ kW/m}^2$ angitt eksplisitt, men det er referert til BRE-rapport BR 187, hvor beregningsmetoden er beskrevet.

3.8.5 FIGRA

Tsantaridis mfl. (1999) skrev rapporten *Cone Calorimeter Data and Comparisons for the SBI RR Products*. Det ble testet 30 produkter i henhold til ISO 5660 (konkalorimeter) for å vurdere hvorvidt resultater fra ISO 5660 samsvarte med resultater fra EN 13823 (SBI) og ISO 9705 (Room/Corner). Av de 30 produktene som ble testet er det lakkert furu som er relevant for denne oppgaven. Testingen ble gjennomført i henhold til ISO 5660, med en varmeffluks på 50 kW/m^2 . FIGRA for lakkert furu ble beregnet til å være 101 W/s .

Sidhu mfl. (2005) gjennomførte branntesting av treprodukter, og resultatene ble presentert i et webinar basert på rapporten *Toxic Air Emissions from Burning Wood and Agricultural Plastics - A Cone Calorimeter Study*. Det ble testet treprodukter som vanligvis brukes i kjeler, samt landbruksplast. Av produktene som ble testet er det furu som er relevant for denne oppgaven. Testingen ble gjennomført i konkalorimeter, og det ble brukt prøvestykker på $10 \times 10 \text{ cm}$, og en varmeffluks på 50 kW/m^2 . Fuktinnholdet i prøvestykket av furu var $9,68 \%$. Gjennomsnittlig FIGRA for tre tester av furu ble beregnet til $8,24 \text{ kW/m}^2\text{s}$. Ut fra eksponert overflateareal på $0,00884 \text{ m}^2$, som er standard for ISO 5660, tilsvarer dette en FIGRA-verdi på $72,8 \text{ W/s}$.

3.8.6 Effektiv forbrenningsvarme

Effektiv forbrenningsvarme er definert som varmemengde per masseenhet [MJ/kg] som frigjøres ved forbrenning av et materiale under angitte prøvebetingelser (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2022). Dette kan beregnes ved bruk av ligning 2.

$$\Delta h_{c,eff} = \frac{THR * A}{Massetap} \quad (2)$$

Hvor THR er total varmeavgivelse i MJ/m^2 , A er eksponert overflateareal, og massetap er i enheten kg .

Xu mfl. (2015) gjennomførte testing i konkallorimeteret av fem vanlige treslag til konstruksjon. Testingen ble gjennomført ved varmefluksnivåene 25, 50 og 75 kW/m^2 , og de treslagene som er relevante for denne oppgaven er douglasgran, furu og pinus echinata (kortbladet furu). Resultatene fra testingen vises i tabell 3.9.

Tabell 3.9: Effektiv forbrenningsvarme for ulike treslag fra testing av Xu mfl. (2015).

Treslag	Fuktinnhold [%]	Effektiv forbrenningsvarme [MJ/kg]
Douglasgran	14	10 (ved varmefluks 25 og 50 kW/m^2)
Furu	17,5	9 (ved varmefluks 25 kW/m^2) 11 (ved varmefluks 50 kW/m^2)
Pinus echinata (kortbladet furu)	17	9 (ved varmefluks 25 og 50 kW/m^2)

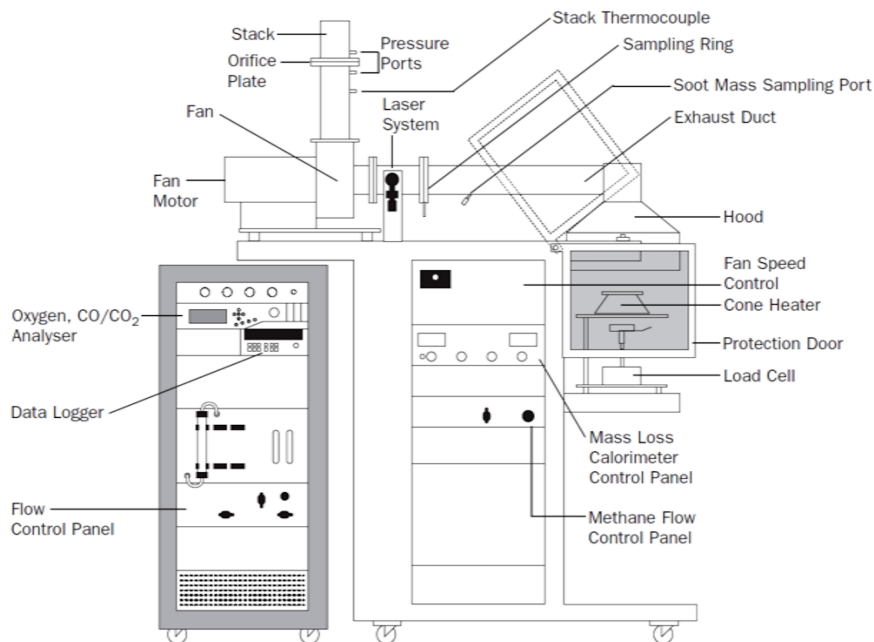
Moghtaderi (1998) beskrev at effektiv forbrenningsvarme for trebaserte materialer varierer med varmefluks. I tillegg ble det konkludert det med at den effektive forbrenningsvarmen påvirkes av fuktinnholdet i materialet, og at jo høyere fuktinnhold materialet har, jo lavere er forbrenningsvarmen.

4 Branntesting

I dette kapitlet presenteres branntestingen gjennomført i forbindelse med denne masteroppgaven. Testingen er utført i henhold til ISO 5660-1, også kalt konkalorimeter, og det er gjennomført to ulike testprosedyrer. De to testprosedyrene blir kalt kritisk fluks-test og fullstendig konkalorimetertest. Resultater fra branntestingen gjennomgås i kapittel 5.

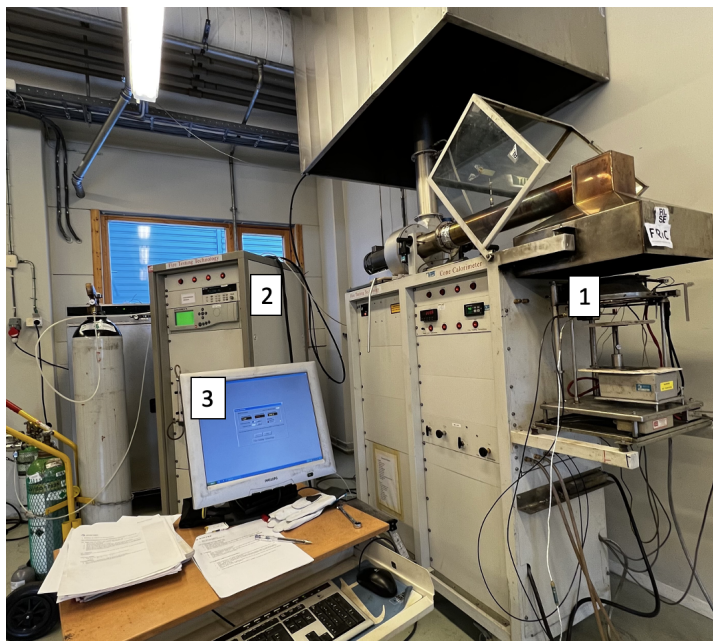
4.1 Testoppsett

Testoppsettet og testmetodene er basert på metoden beskrevet i *ISO 5660-1:2015 Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)* (International Organization for Standardization, 2015). En skjematisk fremstilling av apparatet som er beskrevet i standarden er vist i figur 4.1.



Figur 4.1: Testapparat til konkalorimetertest. Hentet fra Lindholm mfl. (2009).

Testapparatet som ble benyttet i forbindelse med denne oppgaven er vist i figur 4.2 og består av tre ulike deler som er markert på figuren. Videre i oppgaven blir det som er merket som 1 på tegningen omtalt som konkalorimeter, 2 som rack og 3 som datamaskin.



Figur 4.2: Testapparat til konkalorimetertesting på RISE Fire Research i Trondheim. 1 = konkalorimeter, 2 = rack, 3 = datamaskin.

Testmetodene som er benyttet til å gjennomføre testene er basert på metoden beskrevet i ISO 5660-1:2015. Testmetoden er basert på observasjonen om at netto forbrenningsvarme er proporsjonal med mengden oksygen som trengs for forbrenning (International Organization for Standardization, 2015). Forholdet er at omtrent $13,1 \times 10^3$ kJ varme utløses per kilogram oksygen som forbrennes.

Prinsippet for testingen er at prøvestykker brennes under omgivende luftforhold samtidig som de utsettes for en forhåndsbestemt ekstern varmeffluks mellom 0 og 75 kW/m^2 (International Organization for Standardization, 2015). Målingene gjøres av oksygenkonsentrasjoner og strømningshastigheter i avtrekket. Denne testmetoden brukes til å vurdere hvilket bidrag det testede produktet kan ha på hastigheten på varmeutviklingen under en involvering i brann. Disse egenskapene bestemmes på små representative prøvestykker.

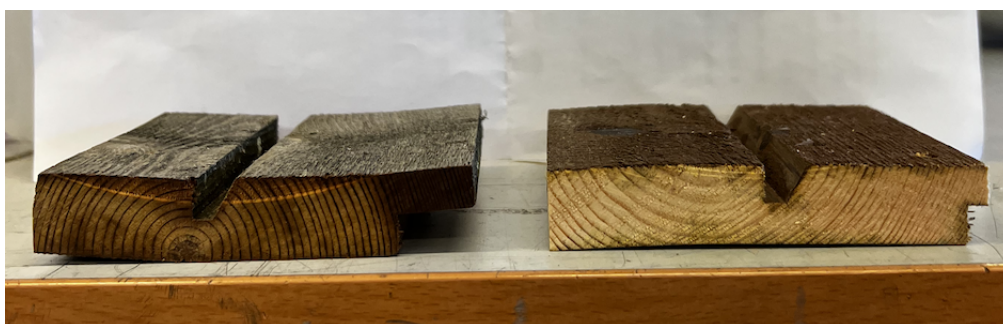
Prinsippet for røykmålingene baseres på observasjonen om at intensiteten av lys som transmitteres gjennom et volum av forbrenningsprodukter generelt er en eksponentielt synkende funksjon av avstand (International Organization for Standardization, 2015). Dette refereres vanligvis til som Bouguers lov. Under testingen gjøres målinger av røyktilsløring, avtrekkets gasstrømningshastighet og prøvestykkets massetapshastighet. Fra måling av røyktilsløring kan røykproduksjon og røykproduksjonshastighet beregnes.

4.2 Testmaterialet

Materialet som ble testet er furukledning av typen Kebony Character D-fals glatt med spor. Dette er et kledningsbord med dobbeltfals med skråkant og spor med skrå vinkel. Produsenten oppgir at denne kledningen produseres fra FSCTM sertifisert Pinus sylvestris (furu) og er behandlet med et biobasert, fornybart innsatsstoff (Kebony Norge, 2022c). Kebony Character-produkter inneholder kvister og ubehandlet kjerneved, men andelen kjerneved varierer fra bord til bord. Kebonyteknologien og prosessen for å oppnå denne behandlingen er beskrevet i kapittel 3.1.2.

Ytelseserklæringen til Kebony Character modifiserte kledningsbord av furu har blitt tilsendt av Lande (2022). Denne beskriver at produktet har en gjennomsnittlig densitet på 585 kg/m³ ved 12 % fuktighet, og brannklassifisering D-s2,d0 for egenskaper ved brannpåvirkning.

Testmaterialet er Kebonykledning som har vært på bygget som brant under brannen på Lone, som er beskrevet tidligere i kapittel 1.1.2. Under denne brannen ble fasaden med balkonger overtent, så materialet som er testet i forbindelse med denne oppgaven er Kebonykledning som var montert på en andre siden av bygget, på en av fasadene som ikke brant. Det materialet som i testmatrisen kalles "Kebony 10 år" er kledning som har vært montert på ytterveggen i ti år, mens det som kalles "Kebony 2 år" har vært montert på ytterveggen i to år. Et eksemplar av ti og to år gammel kebonykledning vises i figur 4.3.



Figur 4.3: Kebonykledning - ti år gammel til venstre og to år gammel til høyre.

Testene av ti og to år gammel kebonykledning har blitt sammenlignet med referansetester av fersk ubehandlet furukledning, og disse testene kalles "Ubehandlet 0 år" i testmatrisen. Det ubehandlede materialet var glattpanel i furu fra Moelven. Materialets ytelseserklæring angir at dette materialets bruksområde er innendørs på vegger, i undertak og i himlinger, og at det har brannklassifisering D-s2,d0 (Moelven, 2022). Den ferske ubehandlede furukledningen hadde en glatt overflate, mens kebonymaterialet hadde en ru overflate.

Det var store variasjoner i utseende mellom de ulike prøvestykkene, selv mellom prøvestykker av samme materiale. Faktorer som varierte var mengde kvist, mose, skruehull og skraper. Et utvalg eksempler av prøvestykker presenteres i tabell 4.1 for å vise forskjeller.

Tabell 4.1: Bilder av prøvestykker av de tre ulike materialene brukt i testingen.



4.2.1 Prøvestykkenes størrelse

Alle prøvestykkene var kvadratiske med sider som målte 100 ± 2 mm. Etersom prøvestykkene ble plassert i en prøveholder under testingen var det eksponerte overflatearealet 8840 mm^2 . Tykkelsen på prøvestykkene ble målt på ett punkt på tykkeste delen av profilen. ”Kebony 10 år” og ”Kebony 2 år” hadde en tykkelse på rundt 18-19 mm, mens ”Ubehandlet 0 år” hadde en tykkelse på omtrent 12-13 mm. Materialene hadde ulik tykkelse fordi de er forskjellige produkter som leveres med forskjellig tykkelse.

Testmaterialet regnes som termisk tykt, ettersom alle prøvestykkene hadde en tykkelse på mer enn 10 mm. Dermed kan metoden beskrevet i kapittel 3.6.2 for å beregne kritisk fluks for antennelse for termisk tykke materialer anvendes for alle testene.

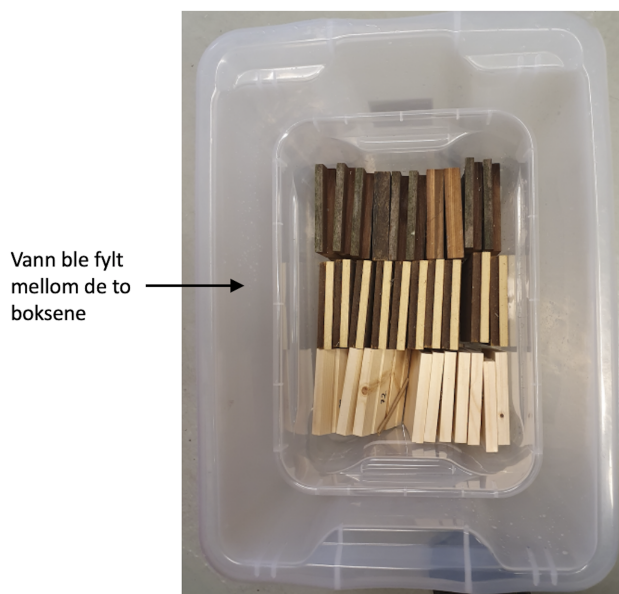
4.2.2 Prøvestykkenes fuktinnhold

Prøvestykkene ble kondisjonert til tre ulike fuktnivåer før testingen begynte. Disse fuktnivåene blir kalt tørt, klimarom og vått:

Tørt materiale ble tørket ved 50 °C i tørkeskap og veid hver 24. time. Da materialet hadde blitt tørket til under 3 % vanninnhold ble de tatt ut av tørkeskapet og pakket i tett ziplockpose. Før materialene ble lagt i tørkeskapet ble fuktinnholdet kontrollert ulikt for kebonykledningene og fersk, ubehandlet furukledning. Ti og to år gammel kebonykledning ble kondisjonert i klimarom ved 23 ± 2 °C og 50 % RF i to måneder for å få et fuktinnhold på ca. 9 %. Fuktinnholdet ble ikke målt, men antatt etter likevektsfuktighetskurven i henhold til *likevektsfuktighet* (2021). Null år gammel ubehandlet furukledning ble målt med hygrometer til å ha et fuktinnhold på rundt 13,5-14 %.

For materialet i **klimarom** ble ti og to år gammel kebonykledning kondisjonert i klimarom i henhold til ISO 5660-1 kapittel 8.2. Dette materialet ble kondisjonert i klimarom ved 23 ± 2 °C og 50 % RF i to måneder for å få et stabilt fuktinnhold på rundt 9 %. Ny, ubehandlet furukledning ble målt med hygrometer til å ha et fuktinnhold på rundt 13,5-14 %. Deretter ble det lagt i tørkeskap og målt hver 24. time til fuktinnholdet var omtrent 9 %, og så ble det lagt på klimarom.

For **vått materiale** ble ti og to år gammel kebonykledning tatt fra klimarom og lagt sammen med ny, ubehandlet furukledning i en tett oppbevaringsboks, vist i figur 4.4. Boksen ble så fylt med varmt vann og satt i tørkeskap i tre dager med mål om å skape et lokalt klima inne i boksen med høy luftfuktighet. Denne boksen ble utformet slik at materialene ble utsatt for luftfuktigheten inne i boksen, men ikke for selve vannet i boksen. Målet var å oppnå et fuktinnhold på 16-18 %.



Figur 4.4: Oppbevaringsboksen for kondisjonering av vått materiale. Et lokk ble lagt på den store boksen før den ble plassert i tørkeskap.

4.3 Testmatrise

Før testing ble gjennomført ble en testmatrise satt opp. Denne presenteres i tabell 4.2 og viser test-ID i de hvite feltene. Test-ID-en beskriver prøvestykkets behandling og fuktnivå, og med hvilket varmekraftnivå den aktuelle testen ble gjennomført med. For eksempel ble test 1 gjennomført med et prøvestykke av ti år gammel kebonykledning kondisjonert som tørt, og med et varmekraftnivå på 10 kW/m². De ulike kledningsmaterialene brukt til testing, samt fuktnivåene tørt, klimarom og vått, er beskrevet i kapittel 4.2.

Test 1-72 ble gjennomført som kritisk fluks-tester, og testprosedyren gjennomgås i kapittel 4.4.2. Testene i kolonnen ”Kon” ble gjennomført som fullstendige konkalorimetertester, og testprosedyren for dette beskrives i kapittel 4.4.3. Testene i kolonnen ”Tørking” ble veid og lagt i tørkeskap ved 50 °C, noe som beskrives nærmere i kapittel 4.4.1.

Tabell 4.2: Testmatrise med test-ID i de hvite cellene, og tilhørende testmateriale, fuktnivå og varmekraftnivå. Kon betyr at testene ble gjennomført som fullstendige konkalorimetertester ved 35 kW/m², og tørking betyr at materialet ble veid og lagt til tørking ved 50 °C for kontroll av fuktnivå.

Testmateriale	Test-ID									
	Varmekraftnivå [kW/m ²]								Kon 35 kW/m ²	Tørking 50 °C
	10		15		25		35			
Kebony 10 år, tørt	1	2	19	20	37	38	55	56	73	74
Kebony 10 år, klimarom	3	4	21	22	39	40	57	58	75	76
Kebony 10 år, vått	5	6	23	24	41	42	59	60	77	78
Kebony 2 år, tørt	7	8	25	26	43	44	61	62	79	80
Kebony 2 år, klimarom	9	10	27	28	45	46	63	64	81	82
Kebony 2 år, vått	11	12	29	30	47	48	65	66	83	84
Ubeh. 0 år, tørt	13	14	31	32	49	50	67	68	85	86
Ubeh. 0 år, klimarom	15	16	33	34	51	52	69	70	87	88
Ubeh. 0 år, vått	17	18	35	36	53	54	71	72	89	90

Testingen ble gjennomført ved at en rad i testmatrisen ble gjennomført samme dag, unntatt kolonnen for kon. Fullstendige konkalorimetertester ble gjennomført til slutt på egne dager. Eksempelvis ble test 74, 56, 55, 38, 37, 20, 19, 2 og 1 gjennomført samme dag.

4.4 Testprosedyrer

Det ble gjennomført to typer tester i konkalorimeteret, samt en prosedyre for å kontrollere fuktinnholdet. Først presenteres metoden for å kontrollere fuktinnholdet, deretter beskrives testprosedyrene for kritisk fluks-testene og for fullstendig konkalorimeteretest. Både kritisk fluks-testene og de fullstendige konkalorimeterertestene er gjennomført i konkalorimeteret, men prosedyrene er ulike. For å skille de to testprosedyrene fra hverandre angis de derfor som kritisk fluks-tester og fullstendig konkalorimetertester. Kritisk fluks-testene ble gjennomført for å måle tid til antennelse ved ulike varmekraftsnivåer, og ble avsluttet etter antennelse, mens de fullstendige konkalorimeterertestene ble gjort over 30 minutter for å måle ulike egenskaper gjennom brannforløpet.

4.4.1 Tørking

Som vist i tabell 4.2 ble prøve 74, 76, 78, 80, 82, 84, 86, 88 og 90 lagt til tørking. Dette ble gjort for å kontrollere fuktinnholdet i materialene etter kondisjonering. Prøvestykket ble veid før testing av det aktuelle materialet ble gjennomført. Eksempelvis ble prøvestykket i test 74 veid og lagt til tørking før testing av "Kebony 10 år, tørt" ble iverksatt. Videre ble dette prøvestykket veid hver dag frem til vekten hadde stabilisert seg, noe som tyder på at all fuktighet er tørket ut. På denne måten kunne det fastsettes hvilket fuktinnhold prøvestykkene i disse testene hadde ved testtidspunktet. Resultatet av tørkingen presenteres i kapittel 5.1.

4.4.2 Kritisk fluks-tester

Testmetoden som er benyttet for å gjennomføre testene for å finne kritisk fluks er basert på metoden beskrevet i Annex H i ISO 5660-1:2015. Her anvendes kun konkalorimeter og datamaskin fra figur 4.2, og ikke rack. Prinsippet for testingen er å eksponere prøvestykker for ulike varmekraftsnivåer og måle tid til antennelse. Dersom prøvestykket antenner ved en varmekraft blir testen gjentatt med en lavere varmekraft. Dette blir gjentatt helt til prøvestykket ikke antenner innen en gitt tidsbegrensning.

Testmaterialet brukt i branntestingene hadde en tydelig antennelse hvor flammer oppsto umiddelbart. Et eksempel på hvordan det så ut da testmaterialet antente vises i figur 4.5.



Figur 4.5: Test 73 like etter antennelse.

Tabell 4.3 viser en forenklet versjon av den fullstendige testmatrisen i tabell 4.2, hvor kun de testene som er relevant for kritisk fluks-testene er inkludert. Som nevnt tidligere ble kritisk fluks-testingen gjennomført ved å teste en og en rad i testmatrisen for kritisk fluks, fra høyest varmekraft til lavest.

Tabell 4.3: Testmatrise for kritisk fluks-tester. Matrisen viser test-ID i de hvite cellene, med tilhørende testmateriale og varmekraftnivå.

Testmateriale	Test-ID							
	Varmekraft [kW/m^2]							
	10		15		25		35	
Kebony 10 år, tørt	1	2	19	20	37	38	55	56
Kebony 10 år, klimarom	3	4	21	22	39	40	57	58
Kebony 10 år, vått	5	6	23	24	41	42	59	60
Kebony 2 år, tørt	7	8	25	26	43	44	61	62
Kebony 2 år, klimarom	9	10	27	28	45	46	63	64
Kebony 2 år, vått	11	12	29	30	47	48	65	66
Ubehandlet 0 år, tørt	13	14	31	32	49	50	67	68
Ubehandlet 0 år, klimarom	15	16	33	34	51	52	69	70
Ubehandlet 0 år, vått	17	18	35	36	53	54	71	72

Beskrivelsen av testmetoden for å finne kritisk fluks angitt i Annex H i standarden er kun informativ, og det ble derfor gjort noen tilpasninger for testene gjennomført i dette prosjektet. Testingen er blant annet gjennomført med prøveholder, mens standarden beskriver at testing skal gjennomføres uten prøveholderen. Dette ble gjort for å ha like testforutsetninger for kritisk fluks-tester og fullstendige konkalorimetertester. På denne måten vil det være lettere å kunne sammenligne resultater fra de to ulike metodene. Videre ble tidsbe-

grensningen satt til 30 minutter i stedet for 15, som standarden beskriver. Et alternativ hadde vært å sette enda lenger tidsbegrensning på en time. Likevel ble 30 minutter, eller 1800 sekunder, valgt for å ha lik tidsbegrensning som for fullstendig konkalorimetertest, som legger til rette for 30 minutter testtid. På grunn av begrenset mengde testmateriale ble det kun gjennomført to tester for hvert materiale og fluksnivå, som vist i kritisk fluks testmatrisen i tabell 4.3.

4.4.3 Fullstendig konkalorimetertest

Testmetoden som er benyttet til å gjennomføre de fullstendige konkalorimetertestene er basert på metoden beskrevet i ISO 5660-1:2015 (International Organization for Standardization, 2015). Prinsippet for testingen er at prøvestykker utsettes for en forhåndsbestemt ekstern varmeffluks, og målinger gjøres gjennom hele testforløpet. Det ble gjennomført ni tester med denne testprosedyren, og ekstern varmeffluks ble satt til 35 kW/m^2 for alle testene. En oppsummering av de aktuelle testene med tilhørende testmateriale vises i tabell 4.4.

Tabell 4.4: Test-ID og tilhørende testmateriale for testing som fullstendig konkalorimetertest.

Test-ID	Testmateriale
73	10 år gammel kebonykledning, tørt
75	10 år gammel kebonykledning, klimarom
77	10 år gammel kebonykledning, vått
79	2 år gammel kebonykledning, tørt
81	2 år gammel kebonykledning, klimarom
83	2 år gammel kebonykledning, vått
85	0 år gammel ubehandlet furukledning, tørt
87	0 år gammel ubehandlet furukledning, klimarom
89	0 år gammel ubehandlet furukledning, vått

Det ble gjort noen tilpasninger fra testmetoden beskrevet i standarden. Ved gjennomføring av disse testene ble ikke røyktilsløring målt ettersom laseren i testapparatet var defekt ved testtidspunktet. Dermed ble ikke røykproduksjon og røykproduksjonshastighet målt. Røykproduksjon ble vurdert til å være mindre relevant da det var ytterkledning som ble testet, og det stilles ingen krav til begrensning av røykproduksjon for ytterkledning i Norge.

Videre ble prøvetakingsintervallet satt til 1 sekunder, mens standardens kapittel 11.3.1 sier 5 sekunder. Dette ble gjort for å få en mest mulig nøyaktig registrering av data gjennom brannforløpet. Kapittel 11.3.7 i standarden beskriver at tre prøvestykker skal testes, men i dette prosjektet ble det kun gjennomført en test av hvert prøvestykke med en spesifikk alder, behandling og fuktnivå, grunnet begrenset mengde materiale tilgjengelig.

Prøvestykkenes densitet

Før de fullstendige konkolorimetertestene ble gjennomført, ble hvert prøvestykke veid, samt at prøvestykkenes lengde, bredde og tykkelse ble målt. Dette ble brukt til å beregne prøvestykkenes densitet.

4.5 Beregning av predikert brannklassifisering

Som nevnt i kapittel 2.1 gjør testing i henhold til ISO 5660-1 (konkolorimeter) det mulig å modellere større branner. Data fra testresultater i ISO 5660-1 kan brukes for å predikere en brannsekvens i NS-EN 13823 (SBI). I denne oppgaven ble data fra de fullstendige konkolorimetertestene brukt til å beregne en predikert brannklassifisering. Det ble brukt en modell som er designet for å anvende resultater fra konkolorimeter til å forutsi hvilken Euroklasse et treprodukt mest sannsynlig ville oppnådd dersom det ble testet i henhold til NS-EN 13823 (SBI) (Steen-Hansen og Kristoffersen, 2007).

Konkolorimetertesten og SBI-testen baseres begge på de samme prinsippene for måling av varmeavgivelseshastighet (HRR) og røykproduksjonshastighet (SPR), i tillegg til at prøvestykkene er fritt ventilert i begge testmetodene (Steen-Hansen og Kristoffersen, 2007).

Denne metoden ble kun anvendt for test 73, 75, 77, 79, 81, 83, 85, 87 og 89, da det var disse testene som ble gjennomført som fullstendig konkolorimetertest. Modellen for predikering av brannklassiferingen baserer seg på en multivariat analyse som undersøker hvordan ulike parametere henger sammen (Steen-Hansen og Kristoffersen, 2007). Følgende variabler fra konkolorimeteret brukes for å beregne predikert brannklassifisering:

- THR = total varmeavgivelse (MJ/m^2)
- ρ = densiteten til produktet (kg/m^3)
- $MassLoss$ = totalt massetap (%)

Videre brukes disse variablene for å beregne predikert brannklassifisering etter Fishers formler:

$$\begin{aligned}F_B &= -0,503THR + 0,100\rho + 2,040MassLoss - 86,177 \\F_C &= -0,313THR + 0,071\rho + 1,767MassLoss - 66,596 \\F_D &= -0,468THR + 0,098\rho + 2,268MassLoss - 105,250\end{aligned}\tag{3}$$

Det er også mulig å beregne predikert røykklassifisering ved å benytte THR , ρ , $MassLoss$ og $SmokeHeat$, som er en funksjon av røykproduksjonshastigheten og varmeavgivelseshastigheten. Dette ble ikke gjort i denne oppgaven da laseren som måler røykproduksjon var defekt under branntesting, slik at røykproduksjon ikke ble målt.

5 Resultater fra branntesting

I dette kapitlet presenteres resultater fra branntesting. Først presenteres resultatene fra tørking av materialer, som ble gjort for å kontrollere fuktinnholdet i prøvestykkene. Prosedyren for dette er beskrevet i kapittel 4.4.1. Deretter presenteres resultatene fra testing i konkalorimeteret. Det er gjort to ulike tester i konkalorimeteret, og som nevnt tidligere blir de angitt som kritisk fluks-tester og fullstendig konkalorimetertester. Testprosedyren for kritisk fluks-testene er beskrevet i kapittel 4.4.2, mens testprosedyren for de fullstendige konkalorimetertestene er beskrevet i kapittel 4.4.3. En oversikt over hvilke resultater som presenteres, og hvilken eller hvilke av testene resultatene er hentet fra vises i tabell 5.1.

Tabell 5.1: Resultatene i oppgaven og hvilke/hvilken av testene de utledes fra.

Resultat	Kritisk fluks-test	Fullstendig konkalorimetertest
Tid til antennelse	X	X
Kritisk fluks for antennelse	X	
Densitet		X
HRR		X
FIGRA		X
Totalt massetap		X
Effektiv forbrenningsvarme		X
Predikert brannklassifisering		X

5.1 Fuktinnhold

Som beskrevet i kapittel 4.2.2 ble testmaterialet kondisjonert til tre ulike fuktnivåer - tørt, klimarom og vått. Fuktinnholdet ved de tre ulike fuktnivåene ble kontrollert ved å legge en rekke prøvestykker til tørking. Disse ble videre veid hver dag inntil vekten stabiliserte seg, og det ble da antatt at all fuktighet var tørket ut. Resultatet av kondisjoneringen vises i tabell 5.2.

Tabell 5.2: Fuktinnhold for testene som ble lagt til tørking.

Test-ID	Testmateriale	Fuktnivå	Fuktinnhold [%]
74	Kebony, 10 år	Tørt	2,5
76	Kebony, 10 år	Klimarom	9,5
78	Kebony, 10 år	Vått	10,0
80	Kebony, 2 år	Tørt	3,3
82	Kebony, 2 år	Klimarom	10,9
84	Kebony, 2 år	Vått	12,4
86	Ubehandlet, 0 år	Tørt	3,2
88	Ubehandlet, 0 år	Klimarom	10,0
90	Ubehandlet, 0 år	Vått	14,1

5.2 Tid til antennelse

5.2.1 Kritisk fluks-tester

Som vist i testmatrisen for kritisk fluks-testene i tabell 4.3 er testene gjennomført med et materiale av en viss alder, behandling og fuktnivå, samt med en bestemt varmekraft. Tid til antennelse ble registrert for hver test, og resultatene presenteres i tabell 5.3 med tid til antennelse, t_{ig} , for hvert materiale ved hvert varmekraftnivå. Oppsettet er likt som for kritisk fluks-testmatrisen, slik at resultatet i sekunder er plassert i cellen som tilsvarer test-ID-en som sto i samme celle i tabell 4.3.

Tabell 5.3: Tid til antennelse for kritisk fluks-testene, angitt i de hvite cellene, for de forskjellige materialene ved ulike varmekraftnivåer.

Testmateriale	Tid til antennelse [s]							
	Varmekraft [kW/m ²]							
	10		15		25		35	
Kebony 10 år, tørt	- *	- *	258	304	65	71	34	29
Kebony 10 år, klimarom	- *	- *	515	709	98	85	39	42
Kebony 10 år, vått	- *	- *	562	583	80	105	38	33
Kebony 2 år, tørt	- *	- *	70	530	21	23	11	10
Kebony 2 år, klimarom	- *	- *	966	1051	47	23	13	12
Kebony 2 år, vått	- *	- *	915	939	25	37	17	13
Ubehandlet 0 år, tørt	- *	- *	1283	1195	135	105	39	34
Ubehandlet 0 år, klimarom	- *	- *	- *	1151	313	230	49	52
Ubehandlet 0 år, vått	- *	- *	1271	1742	159	261	56	52

*Antente ikke ila. 1800 sekunder.

5.2.2 Fullstendige konkalorimetertester

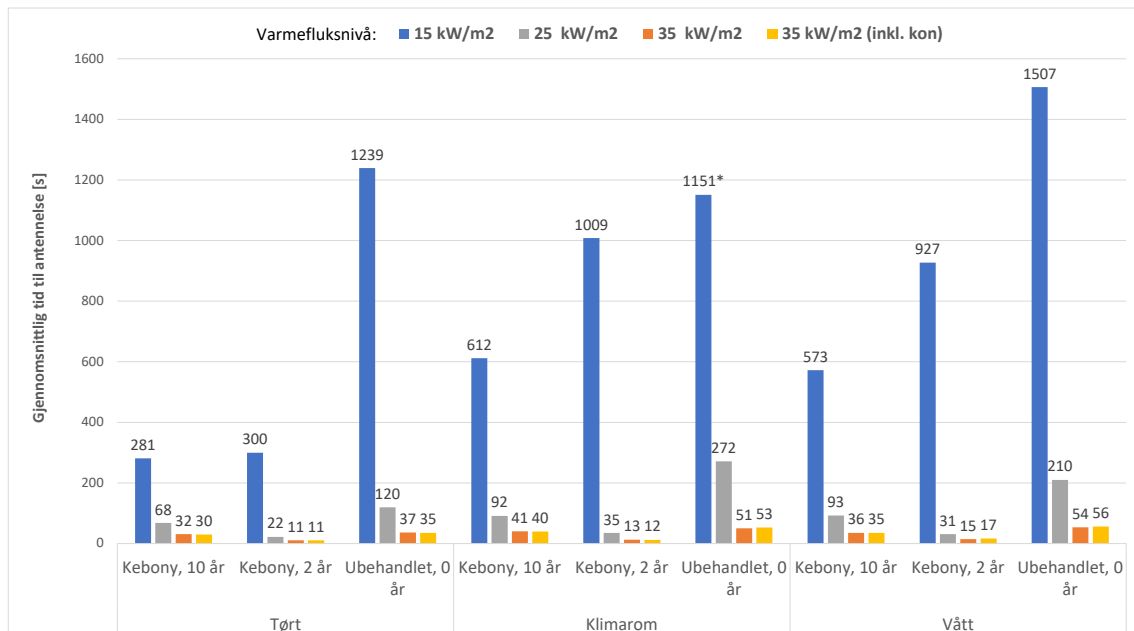
Ved testing gjennomført som fullstendig konkalorimetertest ble også tid til antennelse logget. Disse testene ble gjennomført med en varmekraft på 35 kW/m². Prøvestykkens tid til antennelse vises i tabell 5.4.

Tabell 5.4: Tid til antennelse for testene gjennomført som fullstendig konkalorimetertest, ved 35 kW/m².

Test-ID	Testmateriale	Tid til antennelse [s]
73	Kebony 10 år, tørt	26
75	Kebony 10 år, klimarom	39
77	Kebony 10 år, vått	35
79	Kebony 2 år, tørt	12
81	Kebony 2 år, klimarom	11
83	Kebony 2 år, vått	21
85	Ubehandlet 0 år, tørt	33
87	Ubehandlet 0 år, klimarom	58
89	Ubehandlet 0 år, vått	61

5.2.3 Gjennomsnittlig tid til antennelse

Resultatene fra kritisk fluks-testene og de fullstendige konkalorimetertestene vises grafisk i figur 5.1, men her er tid til antennelse for hvert materiale beregnet som et gjennomsnitt. For varmekraftnivå 15, 25 og 35 kW/m² er tiden beregnet som snittet av de to testene av samme materiale og fuktnivå som ble eksponert for samme varmekraft. For varmekraftnivå 35 kW/m² (inkl. kon) er også tid til antennelse fra de fullstendige konkalorimetertestene inkludert, ettersom de også ble eksponert for 35 kW/m². Varmekraft 10 kW/m² er utelatt ettersom ingen av testene antente i løpet av 30 minutter ved denne eksponeringen.



Figur 5.1: Tid til antennelse for hvert materiale med et bestemt fuktnivå (beregnet som snittet av to tester) ved tre ulike varmekraftnivå - 15, 25 og 35 kW/m². For søylene i serien ”35 kW/m² (inkl. kon)” er også resultater fra de fullstendige konkalorimetertestene inkludert.

*Er kun resultatet fra én test, da den andre ikke antente ilar. 1800 sekunder.

Sammenligning av materialene

Fra resultatene fra både kritisk fluks-testene og fullstendige konkalorimetertester er gjennomsnittlig tid til antennelse for hvert materiale beregnet ved de tre varmekraftnivåene. Dette vises i tabell 5.5, og inkluderes for å enklere se forskjeller mellom materialtypene. Det vises to ulike gjennomsnittlig tid til antennelse for varmekraftnivå 35 kW/m², en for kun kritisk fluks-testene og en som inkluderer tid til antennelse fra de ni fullstendige konkalorimetertestene.

Tabell 5.5: Tid til antennelse for hvert materiale ved de tre varmekraftnivåene. I kolonnene "15", "25" og "35" er det beregnet som snittet av de seks kritisk fluks-testene med samme materiale. I kolonne "35 (inkl. kon)" er også resultatet fra de fullstendige konkalorimetertestene inkludert.

Materiale	Tid til antennelse [s]			
	Varmekraft [kW/m ²]			
	15	25	35	35 (inkl. kon)
Kebony, 10 år	489	84	36	35
Kebony, 2 år	745	29	13	13
Ubehandlet, 0 år	1328*	201	47	48

*For ubehandlet, 0 år, klimarom, er det kun benyttet resultatet fra én test, da den andre ikke antente ilar. 1800 sekunder.

Videre presenteres gjennomsnittlig tid til antennelse for hvert materiale, til sammen for alle varmekraftnivåene, i tabell 5.6. Resultatet i denne tabellen viser tid til antennelse som snitt av alle testene gjennomført med samme materiale, både i kritisk fluks-testene og i de fullstendige konkalorimetertestene.

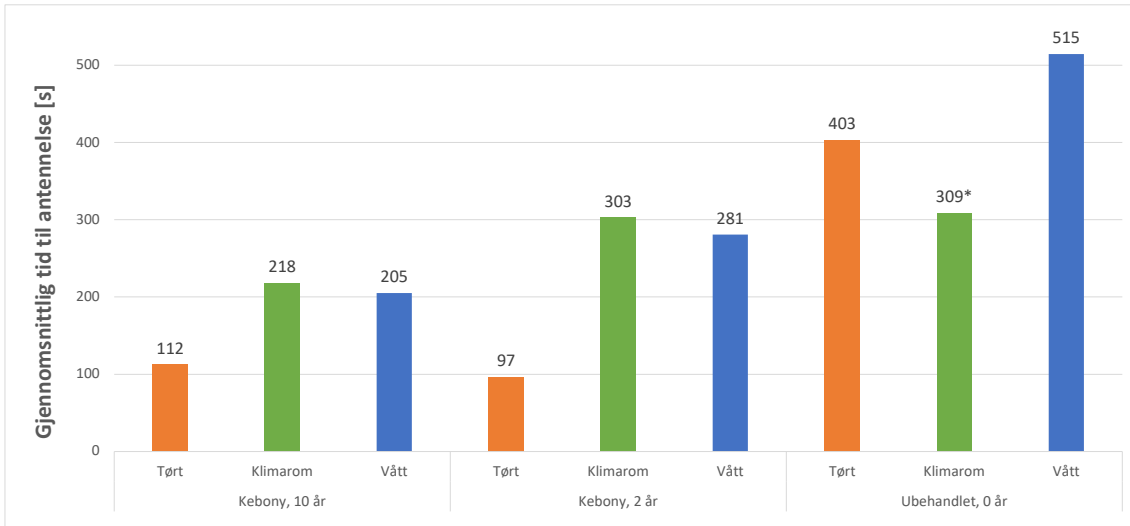
Tabell 5.6: Gjennomsnittlig tid til antennelse for hvert materiale, beregnet som snittet av de 21 testene med samme materiale (både kritisk fluks-tester og fullstendige konkalorimetertester).

Materiale	Gjennomsnittlig tid til antennelse [s]
Kebony, 10 år	179
Kebony, 2 år	227
Ubehandlet, 0 år	414*

*For ubehandlet, 0 år, klimarom, ved 15 kW/m², er det kun benyttet resultatet fra én test, da den andre ikke antente ilar. 1800 sekunder.

Sammenligning av fuktnivåene

Til slutt presenteres gjennomsnittlig tid til antennelse for fuktnivåene, til sammen for alle varmekraftnivåene, i figur 5.2. Resultatet i denne figuren viser tid til antennelse som snitt av alle testene gjennomført med samme materiale og fuktnivå, både i kritisk fluks-testene og i de fullstendige konkalorimetertestene.



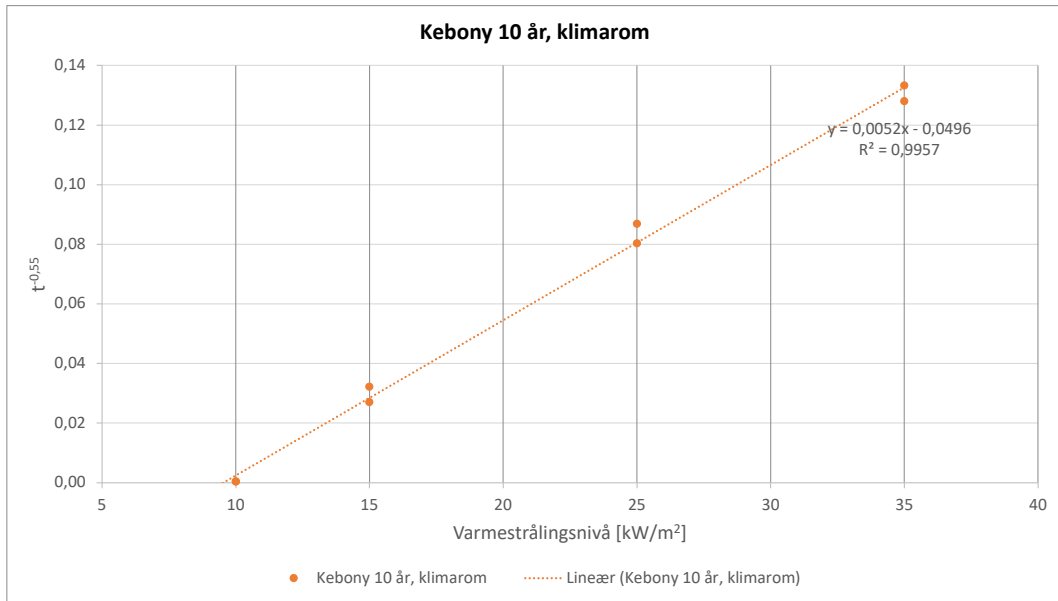
Figur 5.2: Tid til antennelse for fuktnivå og materiale, beregnet som snittet av tid til antennelse ved alle varmekraftsnivåene (inkludert fullstendige konkalorimetertester).

*For ubehandlet, 0 år, klimarom, ved 15 kW/m^2 , er det kun benyttet resultatet fra én test, da den andre ikke antente ila. 1800 sekunder.

5.3 Kritisk fluks for antennelse

Som beskrevet i kapittel 4.4.2 ble tid til antennelse målt ved varmekraftsnivåene 35, 25, 15 og 10 kW/m^2 for kritisk fluks-testene. Videre ble dette brukt til å beregne kritisk fluks for antennelse for hvert materiale. Dette ble gjort ved å benytte Janssens prosedyre, som er beskrevet i kapittel 3.6.2. For å beregne kritisk fluks måtte det settes en tid til antennelse også for de testene som ikke antente innen 30 minutter. I disse beregningene ble tid til antennelse for testene som ikke antente satt til 1 800 000 sekunder da det ble antatt at om de ikke antente innen 30 minutter, ville de aldri antenne ved det aktuelle varmekraftsnivået.

Tid til antennelse, omregnet til $t^{-0,55}$, ble plottet mot varmekraftsnivået i Excel for alle testene av samme materiale og fuktnivå. Deretter ble diagramelementet ”lineær trendlinje” lagt til for å finne trendlinjen for de aktuelle testene. Kritisk fluks kan antas å være det fluksnivået der trendlinjen krysser x-aksen. Diagrammet med resultatene fra test av Kebony 2 år, klimarom vises som et eksempel i figur 5.3. Trendlinjene for alle materialene vises i vedlegg C.



Figur 5.3: Estimering av kritisk fluks for antennelse for Kebony 10 år, klimarom. Verdien for kritisk fluks for antennelse kan defineres som den verdien der trendlinjen krysser x-aksen, som i dette tilfellet er ca. 9,5 kW/m².

Kritisk fluks for hvert materiale presenteres i tabell 5.7, mens gjennomsnittlig kritisk fluks for de tre testene med samme materiale presenteres i tabell 5.8.

Tabell 5.7: Kritisk fluks for hvert materiale og fuktnivå.

Testmateriale		Kritisk fluks [kW/m ²]
Kebony, 10 år	Tørt	8,7
	Klimarom	9,5
	Vått	9,8
Kebony, 2 år	Tørt	9,4
	Klimarom	11,2
	Vått	10,8
Ubehandlet, 0 år	Tørt	10,8
	Klimarom	11,8
	Vått	10,8

Tabell 5.8: Gjennomsnittlig kritisk fluks for hvert materiale, beregnet som snittet av de tre testene med samme materiale.

Materiale	Gjennomsnittlig kritisk fluks [kW/m ²]
Kebony, 10 år	9,3
Kebony, 2 år	10,5
Ubehandlet, 0 år	11,1

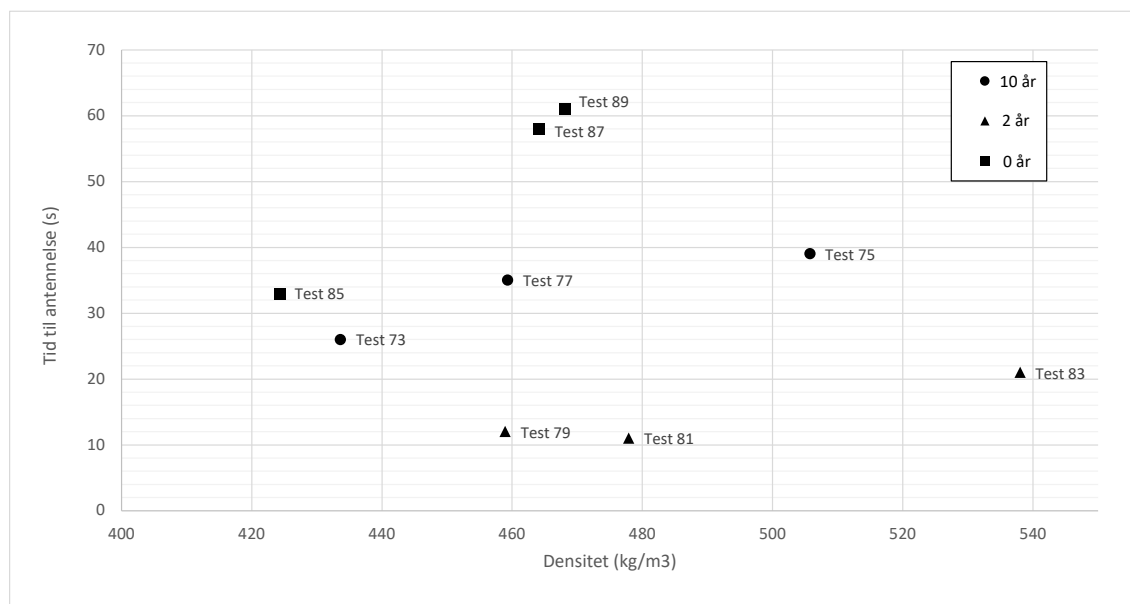
5.4 Densitet og tid til antennelse

Som beskrevet i kapittel 4.4.3 ble de ni prøvestykkene i fullstendige konkalorimetertester veid før testing. I tillegg ble størrelsen til hvert prøvestykke målt. Dette ble brukt til å beregne prøvestykkets densitet, og resultatene vises i tabell 5.9.

Tabell 5.9: Test-ID med vekt og størrelse brukt til å beregne prøvestykkets densitet.

Test-ID	Testmateriale	Vekt [g]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]	Densitet [kg/m ³]
73	Kebony 10 år, tørt	79,8	100,0	98,3	18,7	434
75	Kebony 10 år, klimarom	92,0	99,7	98,2	18,6	506
77	Kebony 10 år, vått	85,5	100,0	99,1	18,8	459
79	Kebony 2 år, tørt	82,8	99,9	99,6	18,1	459
81	Kebony 2 år, klimarom	85,5	99,7	99,1	18,1	478
83	Kebony 2 år, vått	96,9	99,9	99,7	18,1	538
85	Ubeh. 0 år, tørt	54,7	99,8	99,7	13,0	424
87	Ubeh. 0 år, klimarom	59,6	19,8	99,9	12,9	464
89	Ubeh. 0 år, vått	59,9	98,5	100,1	13,0	468

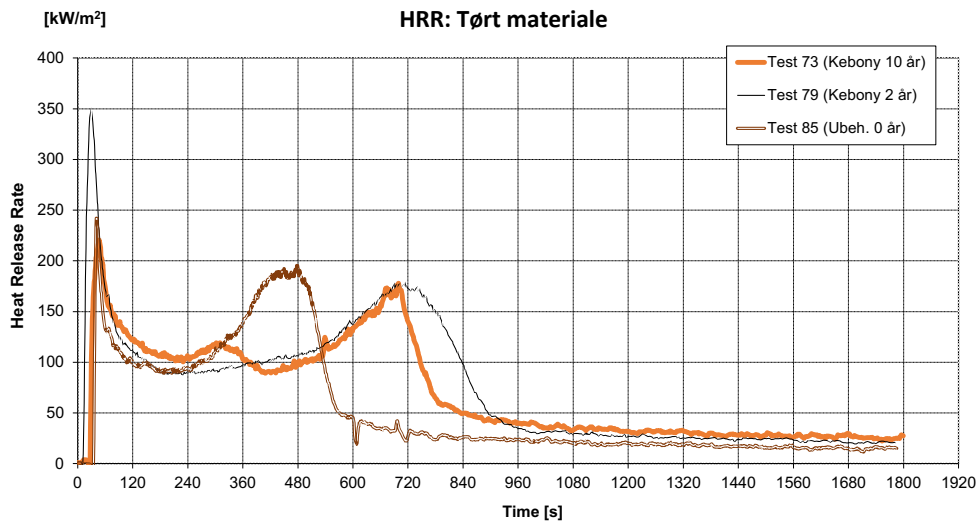
Som nevnt i teorien i kapittel 3.6 kan densitet ha innvirkning på materialets evne til å motstå antennelse. Prøvestykkenes densitet plottet mot tid til antennelse, for de fullstendige konkalorimetertestene, presenteres i figur 5.4.



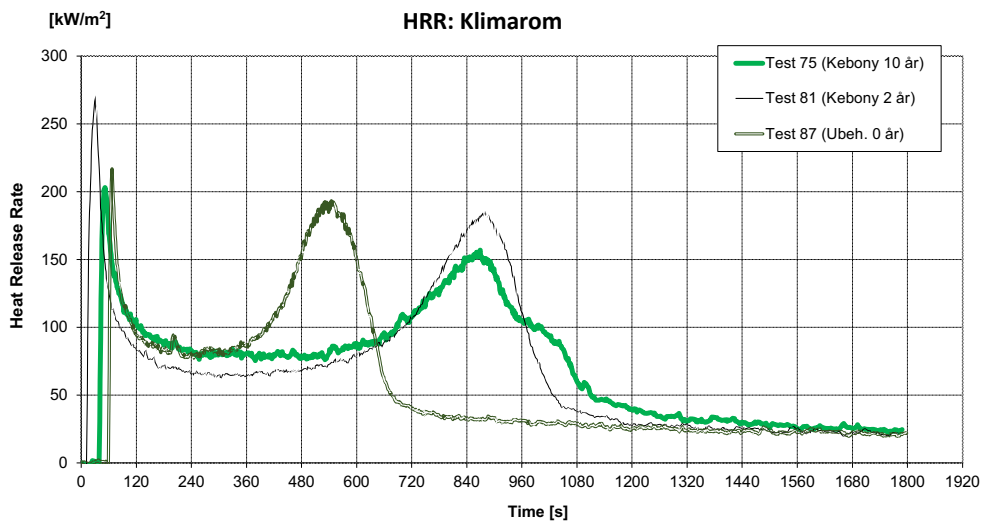
Figur 5.4: Prøvestykkenes densitet plottet mot tid til antennelse ved 35 kW/m² i de fullstendige konkalorimetertestene.

5.5 Varmeavgivelseshastighet (HRR)

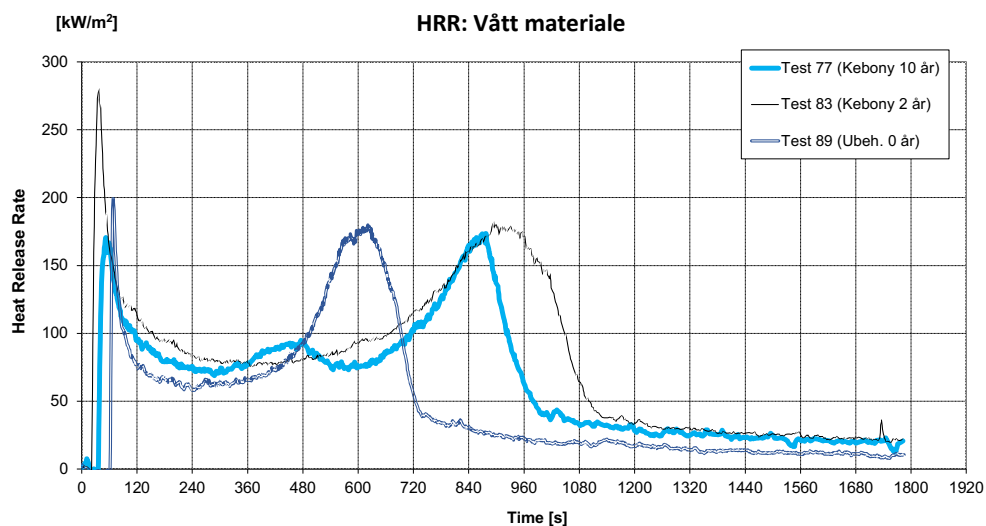
Testing i konkalorimeter logger varmeavgivelse i kW/m^2 over tid. I dette kapitlet presenteres varmeavgivelseskurvene (HRR) for de tre materialene med samme fuktnivå for å sammenligne hvordan trematerialets behandling, og eventuelt behandlingens alder, har innvirkning på treet's oppførsel under brannforløpet. Figur 5.5, figur 5.6 og figur 5.7 viser resultatene for henholdsvis tørt materiale, materiale fra klimarom og vått materiale.



Figur 5.5: HRR-kurvene for tester kondisjonert som tørt materiale.



Figur 5.6: HRR-kurvene for tester kondisjonert i klimarom.

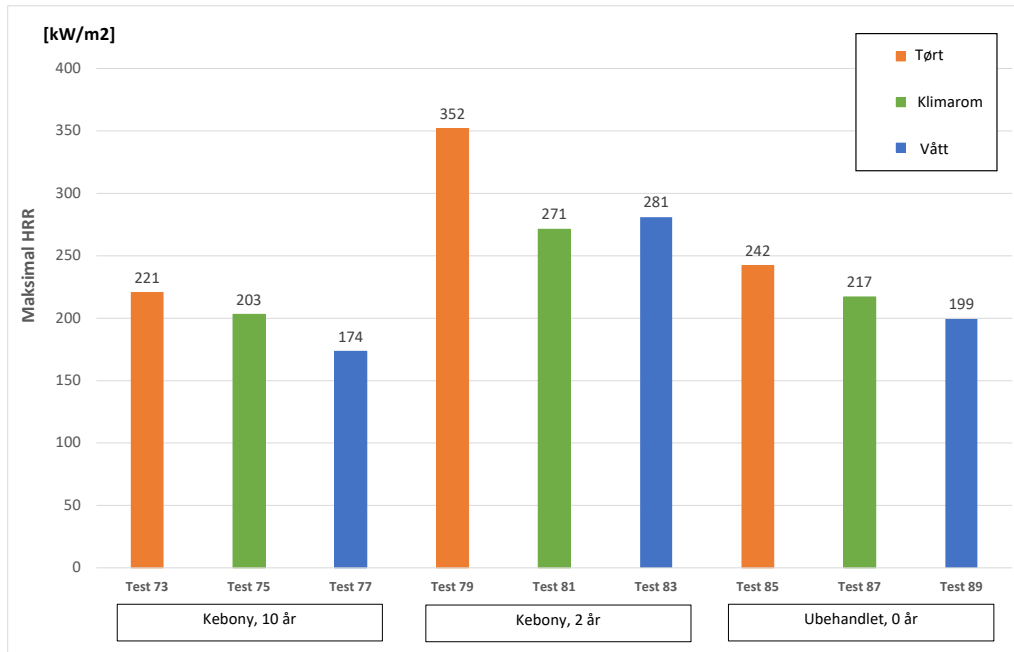


Figur 5.7: HRR-kurvene for tester kondisjonert som vått materiale.

Kurvene for de tre testene av samme materiale, men med forskjellig fuktnivå, er vist i vedlegg D for å kunne sammenligne hvordan fuktnivået påvirker materialets oppførsel under brannforløpet. Hvordan kledningens behandling og fuktnivå påvirker brannegenskapene diskuteres nærmere i kapittel 6.

5.5.1 Maksimal HRR

Figur 5.8 presenterer hver test sin maksimale varmeavgivelseshastighet i løpet av testforløpet, mens tabell 5.10 viser maksimal HRR som snittet av de tre testene med samme materiale eller med samme fuktnivå.



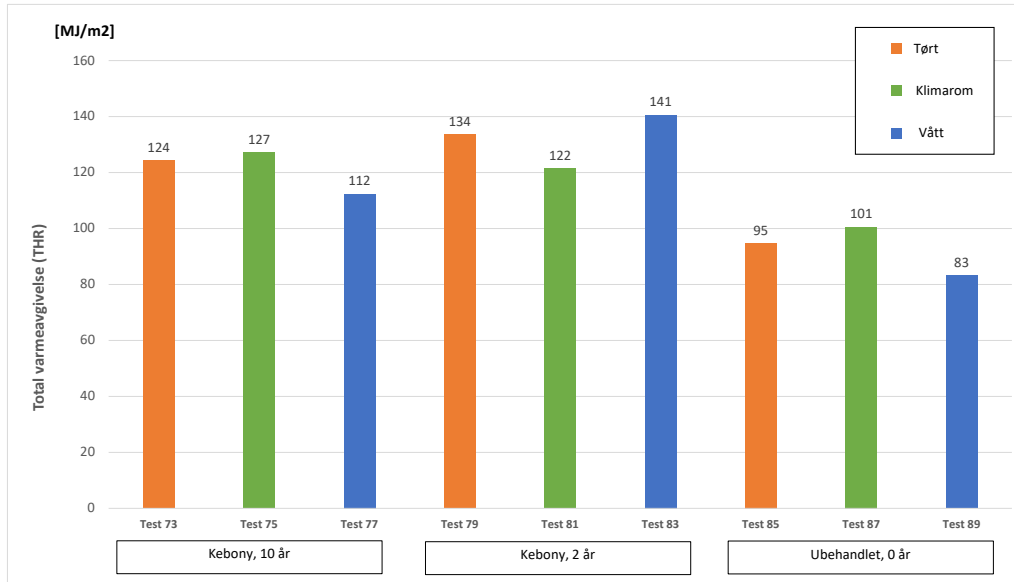
Figur 5.8: Maksimal HRR for hver av testene ilt. fullstendig konkalorimetertest.

Tabell 5.10: Gjennomsnittlig maksimal HRR for hvert materiale, beregnet som snittet av de tre testene med samme materiale.

Materiale	Gjennomsnittlig maksimal HRR [kW/m ²]
Kebony, 10 år	199
Kebony, 2 år	301
Ubehandlet, 0 år	220

5.5.2 Total varmeavgivelse (THR)

Figur 5.9 presenterer total varmeavgivelse i MJ/m² for hver av testene, mens tabell 5.11 viser gjennomsnittlig total varmeavgivelse for hvert materiale. Total varmeavgivelse er beregnet som varmeavgivelsen fra antennelse og til testen ble avsluttet etter 30 minutter.



Figur 5.9: Total varmeavgivelse (THR) fra antennelse til avsluttet test for hver av testene gjennomført som fullstendig konkalorimetertest.

Tabell 5.11: Total varmeavgivelse (THR) fra antennelse til avsluttet test for hvert materiale, beregnet som snittet av de tre testene med samme materiale.

Materiale	Gjennomsnittlig THR [MJ/m ²]
Kebony, 10 år	121
Kebony, 2 år	132
Ubehandlet, 0 år	93

5.6 FIGRA

Som beskrevet i kapittel 3.5.1 kan FIGRA beregnes ved å dividere maksimal varmeavgivelse med tiden det tar å nå maksimal varmeavgivelse. FIGRA er en brannutviklingsindeks, og sier noe om hvor fort en brann utvikler seg. Indeksen baserer seg på at mye varme avgitt i løpet av kort tid utgjør en stor trussel, og jo høyere FIGRA-verdi, jo hurtigere utvikler brannen seg.

Maksimal varmeavgivelseshastighet ble presentert i kapittel 5.5.1, men her med enheten kW/m^2 . Prøvestykkene var av størrelse (100 x 100) mm, men ettersom de var plassert i en prøveholder under testingen var det eksponerte overflatearealet kun 8840 mm^2 , eller $0,00884 \text{ m}^2$. Dette ble brukt for omregning av maksimal varmeavgivelseshastighet til enheten kW . Tabell 5.12 viser beregnet FIGRA, samt maksimal varmeavgivelse og tid til maksimal varmeavgivelse, for testene gjennomført som fullstendige konkalorimetertester. Tabell 5.13 viser gjennomsnittlig FIGRA for hvert materiale.

Tabell 5.12: FIGRA for testene gjennomført som fullstendige konkalorimetertester.

Test	Testmateriale	Maks HRR [kW]	Tid til maks HRR [s]	FIGRA [W/s]
Test 73	Kebony 10 år, tørt	1,95	47	41,5
Test 75	Kebony 10 år, klimarom	1,80	52	34,5
Test 77	Kebony 10 år, vått	1,53	877	1,7
Test 79	Kebony 2 år, tørt	3,11	28	111,1
Test 81	Kebony 2 år, klimarom	2,40	30	79,9
Test 83	Kebony 2 år, vått	2,48	37	67,1
Test 85	Ubehandlet 0 år, tørt	2,14	42	51,0
Test 87	Ubehandlet 0 år, klimarom	1,92	67	28,6
Test 89	Ubehandlet 0 år, vått	1,76	68	25,9

Tabell 5.13: Gjennomsnittlig FIGRA for hvert materiale, beregnet som snittet av de tre testene med samme materiale.

Materiale	Gjennomsnittlig FIGRA [W/s]
Kebony, 10 år	25,9
Kebony, 2 år	86,0
Ubehandlet, 0 år	35,2

5.7 Totalt massetap

Tabell 5.14 presenterer totalt massetap som en prosentandel av initiell vekt for hvert av prøvestykkene. Tabell 5.15 viser gjennomsnittlig totalt massetap for hvert materiale.

Tabell 5.14: Totalt massetap i løpet av testgjennomføring som fullstendig konkalorimeterrest.

Test-ID	Testmateriale	Initiell vekt [g]	Massetap [g]	Totalt massetap [%]
73	Kebony 10 år, tørt	79,8	68,1	85,4
75	Kebony 10 år, klimarom	92,0	76,6	83,3
77	Kebony 10 år, vått	85,5	69,6	81,3
79	Kebony 2 år, tørt	82,8	72,4	87,5
81	Kebony 2 år, klimarom	85,5	74,4	87,0
83	Kebony 2 år, vått	96,9	83,4	86,1
85	Ubehandlet 0 år, tørt	54,7	50,5	92,3
87	Ubehandlet 0 år, klimarom	59,6	53,7	90,2
89	Ubehandlet 0 år, vått	59,9	53,9	90,0

Tabell 5.15: Gjennomsnittlig totalt massetap for hvert materiale, beregnet som snittet av de tre testene med samme materiale.

Materiale	Gjennomsnittlig totalt massetap [%]
Kebony, 10 år	83,3
Kebony, 2 år	86,9
Ubehandlet, 0 år	90,9

5.8 Effektiv forbrenningsvarme

Effektiv forbrenningsvarme for testene gjennomført som fullstendige konkalorimetertester ble beregnet ved bruk av ligning 2. Her ble det brukt at eksponert overflateareal for alle prøvestykkene var $0,00884 \text{ m}^2$. Resultatet for testene presenteres i tabell 5.16, mens gjennomsnittlig effektiv forbrenningsvarme for hvert materiale vises i tabell 5.17.

Tabell 5.16: Effektiv forbrenningsvarme ved 35 kW/m^2 for testene gjennomført som fullstendig konkalorimetertest.

Test	Testmateriale	Effektiv forbrenningsvarme [MJ/kg]
Test 73	Kebony 10 år, tørt	16,1
Test 75	Kebony 10 år, klimarom	14,7
Test 77	Kebony 10 år, vått	14,3
Test 79	Kebony 2 år, tørt	16,3
Test 81	Kebony 2 år, klimarom	14,4
Test 83	Kebony 2 år, vått	14,9
Test 85	Ubehandlet 0 år, tørt	16,6
Test 87	Ubehandlet 0 år, klimarom	16,5
Test 89	Ubehandlet 0 år, vått	13,6

Tabell 5.17: Gjennomsnittlig effektiv forbrenningsvarme ved 35 kW/m^2 for hvert materiale, beregnet som snittet av de tre testene med samme materiale.

Materiale	Gjennomsnittlig effektiv forbrenningsvarme [MJ/kg]
Kebony, 10 år	15,0
Kebony, 2 år	15,2
Ubehandlet, 0 år	15,6

5.9 Predikert brannklassifisering

Resultatene fra testene gjennomført som fullstendige konkalorimetertester har videre blitt brukt til å beregne en antatt brannklassifisering for de ulike materialene. Dette er beregnet ved bruk av metoden beskrevet i kapittel 4.5, og variablene som brukes i beregningen er densitet, total varmeavgivelse og totalt massetap. De predikerte brannklassifiseringene presenteres i tabell 5.18.

Tabell 5.18: Predikert brannklassifisering for testene gjennomført som fullstendig konkalorimetertest.

Test	Testmateriale	Antatt euroklasse
Test 73	Kebony 10 år, tørt	C
Test 75	Kebony 10 år, klimarom	C
Test 77	Kebony 10 år, vått	C
Test 79	Kebony 2 år, tørt	C
Test 81	Kebony 2 år, klimarom	C
Test 83	Kebony 2 år, vått	C
Test 85	Ubehandlet 0 år, tørt	D
Test 87	Ubehandlet 0 år, klimarom	D
Test 89	Ubehandlet 0 år, vått	D

5.10 Observasjoner under testing

For testene gjennomført som kritisk fluks-tester ble det observert at de ubehandlede prøvestykkene produserte mer og mørkere røyk enn Kebonykledningene. En annen observasjon var at de testene som hadde kvist i seg ved flere tilfeller antente raskere enn de uten kvist ved eksponering for varmestrålingsnivå 15 kW/m^2 . Dette var tilfellet for to år gammel Kebony kondisjonert som tørt (test 25 og 26) og for fersk ubehandlet furukledning kondisjonert i klimarom (test 33 og 34). Dette diskuteres nærmere i kapittel 6.2.

6 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene fra branntesting. Usikkerheter ved forberedelser og testing gjennomgås før resultater tolkes og sammenlignes med litteraturen beskrevet i kapittel 3. Det diskuteres forskjeller mellom Kebonykledningene og ubehandlet furukledning, samt forskjeller mellom materialer med ulikt fuktinnhold. Til slutt diskuteres fordeler og ulemper med kritisk fluks for antennelse som et kriterium for brannklassifisering av trekledning.

6.1 Metodekritikk

6.1.1 Usikkerheter ved kritisk fluks-testene

En generell usikkerhet ved kritisk fluks-testene er at det kun ble gjennomført to tester med samme testmateriale og fluksnivå. Grunnen til at dette ble gjort var at tilgangen på testmateriale var begrenset, så det var ikke nok materiale til å kunne gjennomføre mer enn to tester. Det anbefales ofte å ha tre tilsvarende tester, for å få et mer representativt resultat.

I noen av testene var det svært stor forskjell mellom to tester av samme testmateriale og fluksnivå, og her burde det vært gjennomført en til test for å få et mer representativt resultat som ikke ble like påvirket av den eventuelt avvikende testen. For eksempel var det stor forskjell mellom to av testene av Kebony 2 år, tørt, ved fluksnivå 15 kW/m^2 . Her antente en av testene etter 70 sekunder, mens den andre antente etter 530 sekunder. Det var også veldig stor forskjell mellom to tester av ubehandlet 0 år, klimarom, ved fluksnivå 15 kW/m^2 , hvor en test antente etter 1151 sekunder, mens den andre ikke antente i løpet av 1800 sekunder. Dette kan man se i trendlinjene i vedlegg C, hvor det er stort sprik mellom noen av resultatene ved samme varmekraft.

Som nevnt i kapittel 4.4.2 ble det satt en tidsbegrensning på kritisk fluks-testene. Dersom materialet ikke antente i løpet av 30 minutter, altså 1800 sekunder, ble testen avbrutt. På denne måten er det antatt at om materialet ikke antente i løpet av 1800 sekunder, så antenner det ikke i det hele tatt ved det aktuelle varmekraftnivået. Dette ble antatt fordi om materialet har blitt utsatt for en varmekraft i så lang tid uten å antenne, vil overflaten ha forkullet og dermed isolert det friske trevirket under slik at dette ikke antenner. En usikkerhet ved denne antagelsen er dermed at i resultatene vil det ikke være noen forskjell på om materialet aldri hadde antent, eller om det for eksempel hadde antent etter 1805 sekunder.

Det ble derfor gjennomført en sensitivitetsanalyse for å vurdere usikkerheter i testingen og i beregningene av kritisk fluks for antennelse. Utrekningene for sensitivitetsanalysen vises i vedlegg E. Som nevnt i kapittel 5.3 ble det i beregningene for kritisk fluks for antennelse

brukt 1 800 000 sekunder som tid for de testene som ikke antente. I sensitivitetsanalysen ble det derfor sett på hvordan kritisk fluks endret seg dersom det ble brukt 1800 sekunder i stedet, ettersom testene i teorien kunne antent etter 1805 sekunder. I tillegg ble det sett på hvordan kritisk fluks endret seg dersom dersom det kun ble brukt laveste verdi av to tester som hadde resultater med stort sprik. For testen som hadde et prøvestykke som antene, og et annet som ikke, ble tiden for prøvestykket som antente brukt, ettersom dette resultatet viste at prøvestykket kan antenne. For testene som hadde to svært forskjellige resultater for to tilsvarende prøvestykker, ble raskeste tid til antennelse brukt for å demonstrere kritisk fluks for antennelse ved verste scenario av de to resultatene.

En oppsummering av resultatene fra sensitivitetsanalysen med hvordan gjennomsnittlig kritisk fluks for antennelse endret seg ved endring i to ulike parametere vises i tabell 6.1.

Tabell 6.1: Sensitivitetsanalyse for beregning av gjennomsnittlig kritisk fluks for antennelse.

Materiale	Kritisk fluks for antennelse [kW/m^2]		
	Opprinnelig	1800s i stedet for 1.800.000s	Bruke laveste verdi av resultater med stort sprik
Kebony, 10 år	9,3	7,4	9,3
Kebony, 2 år	10,5	9,5	10,2
Ubehandlet, 0 år	11,1	8,8	10,8

Det er tydelig at den parameteren som har størst betydning for beregningen av kritisk fluks for antennelse er tiden man setter for de testene som ikke antente. Dette ser man også i grafene i vedlegg E, hvor det er linjen for "1800 s i stedet for 1.800.000 s" som får den største helningen, og altså endringen, for alle tre materialene.

Som nevnt ble det i denne oppgaven brukt 1 800 000 sekunder for testene som ikke antente innen 30 minutter. Dette ble gjort fordi det ble antatt at om testen ikke antente innen 30 minutter, ville den aldri antenne. Derfor ble en tid som vil tilsvare tilnærmet uendelig brukt. Ved å endre tiden fra 1 800 000 sekunder til 1800 sekunder for de testene som ikke antente, får man tydelig lavere kritisk fluks for antennelse for alle materialene. Ettersom det er svært stor forskjell mellom 1800 sekunder og 1 800 000 sekunder, ble det også sett på hvordan kritisk fluks for antennelse endret seg ved å bruke 3600 sekunder. Kritisk fluks for antennelse ble da $8,1 \text{ kW}/\text{m}^2$, $9,8 \text{ kW}/\text{m}^2$ og $9,6 \text{ kW}/\text{m}^2$ for henholdsvis ti år gammel Kebony, to år gammel Kebony og fersk ubehandlet.

Sammenligner man resultatene ved å endre tiden til 3600 sekunder med resultatene ved å bruke laveste verdi av resultater med stort sprik, ser man at det fortsatt blir størst endring fra opprinnelig kritisk fluks ved å endre tiden. Igjen tyder dette på at tiden man setter for de testene som ikke antente er av stor betydning for beregningen av kritisk fluks for antennelse.

6.1.2 Usikkerheter ved de fullstendige konkalorimetertestene

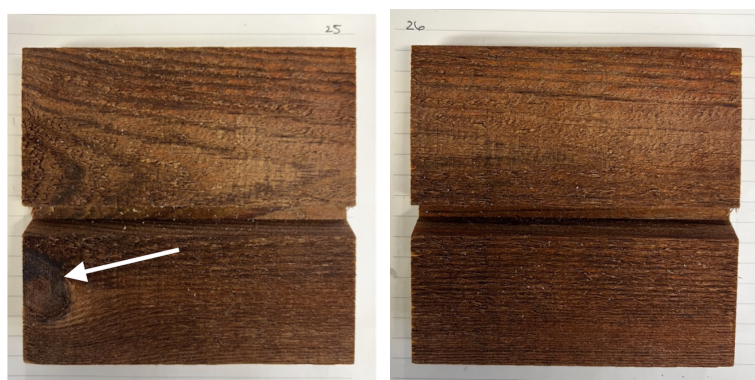
En usikkerhet ved de fullstendige konkalorimetertestene er at det kun ble gjennomført én test av hvert materiale med hvert fuktnivå. Dette ble gjort av samme grunn som nevnt tidligere, det var begrenset mengde testmateriale tilgjengelig.

Dette fører til at resultatene fra testene gjennomført som fullstendig konkalorimetertest, som varmeavgivelseshastighet, maksimal varmeavgivelse, total varmeavgivelse, FIGRA, massetap, effektiv forbrenningsvarme og predikert brannklassifisering kun baserer seg på resultater fra én enkelt test med samme materiale og fuktnivå. Gjennomsnittet for et materiale baserer seg derimot på tre tester, men de har ulikt fuktinnhold.

6.2 Forskjeller mellom prøvestykkene

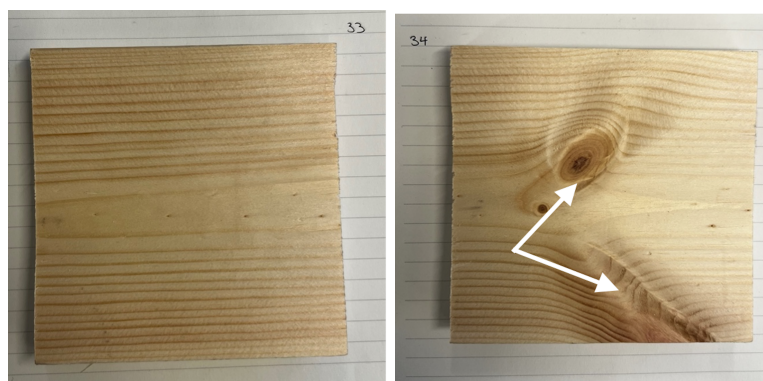
Som nevnt i kapittel 4.2 var det store variasjoner mellom de ulike prøvestykkene, og at faktorer som varierte var mengde kvist, mose, skruehull og skraper. Fra resultatene tyder det ikke på at mose, skraper og skruehull hadde noen påvirkning på tid til antennelse, kritisk fluks for antennelse, varmeavgivelseshastighet etc. Den faktoren som trolig hadde størst betydning var kvist. Som nevnt i kapittel 5.10 ble det observert at flere av prøvestykkene som inneholdt kvist antente raskere enn de uten ved varmefluks 15 kW/m^2 .

Fra resultatene i tabell 5.3 ser man at ved varmefluks 15 kW/m^2 var det stor forskjell på tid til antennelse mellom flere tilsvarende prøvestykker. Generelt kan det være større forskjell på tid til antennelse ved lavere varmefluks enn ved høye. Likvel ble det observert at det var spesielt store forskjeller mellom prøvestykker med kvist og de uten kvist. Dette gjelder for eksempel to år gammel Kebony kondisjonert som tørt (test 25 og 26), hvor test 25 antente etter 70 sekunder, mens test 26 antente etter 530 sekunder. Test 25 inneholdt noe kvist, mens test 26 ikke gjorde det. De to prøvestykkene er vist i figur 6.1.



Figur 6.1: Test 25 til venstre (med kvist), test 26 til høyre (uten kvist).

Det samme var tilfellet for fersk ubehandlet furukledning kondisjonert i klimarom (test 33 og 34), hvor test 33 ikke antente 1800 sekunder, mens test 34 antente etter 1151 sekunder. Test 33 inneholdt ikke kvist, men det gjorde test 34, som vist i figur 6.2.



Figur 6.2: Test 33 til venstre (uten kvist), test 34 til høyre (med kvist).

Tid til antennelse for kritisk fluks-testene ved 15 kW/m^2 , sammen med observasjonene av kvist i prøvestykkene, kan tyde på at kvist hadde stor betydning for hvor raskt prøvestykket antente ved denne testmetoden. For et prøvestykke på $100 \times 100 \text{ mm}$ kan mengde kvist utgjøre en stor andel, noe som kan være grunnen til at det påvirker i såpass stor grad. Likevel kan det være at dette vil påvirke i langt mindre grad dersom man tester materialene i en større skala, noe som også vil være likere sluttbruken til produktet.

6.3 Prøvestykkenes fuktinnhold

Målet med kondisjoneringen var at tørt materiale skulle tørkes til et fuktnivå på $2 \pm 2 \%$, mens klimarom-materialet skulle ligge på rundt $9 \pm 2 \%$. Dette var ganske enkelt å få til da RISE kunne stille med nødvendig utstyr for slik kondisjonering, og fra resultatene i tabell 5.2 ser en at de nevnte fuktinnholdene ble oppnådd for alle materialtypene.

Derimot var metoden brukt for å kondisjonere materialet til fuktnivået ”vått” litt eksperimentell. Målet var at materialet skulle oppnå et fuktinnhold på 16-18 %, men resultatet etter tørking viste at prøvestykkene hadde et fuktnivå på 10,0 %, 12,4 % og 14,1 %. Dette var vesentlig lavere enn ønsket nivå, noe som viser at valgt metode ikke hadde helt suksess.

Som beskrevet i kapittel 4.4.1 ble fuktinnholdet for et materiale og fuktnivå beregnet ut fra tørking av ett prøvestykke, med samme behandling, alder og kondisjonering. Dette betyr at fuktinnholdet for alle fuktnivåene kun er basert på ett prøvestykke, og det er derfor en usikkerhet om det aktuelle fuktinnholdet er representativt. Likevel ble alle prøvestykkene med samme fuktnivå kondisjonert på lik måte og oppbevart under like forhold, noe som tilsier at fuktinnholdet burde være relativt likt for materialene av samme type.

Fra resultatene fremgår det at fuktinnholdet for fuktnivåene ”tørt” og ”klimarom” var relativt likt mellom de tre forskjellige materialene, men for fuktnivået ”vått” var det tydelig forskjeller. Ti år gammel Kebonykledning hadde et fuktinnhold på 10 %, to år gammel hadde 12,4 %, mens fersk ubehandlet hadde 14,1 %. Her hadde de to Kebonykledningene et tydelig lavere fuktinnhold enn det ubehandlede treet. Dette tyder på at Kebonykledningene hadde et lavere fuktopptak.

I litteraturen ble det også funnet testing gjennomført av furfurylert tre med hensyn til fuktopptak. Resultatene ble presentert i kapittel 3.7, og de demonstrerte at furfurylert tre hadde et lavere fuktinnhold enn ubehandlet tre etter kondisjonering ved høy relativ fuktighet i luften. Dette betydde også at furfurylert tre ikke absorberte like mye av vannmolekylene fra den omgivende luften som ubehandlet tre gjorde.

Resultatene fra litteraturen demonstrerte også at furfurylering påvirket likevektsfuktigheten til treet. Resultatene viste at furfurylert tre hadde en lavere likevektsfuktighet enn ubehandlet tre, noe som betyr at furfurylert tre vil ha et lavere fuktopptak enn ubehandlet tre når de eksponeres for samme temperatur og luftfuktighet. Andre faktorer som kunne påvirke trets likevektsfuktighet var treslag og modifieringsgrad.

For materialene i litteraturen ble likevektsfuktigheten målt på ren yteved, noe som kan forklare hvorfor det ble en så tydelig reduisering i likevektsfuktigheten. Som beskrevet i kapittel 3.1.2 består Kebonykledning av både behandlet yteved og ubehandlet kjerneved. Likevektsfuktigheten reduseres ikke like betydelig for kjerneved som for yteved (Lande, 2022). Likevel kan redusert likevektsfuktighet forklare hvorfor Kebonykledningene i denne oppgaven hadde et lavere fuktinnhold enn ubehandlet tre etter kondisjonering til fukt-nivået "vått". Ved kondisjonering av det våte materialet ble materialet oppbevart i en lufttett boks med høy luftfuktighet, men ettersom den furfurylerte yteveden i Kebonytreet har en tydelig redusert likevektsfuktighet er det naturlig å anta at Kebonytreet til slutt ville innstille seg til et lavere fuktinnhold enn det ubehandlet tre gjorde.

Videre ble det også funnet resultater i litteraturen fra branntesting av Kebonytre i henhold til ISO 5660. Dette ble beskrevet i kapittel 3.8.1. Materialet ble kondisjonert i klimarom (23 °C og 50 % RF) og fikk et fuktinnhold på 7,7 %. Dette var enda lavere enn for Kebonykledningene kondisjonert i klimarom i denne oppgaven, som var 9,5 % og 10,9 %. Dette underbygger antagelsen om at Kebonykledningen har en redusert likevektsfuktighet som fører til et lavere fuktopptak. Dette kan forklare hvorfor det var vanskelig å oppnå et så høyt fuktinnhold for Kebonykledningene som det var tiltenkt.

Likevel var det interne forskjeller i fuktinnhold mellom ti og to år gammel Kebony. For materialet kondisjonert i klimarom, og materialet kondisjonert som vått, hadde ti år gammel Kebonykledning et lavere fuktinnhold enn to år gammel, selv om de var kondisjonert ved like forhold. Dette kan skyldes usikkerheter i metoden, eller det kan skyldes ulik modifieringsgrad for materialet av ti og to år gammel Kebonykledning. Dersom den ti år gamle Kebonykledningen hadde en høyere modifieringsgrad, vil det bety at likevektsfuktigheten var redusert mer og materialet stabiliserer seg på et lavere fuktinnhold. Dette kan være en forklaring på hvorfor ti år gammel Kebony hadde et lavere fuktinnhold enn to år gammel.

6.4 Tid til antennelse

I kapittel 5.2 ble tid til antennelse for kritisk fluks-testene og konkalorimetertestene presentert. Ved kritisk fluks-testene ble prøvestykkene eksponert for fire forskjellige varme-fluksnivåer (35, 25, 15 og 10 kW/m²), mens ved fullstendig konkalorimetertest ble de kun eksponert for ett varmeknivå (35 kW/m²).

Kebony vs. ubehandlet

Det fremgår av resultatene fra kritisk fluks-testene i figur 5.1 at fersk ubehandlet furukledning i snitt brukte lenger tid på å antenne enn de to Kebonykledningene ved alle varmeknivåene. Det var også noe forskjell mellom ti og to år gammel Kebonykledning. Fra gjennomsnittlig tid til antennelse for hvert materiale ved de tre varmeknivåene, vist i tabell 5.5, fremgår det at to år gammel Kebonykledning antente raskest ved 35 og 25 kW/m², mens ved 15 kW/m² var det plutselig ti år gammel Kebonykledning som antente raskest.

Resultatene tyder derfor på at ubehandlet kledning har bedre motstand mot å antennes når det utsettes for en ekstern varmeknivå enn det Kebonykledning har. Samtidig viste det seg at ti år gammel Kebonykledning tålte eksponering for høye varmeknivåer (35 og 25 kW/m²) bedre enn to år gammel Kebonykledning, mens den to år gamle Kebonykledningen tålte eksponering for lavere varmeknivå (15 kW/m²) bedre enn den ti år gamle.

Tid til antennelse for testene gjennomført som fullstendige konkalorimetertester ble presentert i kapittel 5.2.2. Disse testene ble gjennomført ved varmeknivå 35 kW/m², og kun en test ble gjennomført for hvert materiale med et bestemt fuktinnhold. Fra disse resultatene fremgår det også at ubehandlet kledning brukte lengst tid på å antenne. I snitt brukte ti år gammel Kebonykledning 33 sekunder på å antenne, to år gammel Kebony brukte 15 sekunder, mens ubehandlet brukte 51 sekunder.

Resultatene fra konkalorimetertestene ble også inkludert i resultatene i kapittel 5.2.3 for å undersøke om gjennomsnittlig tid til antennelse for et materiale ved varmeknivå 35 kW/m² forandret seg. I tabell 5.5 ser man at forskjellen mellom kolonne "35", som kun er resultater fra kritisk fluks-testene, og kolonne "35 (inkl. kon)" er maksimalt 1 sekund. Dette viser at resultatene fra konkalorimetertestene stemmer med resultatene fra kritisk fluks-testene, at ved høy varmeknivå (35 kW/m²) er det ubehandlet som har best motstand mot å antennes, mens to år gammel Kebonykledning har dårligst.

I litteraturen ble det funnet resultater fra branntesting gjort av Kebonykledning i 2006, og funnene ble presentert i kapittel 3.8.1. Her ble Kebonykledning kondisjonert i klimarom testet i henhold til ISO 5660 (konkalorimeter), ved varmeknivå 50 kW/m². Dette er en høyere varmeknivå enn det som ble brukt i testingen i denne oppgaven, som var 35 kW/m², slik at resultatene ikke er direkte sammenlignbare. Kebonykledningen fra testing i 2006 hadde et fuktinnhold på 7,7 %, og tid til antennelse ved 50 kW/m² var 20 sekunder.

Det materialet i denne oppgaven som er mest sammenlignbart med funnene i litteraturen er Kebonykledningene som ble kondisjonert i klimarom, ettersom dette materialet hadde et fuktinnhold nærmest 7,7 %. Kebony 10 år, klimarom, hadde et fuktinnhold på 9,5 %, mens Kebony 2 år, klimarom, hadde et fuktinnhold på 10,9 %. Ti år gammel Kebony fra klimarom antente i snitt etter 40 sekunder, mens to år gammel Kebony fra klimarom i snitt antente etter 12 sekunder.

Sammenlignet med litteraturen betyr dette at to år gammel Kebony antente raskere, selv ved eksponering for en lavere varmekraft og med et høyere fuktinnhold. Dette kan skyldes forskjeller i modifieringsgrad, eventuelt forskjellig aldring av materialet. Som beskrevet i kapittel 6.3 var det forskjell i fuktopptak for ti og to år gammel Kebonykledning, og en mulig forklaring på dette kunne være at den ti år gamle Kebonykledningen hadde en høyere modifieringsgrad. Ettersom Kebonykledningen fra 2006 hadde et enda lavere fuktinnhold enn ti år gammel Kebony i denne oppgaven, kan det bety at 2006-materialet hadde en høyere modifieringsgrad, eventuelt var eldre enn Kebonykledningene i denne oppgaven. Dersom denne antagelsen stemmer, kan resultatene tyde på at Kebonykledning med høyere modifieringsgrad eller aldret over lenger tid, har bedre motstand mot antennelse ved høye varmekraftser.

Fuktinnhold

Ved sammenligning av tid til antennelse med fokus på fuktnivåene vises det i figur 5.1 at tørt materiale i snitt antente raskere enn materialet fra klimarom og vått materiale. Unntaket var for fersk ubehandlet furukledning, hvor klimarom-materialet i snitt antente raskere enn tørt materiale. Forskjellen mellom tørt materiale og de to andre fuktnivåene ble også større jo lavere varmekraftsnivået ble.

Dette stemmer med teorien beskrevet i kapittel 3.6. For at trevirket skal begynne å brenne må fuktigheten reduseres. Så ved eksponering for en ekstern varmekraft vil vannet i trevirket drives ut, og temperaturen i treet vil ikke øke mer før alt treet i vannet har fordampet. Trematerialet med et høyere fuktinnhold vil derfor bruke lenger tid på å fordampe alt vannet enn trematerialet som allerede er tørket og har et lavt fuktinnhold. Derfor vil det også ta lenger tid å antenne det våte materialet enn det tørre materialet.

I litteraturen ble det også funnet resultater fra branntesting hvor påvirkning av trematerialets fuktinnhold ble undersøkt, og konklusjonene fra disse testene ble presentert i kapittel 3.8.3. Det ble konkludert med at et økende fuktinnhold øker tid til antennelse og at tilstedeværelsen av fuktighet forsinket nedbrytningsprosessen og fortynner forbrenningsproduktene. Dette underbygger resultatene fra testingen i denne oppgaven, at kledning med et lavt fuktinnhold antenner raskere enn kledning med høyere fuktinnhold.

Som nevnt var det forskjeller i tid til antennelse mellom ti og to år gammel Kebony. Det ble undersøkt om fuktinnholdet kunne forklare hvorfor ti år gammel Kebony plutselig antente raskere enn to år gammel Kebony ved varmekraft 15 kW/m². Fra resultatene

for fuktinnhold fremgår det at ti år gammel Kebonykledning hadde et lavere fuktinnhold enn to år gammel Kebony for alle fuktnivåene. Det at ti år gammel Kebonykledning plutselig antente raskere enn to år gammel Kebony ved varmekraft 15 kW/m² kan derfor ikke forklares med et lavere fuktinnhold. Ved høyere varmekraft (25 og 35 kW/m²) var nemlig også fuktinnholdet i ti år gammel Kebony lavere enn to år gammel Kebony, men her antente to år gammel raskest.

Videre var det ikke så store forskjeller i tid til antennelse ved sammenligning av fuktnivåene ”klimarom” og ”vått” for samme materiale ved de forskjellige varmekraftnivåene. Dette kan skyldes at det ikke var spesielt store forskjeller mellom fuktinnholdet i klimarom-materialet og vått materiale, som diskutert i kapittel 6.3. Dermed ble prøvestykkene av disse to fuktnivåene ganske like, og resultatene deretter.

6.5 Kritisk fluks for antennelse

Kritisk fluks for antennelse ble beregnet basert på tid til antennelse fra kritisk fluks-testene, slik at de to resultatene henger sammen. Estimert kritisk fluks for antennelse for de ulike materialene og fuktnivåene ble presentert i kapittel 5.3. Jo lavere kritisk fluks for antennelse et materiale har, jo lettere er materialet å antenne. I litteraturen er det stor variasjon i hvilken verdi som brukes som kritisk fluks for antennelse for ubehandlet tre. Som presentert i kapittel 3.8.4 varierer verdien fra 10-15 kW/m². I tillegg ble det konkludert med at verdien 12,56 kW/m² ga en tilstrekkelig sikkerhetsmargin ved bestemmelse av nødvendig avstand mellom byggverk, selv for tørt trevirke.

I standarden SN-INSTA/TS 950:2014 ble det angitt at vurderingskriteriet for å vurdere risikoen for brannspredning for materialer med klasse dårligere enn A2-s1,d0 settes til 15 kW/m² på mottakoverflaten i 30 minutter. I de britiske byggereglene fra 2007 ble det angitt at ved beregning av minimal avstand mellom bygninger med ubeskyttet område, kan varmestrålingsintensiteten settes til 12,6 kW/m². Denne verdien ble fjernet i byggereglene fra 2019, men det blir referert til en rapport som beskriver beregningsmetoden hvor denne verdien brukes. Dette tyder på at kriteriet med varmekraft 15 og 12,6 kW/m² brukes ved beregning av sikker avstand for brennbar materiale, og ikke som en fastsatt referanseverdi for kritisk fluks for antennelse for ubehandlet tre.

Kebony vs. ubehandlet

Fra resultatene fremgår det at det var ti år gammel Kebonykledning som hadde lavest kritisk fluks for antennelse. Det materialet som i snitt hadde høyest kritisk fluks for antennelse var fersk ubehandlet furukledning, med 11,1 kW/m², og testene som oppnådde høyest kritisk fluks for antennelse var av ubehandlet 0 år, klimarom, med 11,8 kW/m². Dette er fortsatt i det nedre sjiktet av referanseverdiene på 10-15 kW/m², noe som viser at referanseverdiene kanskje ikke er et godt sammenligningsgrunnlag for testene i denne

oppgaven. Det kan være derfor verdien har blitt gått litt bort fra i de britiske byggereglene fra 2019.

Likt som for tid til antennelse, kan man ut fra resultatene for kritisk fluks konkludere med at ti år gammel Kebonykledning er lettere å antenne enn to år gammel Kebonykledning, som igjen er lettere å antenne enn ubehandlet trekledning.

Derimot viste tid til antennelse for ti og to år gammel Kebony at to år gammel antente lettere dersom varmeffluksen var høy, mens ti år gammel antente lettere ved lav varmeffluks. Dette er vanskeligere å se ut fra resultatene for kritisk fluks, som antyder at ti år gammel Kebony generelt antenner lettest. Men som vist i tabell 5.6, som viser gjennomsnittlig tid til antennelse for alle testene av ett materiale, inkludert alle fuktnivåene og varmeffluksnivåene, var det ti år gammel Kebonykledning som i snitt antente raskest. Dette stemmer med beregnet kritisk fluks for antennelse, og at ti år gammel Kebonykledning antenner lettere enn to år gammel Kebonykledning.

I litteraturen ble det funnet kritisk fluks for antennelse beregnet fra testing av royallimpregnert furukledning, som presentert i kapittel 3.8.2. Kritisk fluks for antennelse var $4,9 \text{ kW/m}^2$ for fersk royalkledning, mens den var $< 10,5 \text{ kW/m}^2$ for 18 mnd. gammel royalkledning. Det antas at ettersom testingen ble gjort i henhold til ISO 5660, ble også prøvestykkene kondisjonert i henhold til samme standard, som vil si kondisjonert i klimarom. Derfor vil resultatene fra royalkledningen kun sammenlignes med resultatene for materialet kondisjonert i klimarom.

Resultatene fra testingen i denne oppgaven viste at kritisk fluks for de tre materialene kondisjonert i klimarom var $9,5 \text{ kW/m}^2$ for ti år gammel Kebony, $11,2 \text{ kW/m}^2$ for to år gammel Kebony og $11,8$ for ubehandlet furu. Dette viser at både to år gammel Kebonykledning og ubehandlet furukledning hadde høyere kritisk fluks for antennelse, og dermed bedre motstand mot å antennes, enn royalkledning (både fersk og 18 mnd. gammel).

Resultatene for royalkledningen viste at aldret kledning hadde høyere kritisk fluks for antennelse enn den ferske, men resultatene for Kebonykledningene i denne oppgaven viste at ti år gammel Kebony hadde lavere kritisk fluks enn to år gammel. Dette demonstrerer at det er forskjeller selv mellom materialer med samme behandling. Om dette skyldes behandlingens alder eller om det er en konsekvens av ulik modifieringsgrad er noe som burde undersøkes nærmere.

Likevel var forskjellen mellom kritisk fluks for antennelse mellom de to Kebonykledningene langt mindre enn forskjellen mellom fersk og aldret royalkledning. Dette kan forklares ved å se på resultatene for tid til antennelse for de to Kebonykledningene ved ulike varmeffluksnivåer. Som beskrevet tidligere var det et skille mellom varmeffluks 25 og 15 kW/m^2 , hvor det ble byttet om hvilket materiale som antente raskest. Dette kan forklare hvorfor det ikke var større forskjell i kritisk fluks for antennelse mellom de to Kebonykledningene.

Fuktinnhold

Ved sammenligning av kritisk fluks for antennelse med fokus på fuktnivåene ser man at tørt materiale generelt hadde lavere kritisk fluks enn klimarom-materialet og vått materiale. Dette gjelder spesielt for Kebonykledningene.

Dette henger sammen med resultatene for tid til antennelse, hvor tørt materiale antente raskere enn klimarom-materialet og vått materiale. Likevel var ikke dette skillet mellom kritisk fluks for tørt materiale og de to andre fuktnivåene like tydelig for fersk ubehandlet furukledning som for Kebonykledningene. Her hadde tørt og vått materiale samme kritisk fluks for antennelse, mens klimarom-materialet hadde høyest.

Selv om Kebonykledningene hadde forskjeller mellom kritisk fluks for antennelse for tørt materiale og de fuktigere materialene, var ikke forskjellen spesielt stor. Forskjellen mellom lavest kritisk fluks (tørt materiale) og høyest for ti år gammel Kebony var $1,1 \text{ kW/m}^2$, mens forskjellen var $1,8 \text{ kW/m}^2$ for to år gammel Kebony. Så selv om det var forskjeller mellom fuktnivåene, var ikke forskjellene av betydelig grad.

6.6 Densitet og tid til antennelse

I figur 5.4 ble prøvestykkenes densitet plottet mot tid til antennelse for testene gjennomført som fullstendig konkalorimetertest, ved varme fluks 35 kW/m^2 . Fra resultatene er det ikke en veldig tydelig sammenheng mellom høyere densitet og lenger tid til antennelse. For eksempel hadde det prøvestykket med høyest densitet (test 83) tredje raskest tid til antennelse. Dette var et prøvestykke av to år gammel Kebony, vått. I tillegg var det stor spredning i tid til antennelse mellom de testene som hadde relativt lik densitet (mellom 459 og 478 kg/m^3), test 77, 79, 81, 87 og 89. Tid til antennelse varierte her mellom 11 og 61 sekunder.

I teorien i kapittel 3.6 ble det beskrevet at treslag og densitet kan påvirke treets brannoppførsel. Det ble nevnt at treslag som har høyere densitet kan ha bedre brannegenskaper, men at tid til antennelse også påvirkes av hva slags treslag det er. Ettersom alle testene i denne oppgaven ble gjennomført med prøvestykker av samme treslag, furu, bare med ulik behandling og aldring, kan dette være en forklaring på hvorfor det ikke var en tydelig sammenheng mellom densitet og tid til antennelse. Det kan være at det med forskjell i densitet menes en større forskjell enn det som er tilfellet for variasjoner for prøvestykker av samme materiale.

Det kan heller være andre faktorer enn densiteten som spilte inn ved antennelse av disse prøvestykkene. For eksempel ser man fra figur 5.4 at det var testene av to år gammel Kebonykledning (test 79, 81 og 83) som antente raskest. I snitt hadde disse tre testene høyest densitet. Videre var de to testene som hadde lengst tid til antennelse (test 87 og 89) av fersk ubehandlet furu, og disse hadde ikke spesielt høy densitet. Dette tyder på at prøvestykkets densitet ikke spilte en stor rolle for tid til antennelse, men at det heller var

prøvestykkets behandling som var av betydning.

6.7 Varmeavgivelseshastighet (HRR)

Varmeavgivelseshastigheten (HRR) sier noe om hvor mye varme som produseres ved forbrenning av materialet. Resultatene fra testene vises i kapittel 5.5. Alle testene hadde en varmeavgivelseshastighet som utviklet seg som beskrevet i teorien i kapittel 3.6.3. HRR økte raskt i starten og nådde en topp kort etter antennelse, så avtok HRR og holdt seg mer stabil en stund før en ny topp i HRR ble nådd. Deretter avtok HRR sakte frem til testen ble avsluttet.

Kebony vs. ubehandlet

Fra resultatene i kapittel 5.5 fremgår det at to år gammel Kebonykledning fikk en mye høyere topp i HRR kort etter antennelse enn ti år gammel Kebonykledning og ubehandlet furukledning. Ti år gammel Kebonykledning og ubehandlet furukledning hadde relativt lik utvikling av HRR i starten, men ubehandlet nådde en noe høyere HRR enn det ti år gammel Kebony gjorde.

Videre fikk alle materialene en ny topp i HRR en stund ut i brannforløpet. Testene av ubehandlet furukledning nådde topp nummer to raskere enn Kebonykledningene, og varmeavgivelseshastigheten for det ubehandlede treet avtok også raskere. De to Kebonykledningene nådde ny topp i HRR etter omtrent like lang tid, men to år gammel Kebony brukte lenger tid før HRR avtok igjen etter dette.

Fuktinnhold

HRR-kurvene for hvert materiale, med de tre ulike fuktnivåene, er vist i vedlegg D. Ved sammenligning av fuktnivåene er det tydelig at tørt materiale fikk den høyeste varmeavgivelseshastighet kort etter antennelse. Etter at HRR sank etter første topp, hadde fortsatt tørt materiale generelt høyere HRR enn de to andre fuktnivåene. Videre nådde tørt materiale topp nummer to tidligere enn vått materiale og klimarom-materialet. Dette førte til at selv om det tørre materialet avga mer varme tidlig i brannforløpet, avtok også varmeavgivelseshastigheten tidligere enn for det våte materialet og klimarom-materialet.

Det at tørt materiale fikk en raskere og kraftigere brannutvikling enn de materialene med et høyere fuktinnhold kan forklares med resultatene fra litteraturen i kapittel 3.8.3. Fuktigheten i klimarom-materialet og vått materialet gjorde at nedbrytningsprosessen ble forsinket og forbrenningsproduktene ble fortynnet. Dermed hadde de fuktigere materialene en lavere HRR til og med andre topp, og brukte lenger tid på å nå andre topp.

Ti og to år gammel Kebonykledning hadde en lignende utvikling ved sammenligning av

fuktnivåene. Tørt materiale skilte seg ut og hadde høyere HRR i starten, før klimarom og vått nådde andre topp på omtrent samme tid. Her skilte ubehandlet furukledning seg mer ut. Det var fortsatt tørt materiale som hadde høyest HRR i starten og som nådde topp nummer to tidligst, men det var også større forskjeller mellom klimarom og vått materiale. Klimarom-materialet nådde topp to tidligere enn vått materiale, og vått materiale hadde en lavere HRR.

Grunnen til at det var større forskjeller i HRR mellom klimarom og vått materiale for ubehandlet furukledning enn for Kebonykledningene kan skyldes forskjeller i fuktinnhold. For Kebonykledningene var det ikke så stor forskjell i fuktinnhold mellom klimarom og vått materiale, noe som førte til at brannforløpet for de to fuktnivåene utviklet seg relativt likt. For ubehandlet furukledning var det større forskjell i fuktinnhold, klimarom hadde et fuktinnhold på 10 %, og vått hadde et fuktinnhold på 14,1 %. Dette kan forklare hvorfor det var større forskjeller i HRR mellom fuktnivåene for testene av ubehandlet furukledning.

6.8 Maksimal HRR

Maksimal varmeavgivelseshastighet (HRR) for testene gjennomført som fullstendige konkalorimetertester er presentert i kapittel 5.5.1. Resultatene viser at to år gammel Kebony i snitt hadde høyest maksimal HRR, mens ti år gammel Kebony hadde lavest. Dette stemmer med beskrivelsene av HRR-kurvene i kapittel 6.7, hvor to år gammel Kebonykledning nådde en høyere topp i HRR enn de to andre materialene kort tid etter antennelse. Det var altså tydelig forskjell mellom ti og to år gammel Kebony.

En forklaring på dette kan være at det var forskjell i modifieringsgraden for de to Kebonykledningene. Som beskrevet i kapittel 6.3, var det forskjell i fuktopptak for ti og to år gammel Kebony, og en mulig forklaring på dette kunne være at den ti år gamle Kebonykledningen hadde en høyere modifieringsgrad som gjorde at den hadde et lavere fuktopptak. I tillegg hadde ti år gammel Kebony lavest maksimal HRR, så dersom antagelsen om at den også hadde en høyere modifieringsgrad stemmer, kan det bety at Kebonykledning med høy modifieringsgrad har lavere maksimal varmeavgivelse. En annen antagelse er at maksimal HRR ved forbrenning av Kebonykledning har sammenheng med materialets alder, og at den blir lavere når materialet eldes.

I litteraturen ble det gjort funn av testing av Kebonytre gjennomført av Östman og Tsantaridis (2006). Resultatene fra disse testene vises i kapittel 3.8.1. Testingen ble gjennomført i konkalorimeter med varmekraft 50 kW/m^2 . Kebonytreet var kondisjonert i klimarom og hadde en maksimal varmeavgivelseshastighet på 267 kW/m^2 . Ettersom det her ble brukt en varmekraft på 50 kW/m^2 er ikke resultatene direkte sammenlignbare med testingen i denne oppgaven, som brukte en varmekraft 35 kW/m^2 .

Resultatene fra figur 5.8 viser at ti år gammel Kebonykledning kondisjonert i klimarom hadde en maksimal HRR på 203 kW/m^2 , mens to år gammel Kebony kondisjonert i klimarom hadde maksimal HRR på 271 kW/m^2 . Sammenlignet med resultatene fra litteraturen

hadde ti år gammel Kebony en lavere maksimal HRR, noe som var forventet ettersom Kebony i denne oppgaven ble eksponert for en lavere varmefluks. Likevel hadde to år gammel Kebony en høyere maksimal HRR enn resultatene fra 2006, selv ved eksponering for lavere varmefluks.

Igjen er det en usikkerhet at man ikke vet modifieringsgraden til de ulike Kebonykledningene i testingen. Det ble diskutert tidligere at en høyere modifieringsgrad kunne føre til lavere maksimal varmeavgivelse, samt et lavere fuktinntak. Kebonykledningen i testingen til Östman og Tsantaridis (2006) hadde et fuktinnhold på 7,7 %, mens fuktinnholdet for Kebonykledningene i denne oppgaven var 9,5 % for ti år gammel og 10,9 % for to år gammel. Selv om alle materialene ble kondisjonert under samme forhold, hadde materialet fra 2006 lavest fuktinnhold. Ettersom 2006-materialet både hadde lavest fuktinnhold og lavest maksimal varmeavgivelse, selv ved høyere varmefluks, er en antagelse at dette materialet hadde høyere modifieringsgrad, enn ti og to år gammel Kebony i denne oppgaven.

Fra resultatene i figur 5.8 med hensyn til fuktnivåene fremgår det at det tørre materialet hadde høyest maksimal HRR. Dette stemmer igjen med beskrivelsen av varmeavgivelseskurven i kapittel 6.7, hvor det var tydelig at tørt materiale hadde den høyeste varmeavgivelseshastigheten kort etter antennelse.

Videre hadde vått materiale lavest maksimal HRR for både ti år gammel Kebony og for fersk ubehandlet, noe som var å forvente da dette materialet hadde høyest fuktinnhold. Som beskrevet tidligere vil fuktighet i trevirket forsinke nedbrytningsprosessen og fortenne forbrenningsproduktene. Likevel var ikke dette tilfellet for to år gammel Kebony, her hadde vått materiale og klimarom-materialet veldig lik maksimal HRR, men det var klimarom-materialet som hadde lavest.

6.9 Total varmeavgivelse (THR)

Fra resultatene i kapittel 5.5.2 fremgår det at fersk ubehandlet furukledning i snitt hadde lavere total varmeavgivelse, fra antennelse av materialet frem til avsluttet test, enn de to Kebonykledningene. Videre var det to år gammel Kebony som hadde høyest gjennomsnittlig total varmeavgivelse. Dette tyder på at etter antennelse av materialet avgis det mer varme ved forbrenning av Kebonykledningene enn av det ubehandlede materialet.

Dette henger sammen med HRR-kurvene i kapittel 5.5. Her ser man at varmeavgivelseshastigheten avtok tidligere for ubehandlet furu enn for de to Kebonykledningene. Dermed ble også den totale varmeavgivelsen lavere for det ubehandlede materialet.

Som beskrevet i kapittel 6.8 ble det gjort funn i litteraturen av testing gjennomført av Kebonytre i 2006, og resultatene fra disse testene vises i kapittel 3.8.1. Ved eksponering for en varmefluks på 50 kW/m^2 hadde Kebonytreet en total varmeavgivelse på 121 MJ/m^2 .

Resultatene fra figur 5.9 viser at ti år gammel Kebonykledning kondisjonert i klimarom hadde en total varmeavgivelse på 127 MJ/m^2 , mens to år gammel Kebony kondisjonert i

klimarom hadde total varmeavgivelse på 122 MJ/m^2 . Sammenlignet med resultatene fra litteraturen, hadde disse to testene høyere total varmeavgivelse, selv om de ble eksponert for en lavere varmekraft. Det er usikkert hva som er grunnen til dette, men noe som kunne blitt vurdert nærmere var om prøvestykkenes tykkelse og densitet kan være av betydning. Prøvestykkene av ti og to år gammel Kebony i denne oppgaven hadde en tykkelse på omtrent 18 mm og en densitet henholdsvis 495 og 472 kg/m^3 . Til sammenligning hadde prøvestykkene fra testing i litteraturen en tykkelse på $20\text{-}21 \text{ mm}$ og en densitet på 744 kg/m^3 .

Ved sammenligning av fuktnivåene i figur 5.9 fremgår det at det ikke er noen tydelige forskjeller i total varmeavgivelse for de tre fuktnivåene. Dette kan forklares med at det tørre materialet hadde en høyere maksimal varmeavgivelseshastighet enn klimarom-materialet og vått materiale, men varmeavgivelseshastigheten for tørt materiale avtok tidligere enn de to andre fuktnivåene. Dette ble demonstrert i HRR-kurvene i vedlegg D. Dermed ble den totale mengden varme avgitt fra antennelse til avsluttet test relativt lik for de tre fuktnivåene.

6.10 FIGRA

Fra resultatene i kapittel 5.6 fremgår det at to år gammel Kebonykledning hadde høyest gjennomsnittlig FIGRA-verdi, mens ti år gammel Kebonykledning hadde lavest. Dette vil si at en brann i to år gammel Kebonykledning vil utvikle seg raskere ettersom det blir avgitt mye varme i løpet av kort tid.

Grunnen til at ti år gammel Kebonykledning hadde så lav gjennomsnittlig FIGRA skyldes at en av testene, test 77 (Kebony 10 år, vått) brukte svært lang tid før maksimal HRR ble oppnådd. Denne testen fikk dermed en mye lavere FIGRA-verdi enn de to andre testene av ti år gammel Kebony og gjorde at gjennomsnittet ble trukket ned.

I litteraturen ble det kun funnet FIGRA-verdier for trematerialer i konkalorimeter ved varmekraft 50 kW/m^2 , og ikke lavere fluksnivåer. Dermed er ikke resultatene fra litteraturen direkte sammenlignbart med resultatene i denne oppgaven, som ble gjennomført med en varmekraft på 35 kW/m^2 . Det antas at kondisjonering og testing gjennomført av Tsantaridis mfl. (1999) og Sidhu mfl. (2005) ble gjort i henhold til ISO 5660-1. Resultatene viste at lakkert furu hadde en FIGRA-verdi på 101 W/s , mens furu med fuktinnhold $9,68\%$ hadde en FIGRA-verdi på $72,8 \text{ W/s}$. Resultatene for litteraturen sammenlignes kun med resultatene for materialet kondisjonert i klimarom.

Resultatene fra testingen i denne oppgaven viste at FIGRA for de tre materialene kondisjonert i klimarom var $34,5 \text{ W/s}$ for ti år gammel Kebony, $79,9 \text{ W/s}$ for to år gammel Kebony og $28,6 \text{ W/s}$ for fersk ubehandlet furu. Ti år gammel Kebonykledning og ubehandlet furukledning hadde dermed vesentlig lavere FIGRA-verdi enn funnene i litteraturen. Dette var forventet ettersom disse testene ble eksponert for 35 kW/m^2 , mens testene i litteraturen ble eksponert for 50 kW/m^2 . Derimot hadde to år gammel Kebony en FIGRA-verdi i

samme skala som resultatene fra Sidhu mfl. (2005), selv ved en lavere varmekraft. Dette underbygger påstanden om at brann i to år gammel Kebonykledning vil avgi mye varme i løpet av kort tid, og at to år gammel Kebony dermed utgjør en større trussel enn ti år gammel Kebony og ubehandlet furu.

Ved sammenligning av fuktnivåene var det tydelig at tørt materiale hadde høyere FIGRA-verdi enn klimarom og vått materiale. Dette henger sammen med observasjonene om at tørt materiale også hadde høyest maksimal varmeavgivelse, og at tørt materiale brukte kortere tid på å nå maksimal HRR. På motsatt side hadde det våte materialet lavest maksimal HRR og brukte lengst tid på å nå maksimal HRR, noe som førte til at det også hadde lavest FIGRA-verdi.

Dette kan igjen forklares med at tilstedeværelsen av fuktighet forsinket nedbrytningsprosessen og fortynner forbrenningsproduktene, noe som gjør at det fuktige materialet får en mindre hurtig brannutvikling som avgir mindre varme.

6.11 Totalt massetap

Fra resultatene i kapittel 5.7 fremgår det at ubehandlet furukledning i snitt hadde et større massetap i løpet av testgjennomføring som fullstendig konkalorimetertest enn det Kebonykledningene hadde. Dette betyr at mengden forbrent materiale sammenlignet med initiell masse var større for prøvestykkene av fersk ubehandlet furu. Fersk ubehandlet furu hadde et massetap på 90,0 %, mens ti og to år gammel Kebonykledning hadde relativt likt massetap, på henholdsvis 83,3 og 86,9 %.

Ved sammenligning av fuktnivåene fremgår det at vått materiale generelt hadde litt lavere totalt massetap enn tørt materiale, men at forskjellen mellom de to fuktnivåene varierte. For eksempel hadde to år gammel Kebony, tørt, et massetap på 87 %, mens to år gammel Kebony, vått, hadde et massetap på 86,1 %. Dette er så små forskjeller at de blir sett bort fra. Det materialet som hadde størst forskjell mellom fuktnivåene var ti år gammel Kebony, med 85,4 % massetap for tørt materiale, og 81,3 % massetap for vått materiale. Igjen er dette små forskjeller, og det tyder dermed på at fuktinnholdet i prøvestykket ikke hadde en betydelig påvirkning på det totale massetapet.

6.12 Effektiv forbrenningsvarme

Effektiv forbrenningsvarme sier noe om hvor mye varme som avgis ved forbrenning av en masseenheter. Et materiale som har en stor total varmeavgivelse, men et lite massetap, vil dermed avgi en stor mengde varme per masseenheter forbrent.

Fra resultatene i kapittel 5.8 fremgår det at de tre materialene i snitt hadde svært lik effektiv forbrenningsvarme ved eksponering for varmekraft 35 kW/m². Gjennomsnittlig effektiv forbrenningsvarme var 15,0 for ti år gammel Kebony, 15,2 for to år gammel Kebony og 15,6 MJ/kg for fersk ubehandlet furu.

Den testen som oppnådde høyest effektiv forbrenningsvarme var test 85 (ubehandlet 0 år, tørt), med 16,6 MJ/kg. Dette skyldes at testen hadde et lite massetap, men fortsatt hadde en relativt høy total varmeavgivelse. Testen med lavest effektiv forbrenningsvarme var test 89 (ubehandlet 0 år, vått), med 13,6 MJ/kg. Denne testen hadde like stort massetap som test 85, men lavere total varmeavgivelse, noe som ga en tydelig lavere effektiv forbrenningsvarme.

I kapittel 3.8.6 ble effektiv forbrenningsvarme for ulike tresorter presentert ved testing i konkalorimeter ved varmekraft 25 og 50 kW/m². Ettersom testingen i denne oppgaven ble gjennomført ved 35 kW/m² er ikke resultatene direkte sammenlignbare, men effektiv forbrenningsvarme ved varmekraft 25 kW/m² vil være relativt nærme. De tre materialene fra litteraturen hadde en effektiv forbrenningsvarme på 9-10 MJ/kg ved varmekraft 25 kW/m². Dette er noe lavere enn verdiene for fersk ubehandlet tre fra testing i denne oppgaven, som var på 13,6-16,6 MJ/kg. Denne forskjellen kan skyldes at i litteraturen ble testingen gjennomført med en litt lavere varmekraft, som dermed vil gi en lavere effektiv forbrenningsvarme, samt at prøvestykkene i litteraturen generelt hadde et høyere fuktinnhold. Dette ble i litteraturen også trukket fram som en faktor som påvirker effektiv forbrenningsvarme, at høyere fuktinnhold gir lavere forbrenningsvarme.

Ved sammenligning av effektiv forbrenningsvarme med hensyn til fuktinnholdene i tabell 5.16 hadde tørt materiale en høyere effektiv forbrenningsvarme enn de fuktigere materialene når det gjaldt ti og to år gammel Kebony. Kebonykledningene kondisjonert i klimarom og som vått hadde veldig lik effektiv forbrenningsvarme. Dette skyldes trolig at det ikke var så stor forskjell i fuktinnholdet for disse materialene.

Resultatene for fersk ubehandlet furu viste derimot at det for dette materialet ikke var samme tydelige forskjellen mellom tørt materiale og de to andre fuktinnholdene. Her hadde tørt materiale og klimarom-materialet så og si lik effektiv forbrenningsvarme, med henholdsvis 16,6 og 16,5 MJ/kg, mens det våte materialet hadde en lavere verdi på 13,6 MJ/kg.

Som presentert i tabell 3.9 hadde prøvestykkene testet i litteraturen et fuktinnhold på 14-17,5 %. Likevel var det ikke stor forskjell i effektiv forbrenningsvarme, som ved 25 kW/m² var 10 MJ/kg for materialet med lavest fuktinnhold, og 9 MJ/kg for materialet

med høyest fuktinnhold. Dette tyder på at det må en større forskjell i fuktinnhold til for at det skal ha et utslag på effektiv forbrenningsvarme. I tillegg var det ikke angitt desimaler for effektiv forbrenningsvarme i resultatene fra litteraturen, slik at det i teorien kan være små forskjeller mellom verdiene presentert.

Materialene brukt til branntesting i denne oppgaven hadde et fuktinnhold som presentert i tabell 5.2. Her var det tydelig forskjell mellom tørt materiale og de to andre fuktnivåene, klimarom og vått. For eksempel hadde ti år gammel Kebonykledning kondisjonert som tørt et fuktinnhold på 2,5 %, mens det samme materialet kondisjonert som vått hadde et fuktinnhold på 10 %. Dette gjenspeiler seg også i resultatet for effektiv forbrenningsvarme, hvor tørt materiale hadde en høyere verdi enn det våte materialet, som beskrevet tidligere i dette kapittelet.

Likevel var det ikke alltid tilfellet at det materialet med høyest fuktinnhold hadde den laveste effektive forbrenningsvarmen. Testene av to år gammel Kebonykledning viste at klimarom-materialet hadde lavest effektiv forbrenningsvarme, selv om det var det våte materialet som hadde høyest fuktinnhold. På den andre siden var forskjellene mellom effektiv forbrenningsvarme for klimarom og vått for de to Kebonykledningene maksimalt 0,5 MJ/kg. Dette er svært lite, og det kan derfor konkluderes med at for Kebonykledningene hadde tørt materiale en høyere effektiv forbrenningsvarme enn klimarom-materialet og vått materiale.

6.13 Predikert brannklassifisering

Predikert brannklassifisering ble beregnet for alle ni testene gjennomført som fullstendige konkalorimetertester. Alle testene av ti og to år gammel Kebonykledning oppnådde klasse C, mens de tre testene av ubehandlet trekledning oppnådde klasse D. Som nevnt i kapittel 5.9 brukes egenskapene densitet, total varmeavgivelse og totalt massetap som variabler for å beregne klassifiseringen med denne metoden. Predikert brannklassifisering vises i tabell 6.2 sammen med de nevnte variablene.

Tabell 6.2: Predikert brannklassifisering sammen med variablene brukt i metoden for beregning av klassifisering.

Test-ID	Testmateriale	THR (MJ/m ²)	Densitet (kg/m ³)	Totalt massetap (%)	Predikert brannklassifi- sering
73	10 år, tørt	124	434	85	C
75	10 år, klimarom	127	506	83	C
77	10 år, vått	112	459	81	C
79	2 år, tørt	134	459	88	C
81	2 år, klimarom	122	478	87	C
83	2 år, vått	141	538	86	C
85	0 år, tørt	95	424	92	D
87	0 år, klimarom	101	464	90	D
89	0 år, vått	83	468	90	D

I gjennomsnitt hadde fersk ubehandlet furukledning lavest total varmeavgivelse og densitet, men størst totalt massetap. For total varmeavgivelse hadde ubehandlet en tydelig lavere verdi enn de to andre materialene, men for densitet var det ikke store forskjeller. For totalt massetap var det heller ikke store forskjeller. Likvel oppnådde ubehandlet furukledning dårligere predikert brannklassifisering enn de to Kebonykledningene.

Dette kan forklares med at modellen for beregning av predikert brannklassifisering er basert på et stort sett med data fra konkalorimetertester av treprodukter, og at parameterne densitet, massetap og total varmeavgivelse er avhengige av hverandre. Dette betyr at et stort massetap trolig gir en høy total varmeavgivelse, og at høy densitet gir mindre massetap og lavere total varmeavgivelse. Modellen baserer seg på en multivariat analyse som undersøker hvordan ulike parametere henger sammen, og derfor er det vanskelig å se en sammenheng mellom verdiene for de forskjellige parameterne listet opp over.

6.14 Kritisk fluks for antennelse som kriterium for brannklassifisering av trekledning

Etter tilsynet av DiBK, beskrevet i kapittel 1.1, ble det gjennomført branntesting av flere typer behandlet trekledninger. Testingen avdekket blant annet at fersk royalimpregnert kledning av furu hadde en svært lav kritisk fluks for antennelse. Dette er en parameter som ikke er inkludert i dagens brannklassifisering av overflater, men er det et godt kriterium for brannklassifisering av trekledninger?

For å vurdere dette blir resultatene for kritisk fluks for antennelse sammenlignet med resten av resultatene i oppgaven. Som presentert i resultatene for predikert brannklassifisering, oppnådde ti og to år gammel Kebonykledning klasse C, mens ubehandlet oppnådde klasse D. Dette antyder at ubehandlet furukledning har dårligere egenskaper ved brannpåvirkning enn Kebony. På den andre siden hadde Kebonykledningene en lavere kritisk fluks for antennelse enn ubehandlet trekledning, noe som betyr at Kebonykledningen er lettere å antenne enn det ubehandlede treet.

Dette kan virke som to motstridende resultater, men en grunn til at det er forskjellige resultater for kritisk fluks for antennelse og for predikert brannklassifisering kan være at brannklassifiseringen sier noe om egenskaper ved brannpåvirkning, mens kritisk fluks sier noe om motstand mot antennelse. Dette vil si at Kebonykledningene har dårligere motstand mot å antennes, men når det først har begynt å brenne, har Kebonykledningene bedre egenskaper enn det ubehandlet furukledning har.

For eksempel viste resultatene for totalt massetap at ubehandlet furukledning hadde større totalt massetap enn Kebonykledningene. I tillegg hadde ubehandlet kledning i snitt litt høyere gjennomsnittlig effektiv forbrenningsvarme. Varmeavgivelseskurven viste videre at det ubehandlede materialet hadde en HRR som avtok tidligere enn Kebonykledningene, noe som igjen førte til at ubehandlet hadde lavere total varmeavgivelse. Ubehandlet hadde likevel høyere maksimal varmeavgivelse enn ti år gammel Kebonykledning, og dermed også en høyere FIGRA-verdi enn ti år gammel Kebony.

Det er tydelig at det er mange faktorer å ta stilling til ved vurdering av materialers egenskaper ved brannpåvirkning. Brannklassifisering av overflater baserer seg på standarden NS-EN 13501-1. Som nevnt i kapittel 3.4.1 er grunnlaget for klassifiseringen prøving som dokumenterer tid til overtenning, varmeavgivelse, røykproduksjon, brannutbredelse og brennende dråper eller partikler.

Ingen av disse resultatene kunne blitt utledet eller tolket ut fra verdien for kritisk fluks for antennelse. Kritisk fluks for antennelse sier kun noe om at ubehandlet furukledning hadde bedre motstand mot å antennes, noe som stemmer med resultatene for tid til antennelse ved alle varmeffluksnivåene.

Av ti og to år gammel Kebonykledning hadde to år gammel høyest kritisk fluks for antennelse, og det er dermed en rimelig antagelse at to år gammel Kebony har bedre motstand

mot å antennes. Det denne informasjonen ikke sier noe om, er at ved høye varmeffluksnivåer (25 og 35 kW/m²) var det to år gammel Kebony som antente raskest. Dette viser igjen at vurdering av materialers egenskaper ved brannpåvirkning er komplekst, og at kritisk fluks for antennelse ikke dekker et bredt nok spekter av dette.

Kritisk fluks for antennelse vil derfor ikke være et godt kriterium alene for brannklassifisering av trekledninger, men det kan fortelle noe om hvor fort materialet vil antenne ved eksponering for en ekstern varmeffluks. På denne måten kan det være veldig nyttig ved vurdering av hvordan behandling av trekledning påvirker treets motstand mot antennelse, men som beskrevet tidligere er det flere faktorer som bør være med i vurderingen før man konkluderer med at en trekledning utgjør en større, mindre eller lik brannrisiko sammenlignet med andre materialer.

Som beskrevet i kapittel 6.5 brukes et kriterium med maksimal anbefalt varmeffluks i standarden som beskriver komparativ analyse om det gjøres fravik fra preaksepterte ytelser i TEK (SN-INSTA/TS 950:2014). Det har tidligere blitt brukt i de britiske byggereglene også, men den spesifikke verdien er fjernet i byggereglene fra 2019. Denne verdien brukes ikke som et kriterium for å vurdere materialers antennelsesegenskaper, men det brukes her som et vurderingskriterium ved beregning av sikker avstand mellom bygninger med brennbar kledning for å hindre brannspredning.

Ettersom kritisk fluks for antennelse sier noe om hvor lett materialet antennes ved eksponering for en ekstern varmeffluks, vil det være veldig nyttig å bruke dette ved vurdering av risiko for brannspredning mellom for eksempel byggverk. På denne måten kan man vurdere risikoen ut fra den trekledningen som brukes, og hva kritisk fluks for antennelse er for akkurat det materialet.

En viktig faktor å ta hensyn til vil da være å bruke kritisk fluks som er beregnet for det aktuelle materialet. Som presentert i kapittel 3.8.4 er det stor variasjon i hva som brukes som referanseverdi for ubehandlet tre. I litteraturen ble det funnet alt fra 10 til 15 kW/m². Resultatene fra testing i denne oppgaven viste derimot at gjennomsnittlig kritisk fluks for antennelse for ti år gammel Kebonykledning var 9,3 kW/m². Denne verdien viser at Kebony ville antent ved eksponering for en lavere varmeffluks enn referanseverdiene på 10-15 kW/m². Så om f.eks. 15 kW/m² hadde blitt brukt for beregning av sikker avstand mellom byggverk hvor et av de har Kebonykledning, ville dette trolig ikke vært tilstrekkelig.

7 Konklusjon

Denne oppgaven tar for seg problematikken rundt brannsikkerheten ved bruk av behandlet trekledning. Problemstillingen for masteroppgaven er ”*utgjør bruk av behandlet trekledning på norske fasader en uakseptabel brannrisiko?*”. Tre forsknings spørsmål er formulert for å svare på problemstillingen.

1. Har behandlet trekledning dårligere brannegenskaper enn ubehandlet trekledning med hensyn til antennelse og varmeavgivelse?

Branntesting av Kebonykledning fra Lonebrannen og ubehandlet furukledning er brukt som et eksempel for å prøve ut en metode for å besvare dette forsknings spørsmålet. En rangering av materialene basert på ulike branntekniske egenskaper gjennomgått i denne oppgaven vises i tabell 7.1. Rangeringen baserer seg på gjennomsnittet av alle testene av samme materiale (inkludert alle fuktnivåene og alle varmeknivåene) slik at de enklere kan sammenlignes.

Tabell 7.1: Rangering av materialene mht. ulike brannegenskaper. 1 er best, 3 er dårligst. Fargene indikerer det samme, grønn er best, gul er middels, rød er dårligst.

Egenskap	Kebony, 10 år	Kebony, 2 år	Ubehandlet, 0 år
Tid til antennelse	3	2	1
Kritisk fluks for antennelse	3	2	1
Maksimal HRR	1	3	2
Total varmeavgivelse (THR)	2	3	1
FIGRA	1	3	2
Totalt massetap	1	2	3
Effektiv forbrenningsvarme	1*	2*	3*
Predikert brannklassifisering	1	1	3

*Veldig liten forskjell mellom materialene - 15,0, 15,2 og 15,6 MJ/kg.

Som tabellen viser varierer rangeringen ut fra hvilken egenskap man vurderer. Resultatene viser at ubehandlet furukledning hadde bedre motstand mot å antennes ved eksponering for en ekstern varmekraft enn det Kebonykledningene hadde, mens predikert brannklassifisering viser at begge Kebonykledningene oppnådde en bedre klassifisering enn ubehandlet furukledning.

Likevel er det noen egenskaper som er av større betydning enn andre ved vurdering av materialers brannegenskaper. Varmeavgivelseshastighet (HRR) ansees som den viktigste variabelen for å vurdere produktets brennbarhet og brannfare, mens tid til antennelse kun har en liten effekt på økning av brannfare. Resultatene viste at to år gammel Kebonykledning hadde en betydelig høyere varmeavgivelseshastighet etter antennelse, og brukte lengst tid før varmeavgivelseshastigheten avtok. Dette reflekteres i rangeringen ved at to år gammel Kebony er rangert dårligst på maksimal HRR, total varmeavgivelse og FIGRA-verdi.

Så selv om to år gammel Kebonykledning oppnådde en bedre predikert brannklassifisering enn ubehandlet furukledning, tyder det på at to år gammel Kebony fra denne testen utgjør en større brannfare enn de to andre materialene.

Ti år gammel Kebonykledning hadde lavest varmeavgivelseshastighet etter antennelse, men fersk ubehandlet furukledning hadde en varmeavgivelseshastighet som avtok tidligere og dermed lavest total varmeavgivelse. Videre hadde ti år gammel Kebony lavere FI-GRA enn ubehandlet furukledning. Dette viser at ti år gammel Kebonykledning i denne oppgaven trolig ikke utgjør en betydelig større brannfare enn fersk ubehandlet furukledning. Dette er positivt da det tyder på at Kebonykledninger får bedre egenskaper ved brannpåvirkning når materialet eldes.

2. Hvordan påvirker treets fuktinnhold antenneligheten og brannegenskapene?

Resultatene fra branntesting av Kebonykledning og ubehandlet furu viser at materialets fuktinnhold påvirker ulike brannegenskaper i varierende grad. Dette viste også resultater fra informasjons- og litteraturstudiet. Det tørre materialet var lettere å antenne, fikk en raskere varmeutvikling og fikk en høyere maksimal varmeavgivelse. Likevel avtok varmeavgivelseshastigheten raskere for tørt materiale enn for fuktig materiale, noe som gjorde at den totale varmeavgivelsen ble relativt lik for alle fuktnivåene. Fuktinnholdet hadde ingen betydelig påvirkning på det totale massetapet, og det påvirket ikke predikert brannklassifisering.

Det tørre materialet i denne oppgaven ble tørket i et tørkeskap ved 50 °C til rundt 3% fuktinnhold. Dette er svært tørt, og trekledning i et nordisk klima vil sjeldent ha et så lavt fuktinnhold, da et vanlig gjennomsnitt for norske treslag ved 20 °C og 65 % RF er 12 % (*likevektsfuktighet* 2021). I produktdatabladet til Kebony Character er det også oppgitt at fuktinnholdet for kledningen er mellom 8 og 14 %. Det konkluderes derfor med at fuktinnholdet påvirker trekledningens antennelighet og brannegenskaper, men for ytterkledning i nordisk klima vil det trolig ikke ha spesielt stor betydning.

3. Er kritisk fluks for antennelse et godt kriterium for å vurdere trekledningers brannegenskaper?

Krav til brannklassifisering for ytterkledning baserer seg på at utvendige overflater vil kunne bidra til brannspredning mellom byggverk eller mellom ulike deler av et byggverk. Kritisk fluks for antennelse er en verdi som sier noe om hvor lett trekledningen antenner ved eksponering for en ekstern varmekilde. Kritisk fluks for antennelse vil derfor være et viktig kriterium for å vurdere om kledningen vil antenne dersom den blir utsatt for varmeeksponering fra omgivelsene.

Ved vurdering av faren for brannspredning mellom ulike deler av byggverk vil likevel egenskapene etter antennelse være av større interesse. Kritisk fluks for antennelse sier ingenting om hvordan materialet oppfører seg etter antennelse. Ved klassifisering av materialers egenskaper ved brannpåvirkning ser man på varmeavgivelse, røykproduksjon, brannutbredelse og brennende dråper eller partikler. Disse egenskapene vil ha stor betydning for hvor fort

en brann vil utvikle seg i materialet, og hvor stor brannen kan bli, og som nevnt tidligere er det konkludert med at varmeavgivelseshastighet er den viktigste variabelen for å vurdere produktets brennbarhet og brannfare.

Derfor vil ikke kritisk fluks for antennelse være et godt kriterium alene for å vurdere trekledningers brannegenskaper, men det vil være nyttig å bruke i kombinasjon med andre kriterier. En kombinasjon av kritisk fluks for antennelse og materialets egenskaper etter antennelse vil gi en bedre helhetsvurdering av trekledningen. Likevel vil kritisk fluks for antennelse kunne gi svært viktig informasjon ved vurdering av risikoen for brannspredning mellom byggverk, da dette sier noe om hvor mye som skal til før kledningen antenner.

7.1 Utgjør bruken av behandlet trekledning på norske fasader en uakseptabel brannrisiko?

Det mange faktorer å ta med i vurderingen når en ser på materialers brannegenskaper. Som presentert i denne oppgaven kan et materiale være bedre med hensyn til motstand mot antennelse, mens et annet er bedre når man ser på egenskaper ved brannpåvirkning. Dette gjør at det er en omfattende problemstilling å svare på, men resultatene fra branntesting av Kebonykledning og ubehandlet furukledning kan gi noen veiledende svar.

Varmeavgivelseshastighet ansees som den viktigste faktoren ved vurdering av materialers brennbarhet og påfølgende brannfare. To år gammel Kebonykledning hadde betydelig høyere varmeavgivelseshastighet enn ubehandlet furukledning, mens ti år gammel Kebonykledning hadde en lavere maksimal varmeavgivelseshastighet enn ubehandlet furu. Likevel hadde ubehandlet furu lavest total varmeavgivelse. Konklusjonen er derfor at to år gammel Kebonykledning utgjør en større brannrisiko enn ubehandlet furukledning, mens det ikke er noen grunn til å tro at ti år gammel Kebony utgjør en større brannrisiko enn ubehandlet furukledning. Dette tyder på at brannegenskapene til Kebonykledning forbedres over tid.

Denne konklusjonen baserer seg kun på resultater fra branntesting i liten skala av ti og to år gammel Kebonykledning og fersk ubehandlet furukledning. Resultatene gir nyttig informasjon om hvordan materialene ville oppført seg i en reell brann, men det kan være andre faktorer som spiller inn ved en brann i større skala som kan være av betydning. Disse resultatene kan derfor ikke brukes til å konkludere med om bruk av all behandlet trekledning utgjør en uakseptabel brannrisiko. Likevel viser resultatene fra branntestingen og resultater fra litteraturen at behandling av trekledning både kan forbedre og forverre ulike brannegenskaper. Derfor kreves det mer kunnskap om hvordan hver enkelt behandling påvirker trevirket og dets brannegenskaper.

7.2 Videre arbeid

Denne oppgaven har sett på hva bruken av behandlet trekledning på norske fasader har for brannsikkerheten, men branntestingen har kun omhandlet Kebonykledning og ubehandlet furukledning. Fremgangsmåten brukt i oppgaven for å vurdere brannegenskapene har gitt et bredt spekter av resultater, både før og etter antennelse. Denne fremgangsmåten gjør at det er mulig å vurdere materialers brannegenskaper ut fra testing av små prøvestykker, og vil derfor være en nyttig fremgangsmåte å bruke videre ved vurdering av andre materialer. Arbeidet med denne masteroppgavevn har ført til mange interessante resultater, men det er flere problemstillinger som burde undersøkes nærmere.

- Det er ønskelig å repetere testene hvor det var stor forskjell i tid til antennelse mellom to materialer med lik behandling og alder, for å få et mer representativt resultat.
- Det er ønskelig å teste flere materialer av behandlet trekledning i konkalorimeter for å ha et større sammenligningsgrunnlag.
- Det vil være nyttig å gjennomføre testing av Kebonykledning i større skala for å vurdere hvordan en realistisk brann ville utarte seg, og om det er andre faktorer som spiller en større rolle enn trekledningens behandling.
- Det var forskjeller i resultatene for ti og to år gammel Kebonykledning. Det ville være interessant å undersøke om dette skyldes behandlingens alder eller om det var en konsekvens av ulik modifieringsgrad for de to materialene.

Referanseliste

- absorpsjon (kjemi)* (2020). I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: http://snl.no/absorpsjon-_kjemi (sjekket 29. mai 2022).
- Accoya (2018). *Hardwood vs. Softwood*. Tilgjengelig fra: <https://www.accoya.com/uk/hardwood-vs-softwood-hardwood-properties-durability-of-timber-in-construction/> (sjekket 28. mai 2022).
- Atreya, A. og Abu-Zaid, M. (1991). «Effect of environmental variables on piloted ignition». I: *Fire Safety Science* 3, s. 177–186.
- Babrauskas, V. (2003). *Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science*. USA: Fire Science Publishers, s. 260–263.
- Babrauskas, V. og Peacock, R. D. (1992). «Heat release rate: The single most important variable in fire hazard». I: *Fire Safety Journal* 18.3, s. 255–272. DOI: 10.1016/0379-7112(92)90019-9.
- Bartlett, A. I., Hadden, R. M. og Bisby, L. A. (2019). «A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction». I: *Fire Technology* 55.1, s. 1–49. DOI: 10.1007/s10694-018-0787-y.
- Browne, F. L. mfl. (1958). «Theories of the combustion of wood and its control». I: Tilgjengelig fra: <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/3r074z89g>.
- Byggevarerforskriften (DOK) (2013). *Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-12-17-1579> (sjekket 4. mar. 2022).
- Byggteknisk forskrift (TEK17) (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840> (sjekket 30. jan. 2022).
- Dietenberger, M. og Hasburgh, L. (2016). «Wood Products Thermal Degradation and Fire». I: *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, s. 1–8. DOI: 10.1016/b978-0-12-803581-8.03338-5.
- Direktoratet for byggkvalitet (2017). *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/> (sjekket 30. jan. 2022).
- (2020). *Tilsyn med brannhemmende trekledning 2020*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/rapport.-tilsyn-med-brannhemmende-trekledning-2020.pdf> (sjekket 29. jan. 2022).
- (2022). *Veiledning om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/dok/> (sjekket 4. mar. 2022).

- Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics*. 2. utg. Storbritannia: John Wiley & Sons.
- Edvardsen, K. I. og Ramstad, T. Ø. (2014). *Håndbok 5 Trehus*. Norge: SINTEF akademisk forlag.
- Epmeier, H., Westin, M. og Rapp, A. (2004). «Differently modified wood: comparison of some selected properties». I: *Scandinavian Journal of Forest Research* 19.sup5, s. 31–37. DOI: 10.1080/02827580410017825.
- Esteves, B., Nunes, L. og Pereira, H. (2011). «Properties of furfurylated wood (Pinus pinaster)». I: *European Journal of Wood and Wood Products* 69.4, s. 521–525. DOI: 10.1007/s00107-010-0480-4.
- Europakommisjonen (2006). «COMMISSION DECISION of 6 March 2006 establishing the classes of reaction-to-fire performance for certain construction products as regards wood flooring and solid wood panelling and cladding (notified under document number C(2006) 655) (Text with EEA relevance) (2006/213/EC)». I: *Official Journal of the European Union L*. Tilgjengelig fra: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006D0213&from=EN> (sjekket 5. feb. 2022).
- Evans, F. G. (2005). *FOKUS på tre Nr. 31. Brannbeskyttet trevirke*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-31.pdf>.
- Fjær, S. mfl. (2021). *Brann i snøoverbygg på Hallingskeid*. Tekn. rapp. NBL A12120. Norge: SINTEF NBL. Tilgjengelig fra: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/nbl-a12120.pdf> (sjekket 14. des. 2021).
- Geving, S. (2021). *Praktisk bygningsfysikk*. 1. utg. Norge: Vigmostad & Bjørke AS.
- Glasø, G. og Landrø, H. (2022). *FOKUS på tre Nr. 37. Tre og brann*. Tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-37.pdf> (sjekket 6. mar. 2022).
- Helgheim, B. (2022). *kjerneved*. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kjerneved>.
- Hundhausen, U. (27. mai 2022). *Masteroppgave: Trefasader og brannsikkerhet*. E-post-korrespondanse med seniorforsker Ulrich Hundhausen ved Norsk Treteknisk Institutt.
- International Organization for Standardization (2015). *ISO 5660-1: Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=750498> (sjekket 1. feb. 2022).
- Jacobsen, B. (2009). *FOKUS på tre Nr. 23. Overflatebehandling av utvendig kledning*. Tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-23.pdf> (sjekket 1. feb. 2022).

- Janssens, M. (1991). «Piloted ignition of wood: A review». I: *Fire and Materials* 15.4, s. 151–167. DOI: 10.1002/fam.810150402.
- Kebony Norge (2022a). *Produktdatablad Kebony Character: Kebony Character 21x148 mm D-fals 60° glatt m/spor #2242*. Tilgjengelig fra: <https://no.kebony.com/wp-content/uploads/2022/04/NO-2242.pdf> (sjekket 26. mai 2022).
- (2022b). *Endringsprosessen*. Tilgjengelig fra: <https://no.kebony.com/technology/the-process/> (sjekket 10. mar. 2022).
- (2022c). *Kebony Character 21×148 mm D-fals 60° glatt m/spor 2242*. Tilgjengelig fra: <https://no.kebony.com/product/kebony-scots-pine-21x148-mm-shiplap-60-smooth-w-shadow-line/> (sjekket 4. apr. 2022).
- (2022d). *Kebony vs. Thermally-Modified*. Tilgjengelig fra: <https://no.kebony.com/blog/kebony-vs-thermally-modified/> (sjekket 28. mai 2022).
- (2022e). *Kledning Produkter*. Tilgjengelig fra: https://no.kebony.com/product_category/cladding/ (sjekket 26. mai 2022).
- Kollegiet for brannfaglig terminologi (2022). *Faguttrykk*. Tilgjengelig fra: <http://kbt.no/fguttrykk.asp> (sjekket 12. feb. 2022).
- Kommunal- og distriktsdepartementet (2022). *EU skal revidere reglene for testing av behandlet trekledning*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/eu-skal-revidere-reglene-for-testing-av-behandlet-trekledning/id2905290/> (sjekket 26. mai 2022).
- kondisjonere* (2020). I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/kondisjonere> (sjekket 29. mai 2022).
- Lande, S. (22. apr. 2022). *Masteroppgave - branntetsting Kebonykledning*. E-post-korrespondanse med Research Manager (Dr. Scient) Stig Lande for Kebony.
- Larsen, J. (2021). *FRIC webinar: Lonebrannen: 7. august 2021*. Tilgjengelig fra: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-56774> (sjekket 29. apr. 2022).
- likevektsfuktighet* (2021). I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/likevektsfuktighet> (sjekket 29. mai 2022).
- Lindholm, J., Brink, A. og Hupa, M. (2009). «Cone calorimeter—a tool for measuring heat release rate». I: *Finnish-Swedish Flame Days 2009* 11.2008, 4B. Tilgjengelig fra: http://ffrc.fi/FlameDays_2009/4B/LindholmPaper.pdf.
- Moelven (2022). *Furu 13X120 glatt natur*. Byggmakker.no. Tilgjengelig fra: <https://www.byggmakker.no/produkt/furu-13x120-glatt-natur/7040431919758> (sjekket 30. mai 2022).
- Moghtaderi, B. (1998). *Flaming Combustion Characteristics of Wood-Based Materials*. Tilgjengelig fra: https://firesafetyscience.org/publications/aofst/3/209/view/aofst_3-209.pdf (sjekket 22. mai 2022).

- Moghtaderi, B. mfl. (1997). «A new correlation for bench-scale piloted ignition data of wood». I: *Fire Safety Journal* 29.1, s. 41–59. DOI: 10.1016/S0379-7112(97)00004-0.
- Nordvoll, H. (2020). «Utvendig brannspredning mellom byggverk». Masteroppg. Høgskolen på Vestlandet. Tilgjengelig fra: <https://hvlopen.brage.unit.no/hvlopen-xmlui/handle/11250/2671692> (sjekket 22. mai 2022).
- Norsk institutt for bioøkonomi (2017). *Tremodifisering*. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/skog/bruk-av-tre/trebeskyttelse/ratebeskyttelse-av-tre/tremodifisering> (sjekket 10. mar. 2022).
- (2022). *Brannbeskyttelse*. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/skog/bruk-av-tre/trebeskyttelse/brannbeskyttelse> (sjekket 6. mar. 2022).
- NTNU (2022a). *Finne kilder*. Tilgjengelig fra: <https://i.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder> (sjekket 5. apr. 2022).
- (2022b). *Ordlister for oppgaveskriving*. Tilgjengelig fra: <https://i.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Ordlister+for+oppgaveskriving> (sjekket 5. apr. 2022).
- Orgeret, K. S. (2021). *kildekritikk*. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/kildekritikk> (sjekket 5. apr. 2022).
- Overland, J.-A. (2018). *TONE - strategi for kildekritikk*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/subject:1:00a0141d-2307-4a5a-a154-0c821449f6d2/topic:3:61462d62-75f8-42fb-a823-d5a32afe0455/topic:3:3dfd8ebc-4c64-486c-a1ad-d2f60f3cb486/resource:1:169741> (sjekket 5. apr. 2022).
- RISE Research Institutes of Sweden (2022a). *Fire testing according to EN ISO 11925-2*. Tilgjengelig fra: <https://www.ri.se/en/what-we-do/services/fire-testing-according-to-en-iso-11925-2> (sjekket 5. mai 2022).
- (2022b). *Fire testing according to ISO 5660-1*. Tilgjengelig fra: <https://www.ri.se/en/what-we-do/services/fire-testing-according-to-iso-5660-1> (sjekket 24. feb. 2022).
- (2022c). *Fire testing of building products according to EN 13823 - SBI*. Tilgjengelig fra: <https://www.ri.se/en/what-we-do/services/fire-testing-of-building-products-according-to-en-13823-sbi> (sjekket 5. mai 2022).
- Samuelsen, E. (2021). *relativ fuktighet*. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: http://snl.no/relativ_fuktighet (sjekket 29. mai 2022).
- Sidhu, S. mfl. (2005). «Toxic Air Emissions from Burning Wood and Agricultural Plastics – A Cone Calorimeter Study». I: *Final report. University of Dayton Research Institute*. Tilgjengelig fra: <https://www.glc.org/wp-content/uploads/GLAD-GLCWebinar110331-Sidhu.pdf> (sjekket 15. mai 2022).
- Simms, D. L. og Hird, D. (1958). «On the pilot ignition of materials by radiation». I: *Fire Safety Science* 365, s. 1–1. Tilgjengelig fra: https://www.iafss.org/publications/frn/365/-1/view/frn_365.pdf (sjekket 21. mai 2022).

- Simms, D. L. (1963). «On the pilot ignition of wood by radiation». I: *Combustion and Flame* 7, s. 253–261. DOI: 10.1016/0010-2180(63)90190-1.
- Simms, D. L. og Law, M. (1967). «The ignition of wet and dry wood by radiation». I: *Combustion and Flame* 11.5. DOI: 10.1016/0010-2180(67)90058-2.
- SINTEF (2016). *Byggforskserien 570.001 Krav til produktdokumentasjon for omsetning og bruk av byggevarer*. Oslo: SINTEF Community.
- (2017). *Byggforskserien 432.101 Trebeskyttelse. Overflatebehandling, trykkimpregnering og modifisering*. Oslo: SINTEF Community.
- Spearpoint, M. J. og Quintiere, J. G. (2001). «Predicting the piloted ignition of wood in the cone calorimeter using an integral model — effect of species, grain orientation and heat flux». I: *Fire Safety Journal* 36.4, s. 391–415. DOI: 10.1016/S0379-7112(00)00055-2.
- Standard Norge (1997). *NS 3919:1997 Brannteknisk klassifisering av materialer, bygningsdeler, kledninger og overflater*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=133976> (sjekket 26. mai 2022).
- (2013). *NS-EN 14915:2013 Panelbord og kledningsbord av heltre — Egenskaper, evaluering av samsvar og merking*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1131179> (sjekket 4. mar. 2022).
- (2014). *SN-INSTA/TS 950:2014 Analytisk brannteknisk prosjektering. Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=692000> (sjekket 22. mai 2022).
- (2016). *NS-EN 13501-2:2016 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler — Del 2: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1133156> (sjekket 5. mai 2022).
- (2017). *NS-EN ISO 13943:2017 Brannsikkerhet - Terminologi*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=946158> (sjekket 26. mai 2022).
- (2019). *NS-EN 13501-1:2018 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1026484> (sjekket 5. mai 2022).
- (2020a). *NS-EN 13823:2020 Prøving av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning — Byggeprodukter (unntatt gulvbelegg) som utsettes for termisk påkjenning fra en brennende gjenstand*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1139030> (sjekket 5. mai 2022).
- (2020b). *NS-EN ISO 11925-2:2020 Prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning. Antennelighet av byggeprodukter ved direkte påvirkning av flamme. Del 2:*

- Prøving med én enkelt flamme (ISO 11925-2:2020)*. Tilgjengelig fra: <https://www.standart.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1131209> (sjekket 5. mai 2022).
- Steen-Hansen, A. og Hovde, P. J. (2000). *Bygningsmaterialers egenskaper ved brannpåvirkning - Oversettelse av nasjonale klasser til Euroklasser*. Tekn. rapp. STF22 A00827. Norge: SINTEF Bygg og miljøteknikk. Tilgjengelig fra: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/stf22-a00827.pdf>.
- Steen-Hansen, A. og Kristoffersen, B. (2007). «Prediction of fire classification for wood based products. A multivariate statistical approach based on the cone calorimeter». I: *Fire and Materials* 31.3, s. 207–223. DOI: 10.1002/fam.934.
- Steen-Hansen, A. og Mostad, R. H. (2021). *Vurdering av branntekniske egenskaper til fasadekledning av tre - Branntesting av trekledning med ulike typer behandling*. Tilgjengelig fra: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1596201&dsid=-8272> (sjekket 10. feb. 2022).
- Stensaas, J. P. (2007). *Varmgang i elektrisk materiell og utstyr som tennkilde i bygninger*. Tekn. rapp. NBL A06122. Norge: SINTEF NBL. Tilgjengelig fra: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/nbl-a06122.pdf> (sjekket 14. des. 2021).
- The Building Regulations 2010 (2007). *The Building Regulations 2010. Fire safety. Approved document B, Volume 1 - Dwellinghouses*. Tilgjengelig fra: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/485420/BR_PDF_AD.B1.2013.pdf (sjekket 10. mai 2022).
- (2019). *The Building Regulations 2010. Fire safety. Approved document B, Volume 1: Dwellings*. Tilgjengelig fra: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/937931/ADB_Vol1_Dwellings_2019_edition_inc_2020_amendments.pdf (sjekket 10. mai 2022).
- Tran, H. C. og White, R. H. (1992). «Burning rate of solid wood measured in a heat release rate calorimeter». I: *Fire and Materials* 16.4, s. 197–206. DOI: 10.1002/fam.810160406.
- TreFokus (2022). *Kjemisk modifisering av trevirke*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/tre-utendors/kjemisk-modifisering-av-trevirke> (sjekket 1. feb. 2022).
- Tsantaridis, L. og Östman, B. (1999). *Cone Calorimeter Data and Comparisons for the SBI RR Products*. Tekn. rapp. I 9812090. Stockholm: Institutet för träteknisk forskning. Tilgjengelig fra: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1079823/FULLTEXT01.pdf> (sjekket 15. mai 2022).
- Xu, Q. mfl. (2015). «Combustion and charring properties of five common constructional wood species from cone calorimeter tests». I: *Construction and Building Materials* 96, s. 416–427. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.062.

- Yang, T. mfl. (2022). «Effects of furfurylation on interactions between moisture sorption and humidity conditioning of wood». I: *Wood Science and Technology* 56.3, s. 703–720. DOI: 10.1007/s00226-022-01375-0.
- yteved (2021). I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/yteved> (sjekket 26. mai 2022).
- Östman, B., König, J. og Schmid, J. (2012). *Brandsikra trähus 3: nordisk-baltisk kunskapsöversikt och vägledning*. 3. utg. Stockholm: AB Stjärntryck.
- Östman, B. og Tsantaridis, L. (2006). *Innovative eco-efficient high fire performance wood products for demanding applications*. Tekn. rapp. SP REPORT 2006:30. Stockholm: SP Swedish National Testing og Research Institute. Tilgjengelig fra: http://virtual.vtt.fi/virtual/innofirewood/finalreport/sp_rapp_2006_30_innofirewood.pdf.
- Øvrum, A. (2022). *FOKUS på tre Nr. 22. Utvendig kledning*. Tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-22.pdf> (sjekket 1. feb. 2022).

Vedlegg

A Systemer for vurdering og verifikasjon av ytelse

Denne tabellen er hentet fra veiledningen til byggevereforordningen (Byggevereforskriften (DOK), 2013).

Oppgaver		System for vurdering og verifikasjon av byggevarers ytelser				
		1+	1	2+	3	4
Utføres av produsent						
	Fastsettelse av produkters ytelser med typeprøving, typeberegning, tabellverdier eller deskriptiv dokumentasjon			x		x
	Produksjonskontroll i fabrikk	x	x	x	x	x
	Ytterligere prøving av stikkprøver på fabrikk iht. fastsatt prøvingsplan	x	x	x		
Utføres av tredjepart						
Produktsertifiseringsorgan (sertifikat for varens ytelse)	Fastsettelse av produktets ytelser med typeprøving, typeberegning, tabellverdier eller deskriptiv dokumentasjon	x	x			
	Førstegangsinspeksjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen i fabrikk	x	x			
	Kontrollprøving av stikkprøver tatt før varen markedsføres	x				
	Fortløpende tilsyn, vurdering og evaluering av produksjonskontrollen i fabrikk	x	x			
Sertifiseringsorgan for produksjonskontroll (samsvarssertifikat for produksjonskontroll)	Førstegangsinspeksjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen i fabrikk			x		
	Fortløpende tilsyn, vurdering og evaluering av produksjonskontrollen i fabrikk			x		
Prøvingslaboratorium (sertifikat for prøvings- og beregningsresultater)	Fastsettelse av produktets ytelser med typeprøving, typeberegning, tabellverdier eller deskriptiv dokumentasjon for varen				x	

B CWFT for panel og kledning av heltre

Tabell 1 i NS-EN 14915:2013+A2:2020.

Tabell 1 – Brannklasser

Materiale	Opplysninger om produktet ^e	Minste middel-densitet ^f (kg/m ³)	Minste tykkelse total/laveste ^g (mm)	Bruksbetingelser ^d	Klasse ^c
Panelbord og kledningsbord ^a	Trepaneler med eller uten not og fjær og med eller uten profilert overflate	390	9/6	Uten luftgap eller med lukket luftgap bak	D - s2, d2
			12/8		D - s2, d0
Panelbord og kledningsbord ^b	Trepaneler med eller uten not og fjær og med eller uten profilert overflate	390	9/6	Med åpent luftgap ≤ 20 mm bak	D - s2, d0
			18/12	Uten luftgap eller med åpent luftgap bak	
Panel-/klednings-elementer ^h	Trepanel/kledning montert på støtteramme ⁱ	390	18	Omgitt av fri luft på alle kanter ^j	D - s2, d0

a Montert mekanisk på støtteramme av trelekt, med gapet lukket eller fylt med et underlag minst i klasse A2 - s1, d0 med en største densitet på 10 kg/m³ eller fylt med et underlag av celluloseisolasjonsmateriale minst i klasse E og med eller uten dampsperre bak. Treproduktet skal konstrueres slik at det monteres uten åpne skjøter.

b Montert mekanisk på en støtteramme av trelekt, med eller uten åpent luftgap bak. Treproduktet skal konstrueres slik at det monteres uten åpne skjøter.

c Klasse som fastsatt i tabell 1 i tillegget til kommisjonsvedtak 2000/147/EF.

d Et åpent gap kan omfatte mulighet for ventilasjon bak produktet, mens et lukket luftgap utelukker slik ventilasjon. Underlaget bak luftgapet skal minst være i klasse A2 - s1, d0 med en minste densitet på 10 kg/m³. Bak et lukket luftgap på høyst 20 mm og med vertikale trepaneler kan underlaget minst være i klasse D - s2, d0.

e Skjøter omfatter alle typer skjøter, for eksempel buttskjøter og not og fjær-skjøter.

f Kondisjonert etter NS-EN 13238.

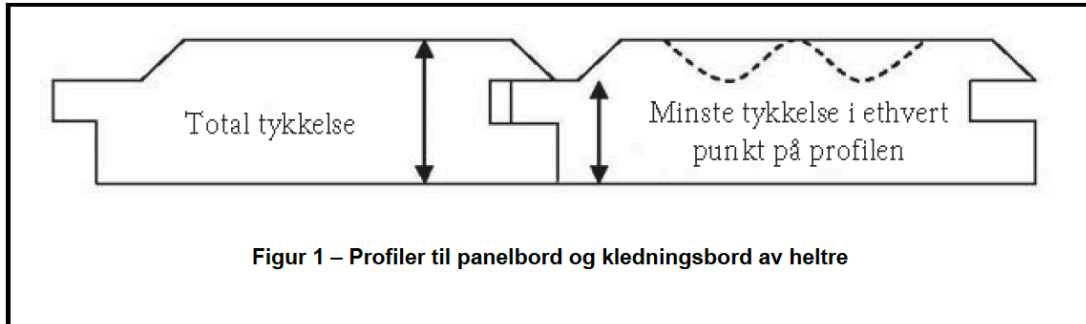
g Som vist på figur 1 nedenfor. Profilert område av den eksponerte siden av panelet er ikke mer enn 20 % av planområdet, eller 25 % om målt på både eksponert og ueksponert side av panelet. For buttskjøter gjelder den største tykkelsen i skjøten.

h Rektangulære trepaneler, med eller uten avrundede hjørner, som monteres horisontalt eller vertikalt på en støtteramme og er omgitt av luft på alle sider, som hovedsakelig brukes til å lukke andre bygningsdeler, både innendørs og utendørs.

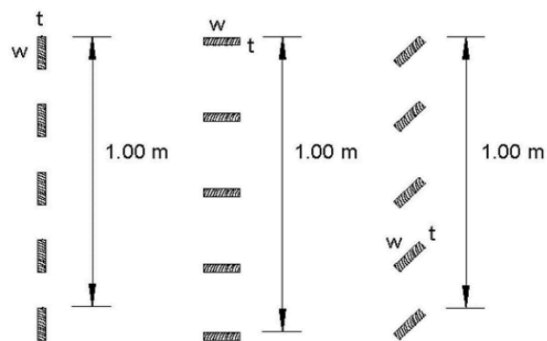
i Maksimalt eksponert område (alle sider av rektangulære trepaneler og støtterammer av tre), ikke mer enn 110 % av det samlede planområdet, se figur 2.

j Andre bygningselementer som er nærmere enn 100 mm fra kledningselementet (unntatt støtterammen), skal minst være i klasse A2 - s1, d0, i 100 mm–300 mm avstand minst i klasse B - s1, d0, og i avstand over 300 mm minst i klasse D - s2, d0.

Tabell 1 – fortsettes



Figur 1 – Profiler til panelbord og kledningsbord av heltre



Største eksponerte areal av trepanel-/kledningselement:

$$2n(t+w) + a \leq 1,10$$

der

n er antallet bord per meter

t er tykkelsen på hvert bord, i meter

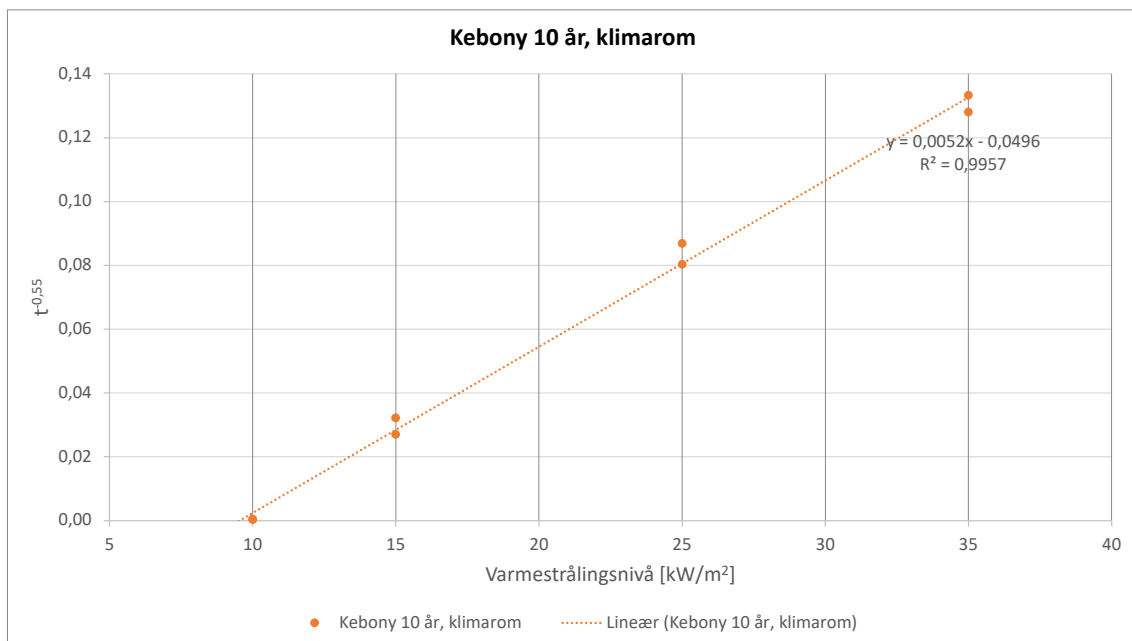
w er bredden på hvert bord, i meter

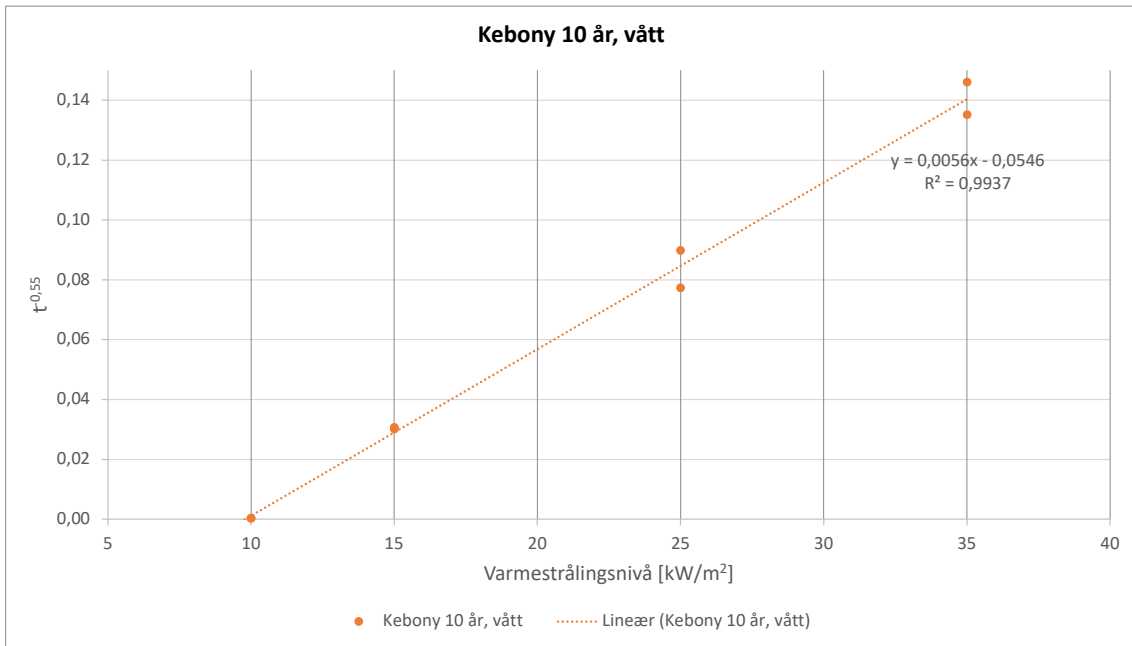
a er eksponert areal av (den eventuelle) støtterammen av tre, i m², per m² trebåndelement

Figur 2 – Største eksponerte areal

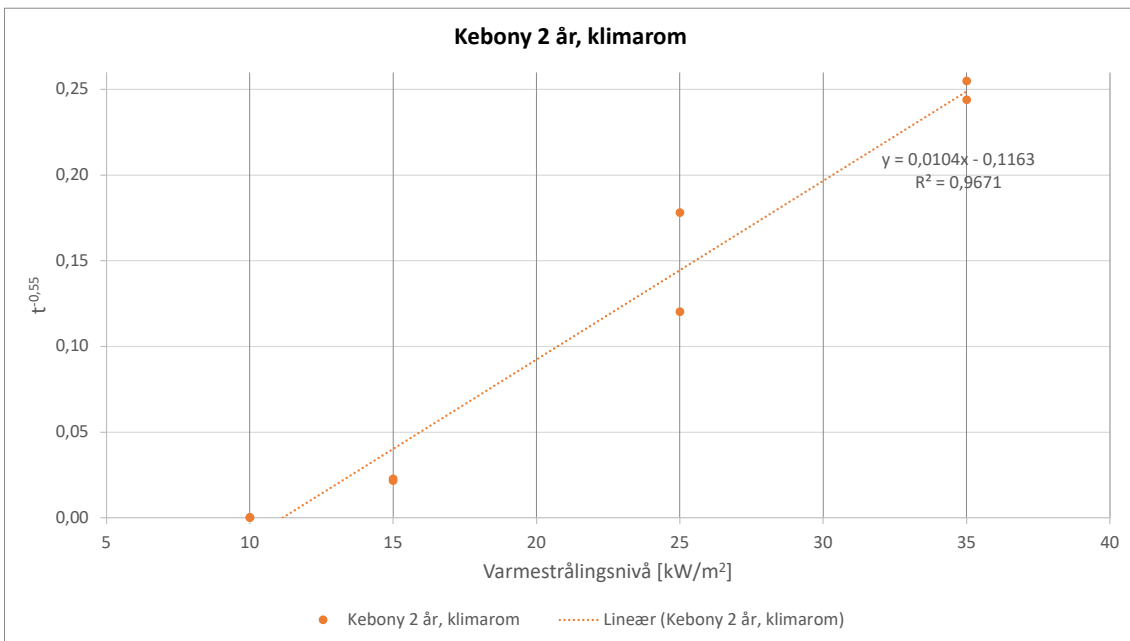
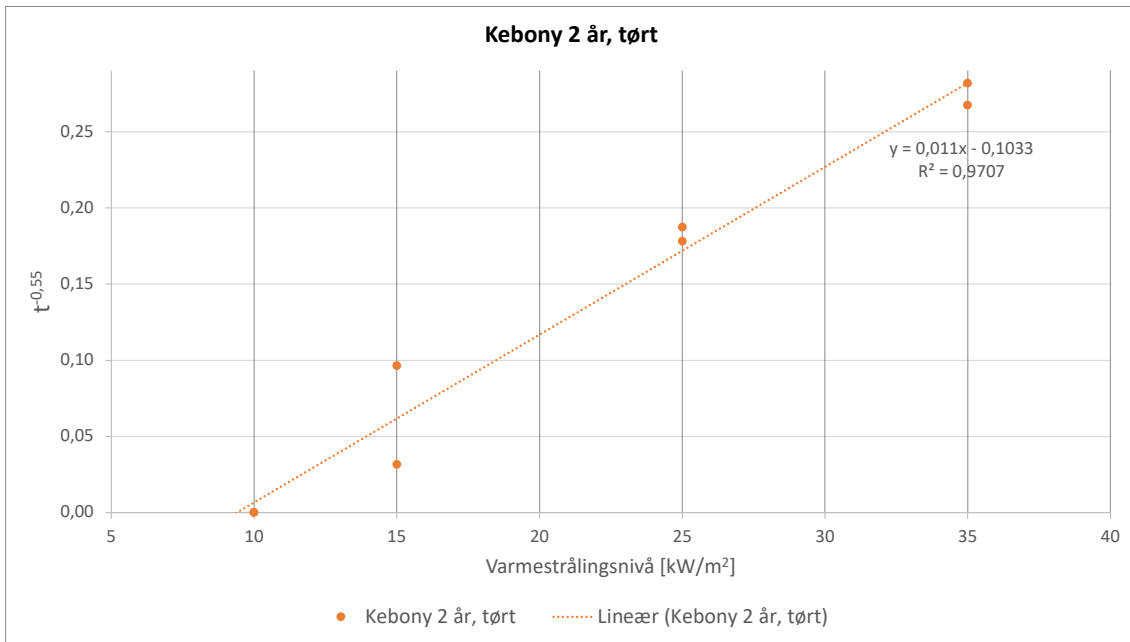
C Trendlinjer

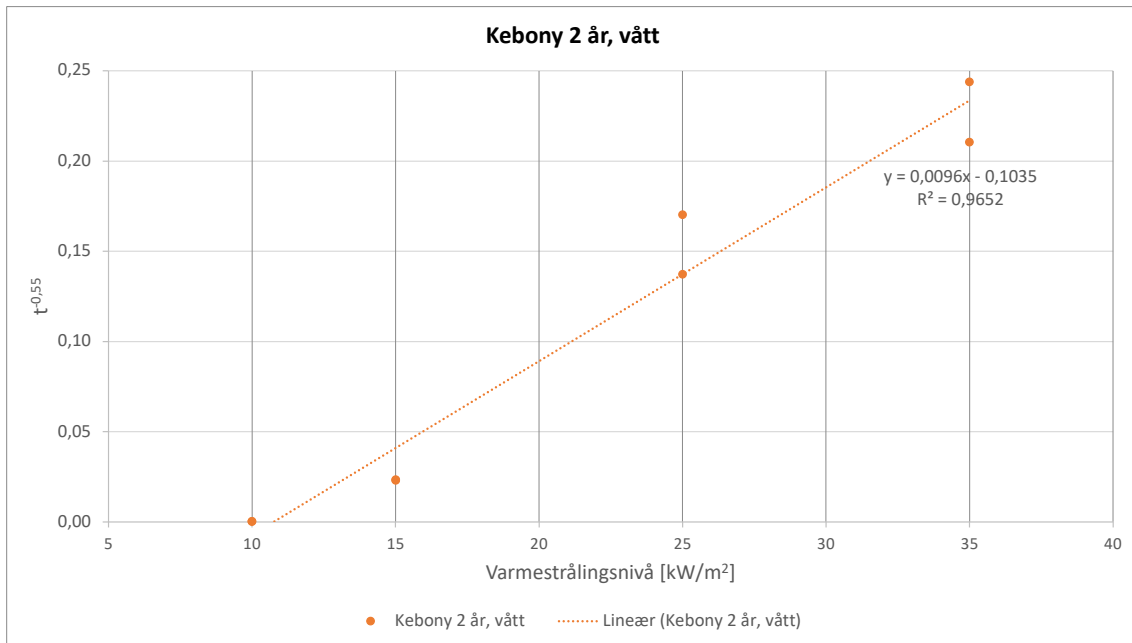
C.1 Kebony, 10 år



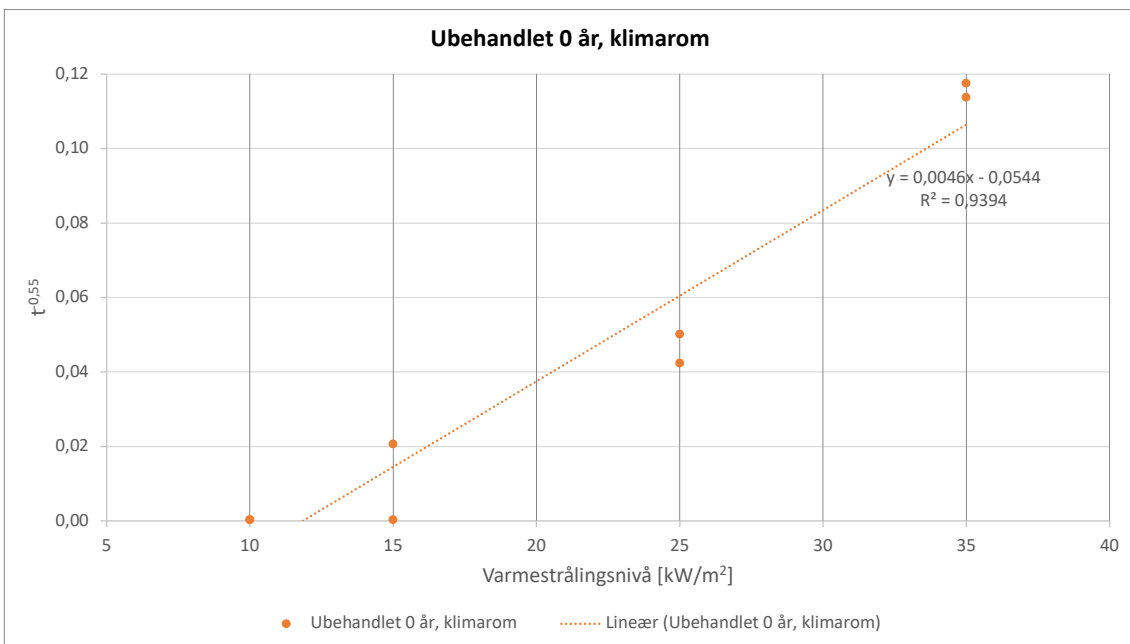
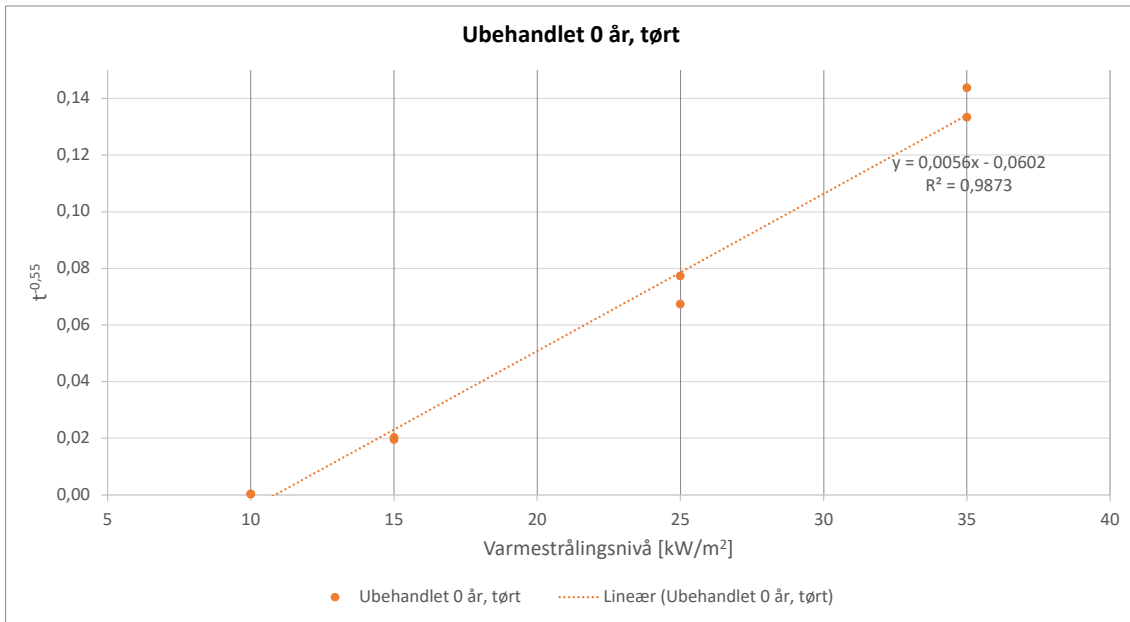


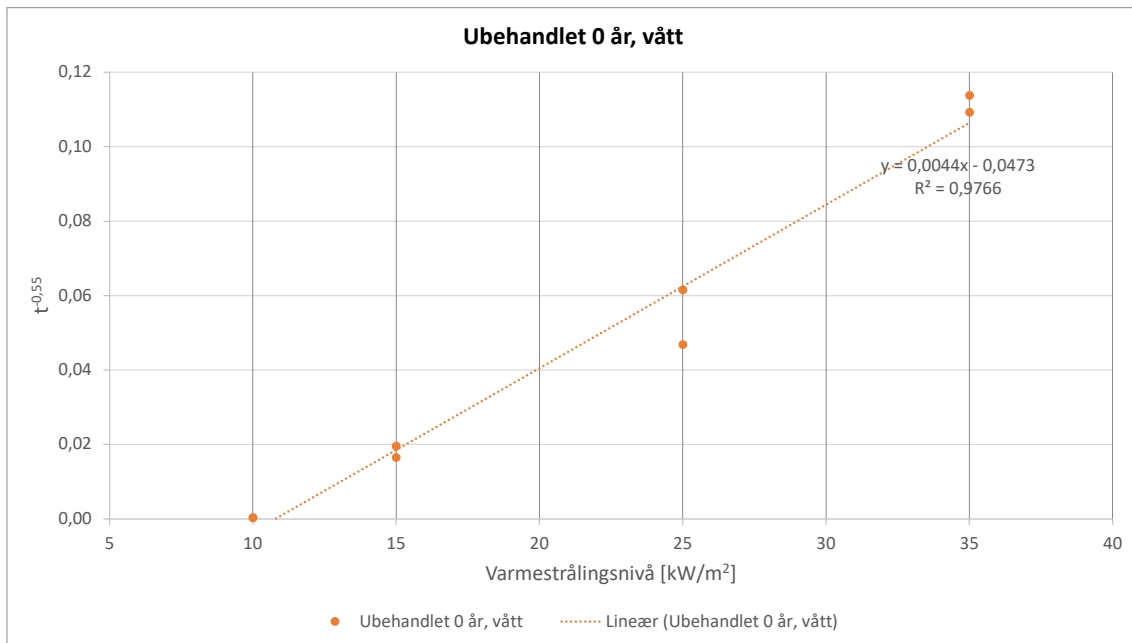
C.2 Kebony, 2 år



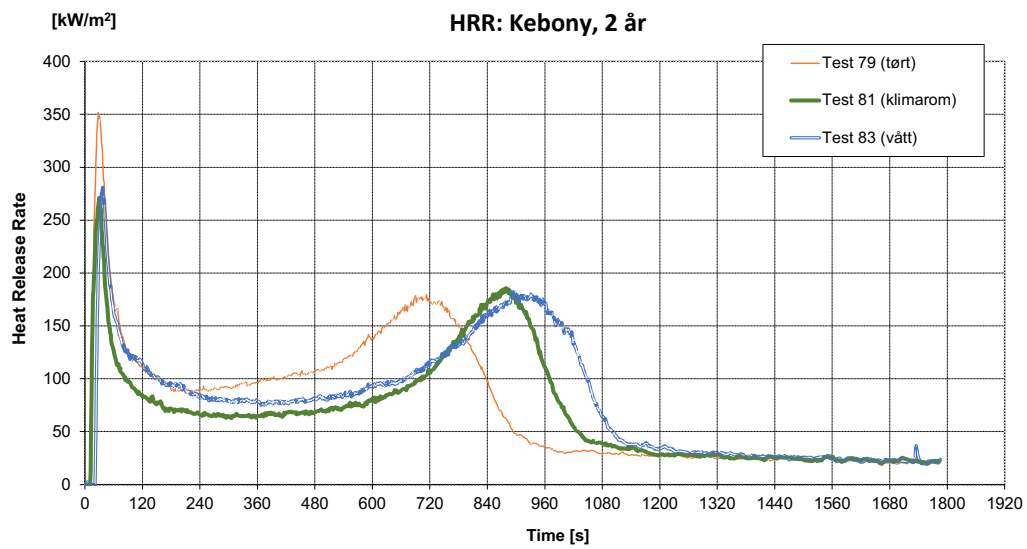
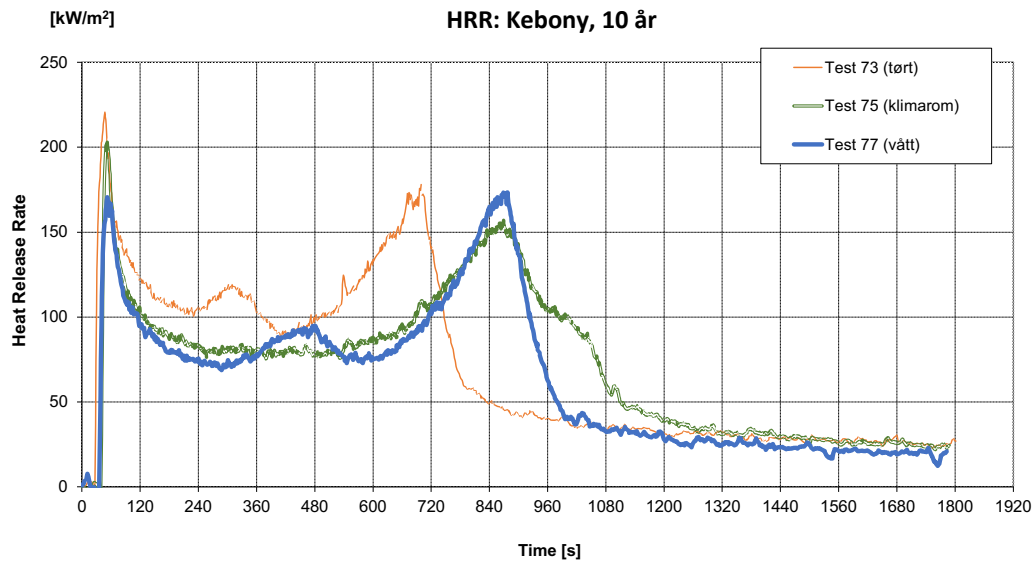


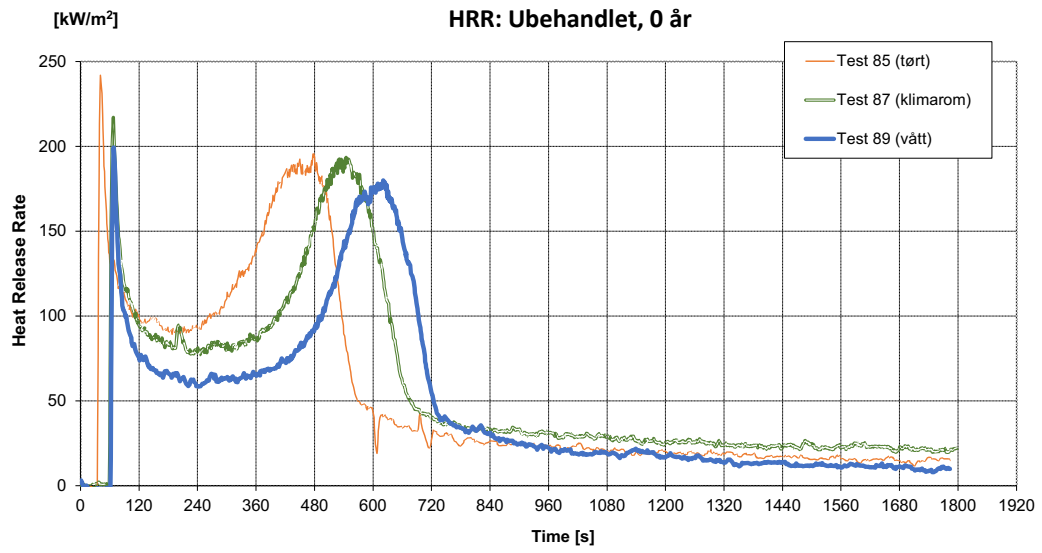
C.3 Ubehandlet, 0 år





D HRR for hvert materiale





E Sensitivitetsanalyse: kritisk fluks

E.1 Oppsummering

For hvert materiale:

		Kritisk fluks for antennelse [kW/m ²]			
		Opprinnelig	1800 s i stedet for 1.800.000 s	Bruke laveste verdi av resultater med stort sprik	3600 s i stedet for 1.800.000 s
Kebony, 10 år	Tørt	8,7	6,8	8,7	7,4
	Klimarom	9,5	7,5	9,4	8,2
	Vått	9,8	7,9	9,8	8,7
Kebony, 2 år	Tørt	9,4	8,5	8,6	8,7
	Klimarom	11,2	10,3	10,9	10,6
	Vått	10,8	9,8	11,0	10,1
Ubehandlet, 0 år	Tørt	10,8	9,0	10,8	9,7
	Klimarom	11,8	8,9	11,2	9,9
	Vått	10,8	8,5	10,4	9,2

Gjennomsnitt:

		Kritisk fluks for antennelse [kW/m ²]			
		Kebony, 10 år	Kebony, 2 år	Ubehandlet, 0 år	
0 (opprinnelig) 1 (endring i parameter)	Parameter				
	1.800.000s	9,3	10,5	11,1	
	1800s	7,4	9,5	8,8	
	Endring i prosent	-20,40 %	-8,80 %	-20,90 %	
0 (opprinnelig) 1 (endring i parameter)	Bruke begge verdier	9,3	10,5	11,1	
	Bruke laveste verdi av resultater med stort sprik	9,3	10,2	10,8	
	Endring i prosent	0,00 %	-2,90 %	-2,70 %	
0 (opprinnelig) 1 (endring i parameter)	1.800.000s	9,3	10,5	11,1	
	3600s	8,1	9,8	9,6	
	Endring i prosent	-13,40 %	-6,20 %	-13,60 %	

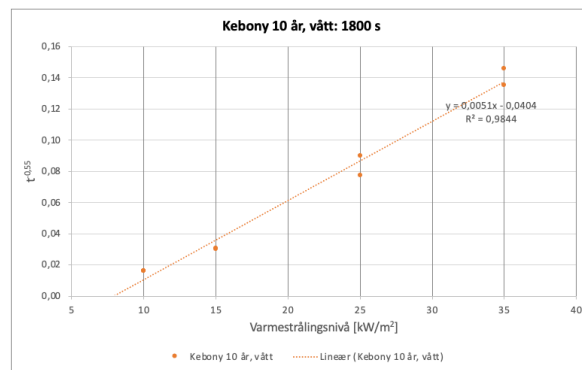
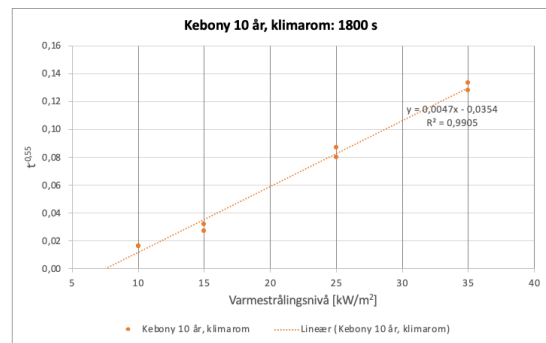
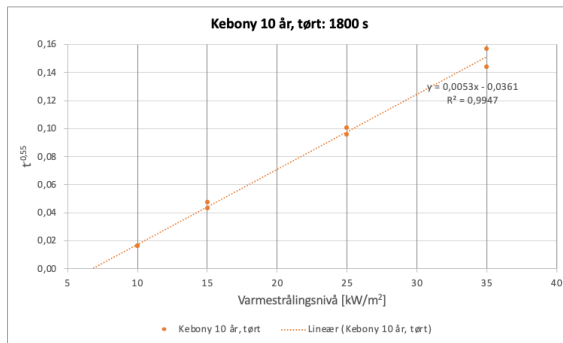
E.2 1800 s i stedet for 1 800 000 s

Det ble undersøkt hvordan kritisk fluks for antennelse endret seg dersom det ble brukt 1800 s i stedet for 1 800 000 s som tid for de testene som ikke antente.

KEBONY, 10 ÅR

Fluksnivå [kW/m ²]	T_ign [s]			t_IGN ^{-0,55}		
	Kebony 10 år, tørt	Kebony 10 år, klimarom	Kebony 10 år, vått	Kebony 10 år, tørt	Kebony 10 år, klimarom	Kebony 10 år, vått
10	1800	1800	1800	0,016	0,016	0,016
10	1800	1800	1800	0,016	0,016	0,016
15	258	515	562	0,047	0,032	0,031
15	304	709	583	0,043	0,027	0,030
25	65	98	80	0,101	0,080	0,090
25	71	85	105	0,096	0,087	0,077
35	34	39	38	0,144	0,133	0,135
35	29	42	33	0,157	0,128	0,146

t_IGN ^{-0,55} = a-fluks + b	a	b	Kritisk fluks = b/a
Kebony 10 år, tørt	0,0053	-0,0361	6,8
Kebony 10 år, klimarom	0,0047	-0,0354	7,5
Kebony 10 år, vått	0,0051	-0,0404	7,9

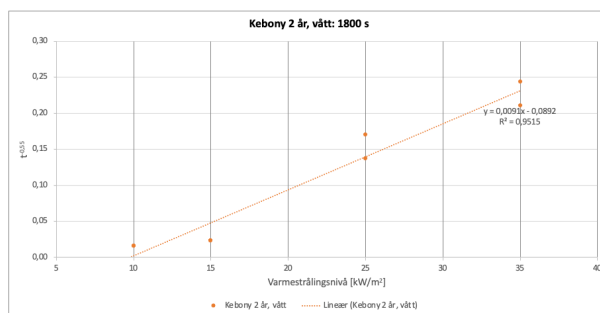
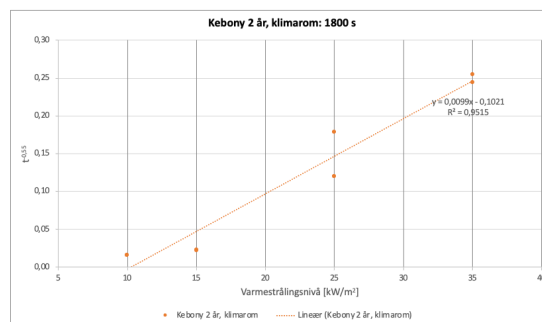
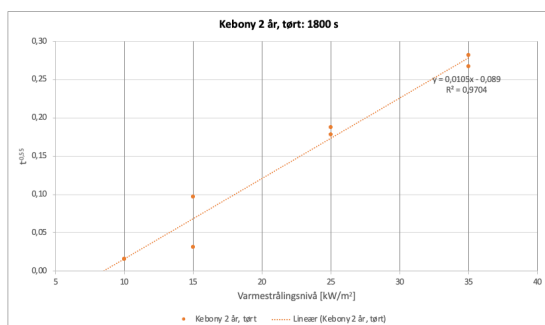


KEBONY, 2 ÅR

Fluksnivå [kW/m ²]	T_ign [s]			t_IGN^0,55		
	Kebony 2 år, tørt	Kebony 2 år, klimarom	Kebony 2 år, vått	Kebony 2 år, tørt	Kebony 2 år, klimarom	Kebony 2 år, vått
10	1800	1800	1800	0,016	0,016	0,016
10	1800	1800	1800	0,016	0,016	0,016
15	70	966	915	0,097	0,023	0,024
15	530	1051	939	0,032	0,022	0,023
25	21	47	25	0,187	0,120	0,170
25	23	23	37	0,178	0,178	0,137
35	11	13	17	0,267	0,244	0,211
35	10	12	13	0,282	0,255	0,244

t_IGN^0,55 = a·fluks + b

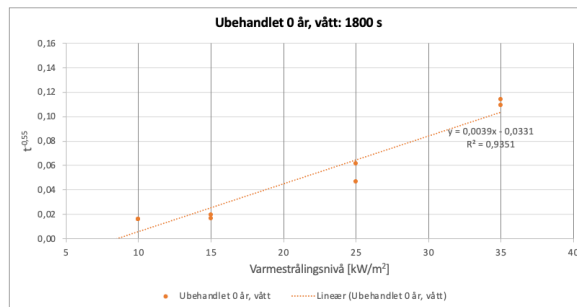
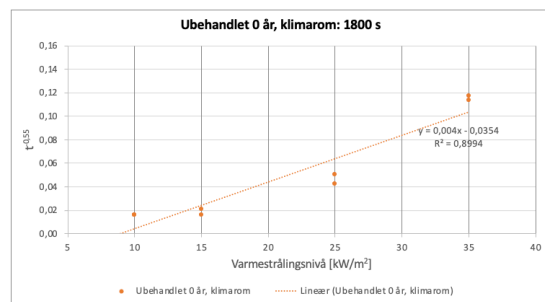
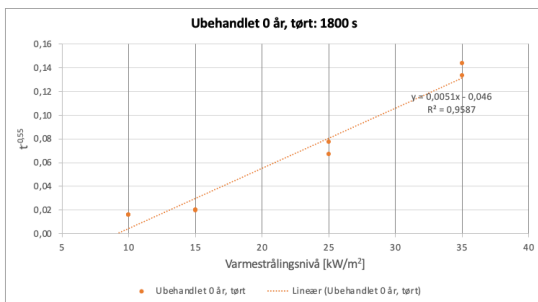
	a	b	Kritisk fluks = b/a
Kebony 2 år, tørt	0,0105	-0,089	8,5
Kebony 2 år, klimarom	0,0099	-0,1021	10,3
Kebony 2 år, vått	0,0091	-0,0892	9,8



UBEHANDLET, 0 ÅR

Fluksnivå [kW/m ²]	T_ign [s]			t_IGN ^{0,55}		
	Ubehandlet 0 år, tørt	Ubehandlet 0 år, klimarom	Ubehandlet 0 år, vått	Ubehandlet 0 år, tørt	Ubehandlet 0 år, klimarom	Ubehandlet 0 år, vått
10	1800	1800	1800	0,016	0,016	0,016
10	1800	1800	1800	0,016	0,016	0,016
15	1283	1800	1271	0,020	0,016	0,020
15	1195	1151	1742	0,020	0,021	0,016
25	135	313	159	0,067	0,042	0,062
25	105	230	261	0,077	0,050	0,047
35	39	49	56	0,133	0,118	0,109
35	34	52	52	0,144	0,114	0,114

t_IGN ^{0,55} = a-fluks + b	a	b	Kritisk fluks = b/a
Ubehandlet 0 år, tørt	0,0051	-0,046	9,0
Ubehandlet 0 år, klim	0,004	-0,0354	8,9
Ubehandlet 0 år, vått	0,0039	-0,0331	8,5



E.3 Bruke laveste verdi av resultater med stort sprik

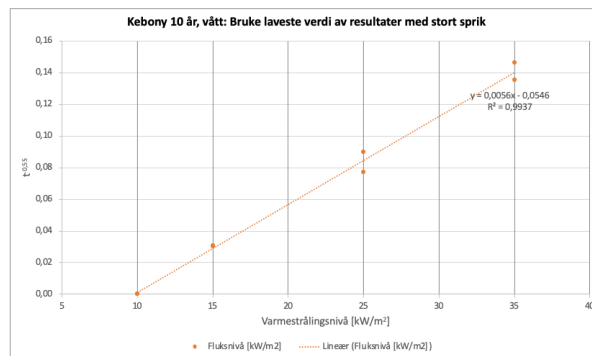
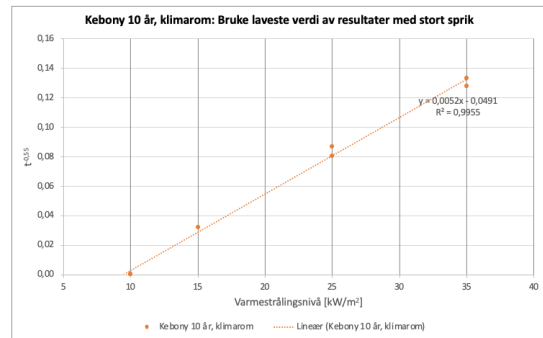
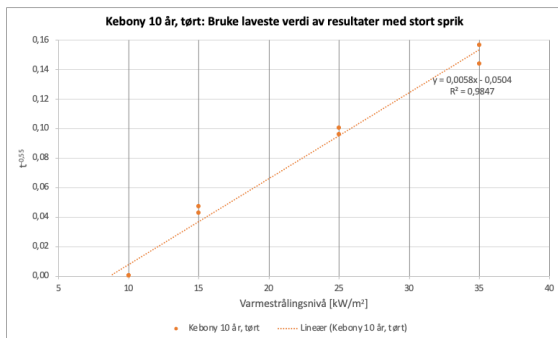
Det ble undersøkt hvordan kritisk fluks for antennelse endret seg dersom laveste verdi av to resultater med stort sprik ble brukt.

KEBONY, 10 ÅR

Fluksnivå [kW/m ²]	T_ign [s]			t_IGN^0,55		
	Kebony 10 år, tørt	Kebony 10 år, klimarom	Kebony 10 år, vått	Kebony 10 år, tørt	Kebony 10 år, klimarom	Kebony 10 år, vått
10	1800000	1800000	1800000	0,000	0,000	0,000
10	1800000	1800000	1800000	0,000	0,000	0,000
15	258	515	562	0,047	0,032	0,031
15	304	709	583	0,043		0,030
25	65	98	80	0,101	0,080	0,090
25	71	85	105	0,096	0,087	0,077
35	34	39	38	0,144	0,133	0,135
35	29	42	33	0,157	0,128	0,146

t_IGN^0,55 = a·fluks + b

	a	b	Kritisk fluks = b/a
Kebony 10 år, tørt	0,0058	-0,0504	8,7
Kebony 10 år, klimarom	0,0052	-0,0491	9,4
Kebony 10 år, vått	0,0056	-0,0546	9,8

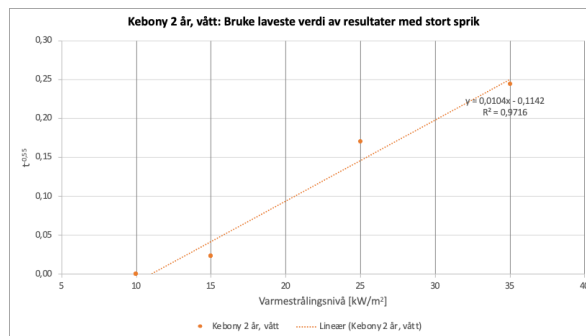
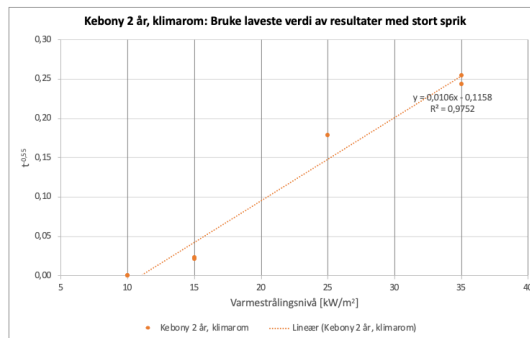
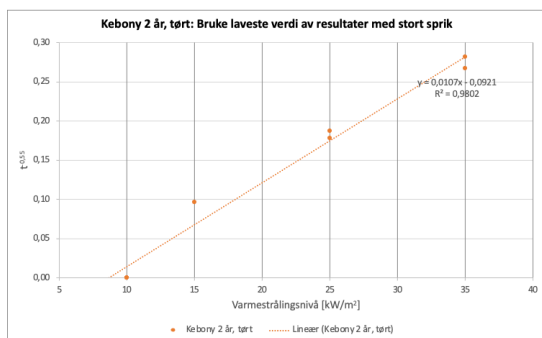


KEBONY, 2 ÅR

Fluksnivå [kW/m ²]	T _{ign} [s]			t _{IGN} ^{-0,55}		
	Kebony 2 år, tørt	Kebony 2 år, klimarom	Kebony 2 år, vått	Kebony 2 år, tørt	Kebony 2 år, klimarom	Kebony 2 år, vått
10	1800000	1800000	1800000	0,000	0,000	0,000
15	70	966	915	0,097	0,023	0,024
25	21	47	25	0,187		0,170
35	11	13	17	0,267	0,244	
35	10	12	13	0,282	0,255	0,244

t_{IGN}^{-0,55} = a·fluks + b

	a	b	Kritisk fluks = b/a
Kebony 2 år, tørt	0,0107	-0,0921	8,6
Kebony 2 år, klimarom	0,0106	-0,1158	10,9
Kebony 2 år, vått	0,0104	-0,1142	11,0

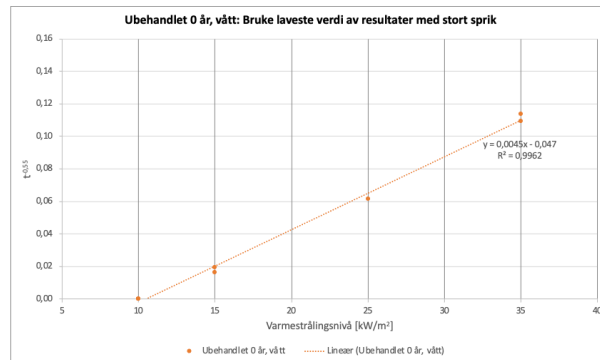
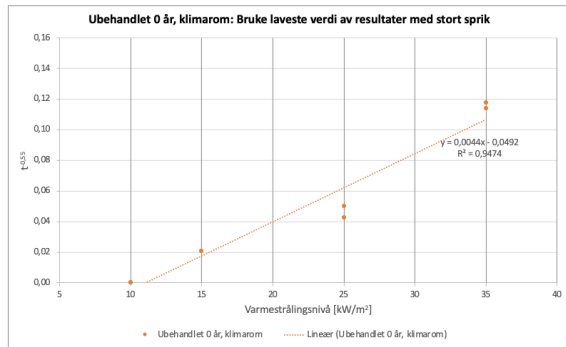
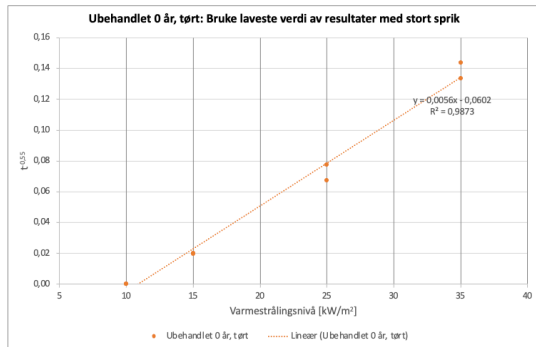


UBEHANDLET, 0 ÅR

Fluksnivå [kW/m ²]	T _{ign} [s]			t _{IGN} ^{-0,55}		
	Ubehandlet 0 år, tørt	Ubehandlet 0 år, klimarom	Ubehandlet 0 år, vått	Ubehandlet 0 år, tørt	Ubehandlet 0 år, klimarom	Ubehandlet 0 år, vått
10	1800000	1800000	1800000	0,000	0,000	0,000
10	1800000	1800000	1800000	0,000	0,000	0,000
15	1283	1800000	1271	0,020		0,020
15	1195	1151	1742	0,020	0,021	0,016
25	135	313	159	0,067	0,042	0,062
25	105	230	261	0,077	0,050	
35	39	49	56	0,133	0,118	0,109
35	34	52	52	0,144	0,114	0,114

$t_{IGN}^{-0,55} = a \cdot \text{fluks} + b$

	a	b	Kritisk fluks =b/a
Ubehandlet 0 år, tørt	0,0056	-0,0602	10,8
Ubehandlet 0 år, klimarom	0,0044	-0,0492	11,2
Ubehandlet 0 år, vått	0,0045	-0,047	10,4



E.4 3600 s i stedet for 1 800 000 s

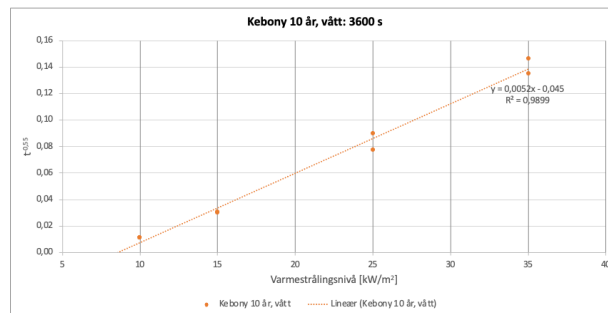
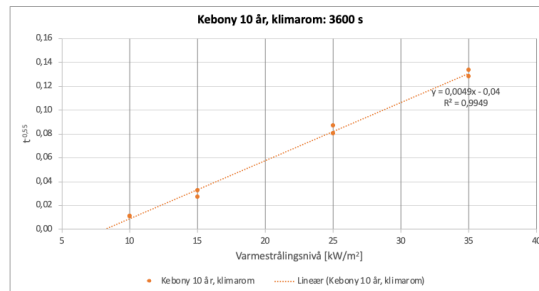
Det ble undersøkt hvordan kritisk fluks for antennelse endret seg dersom det ble brukt 3600 s i stedet for 1 800 000 s som tid for de testene som ikke antente.

KEBONY, 10 ÅR

Fluksnivå [kW/m ²]	T_ign [s]			t_IGN ^{-0,55}		
	Kebony 10 år, tørt	Kebony 10 år, klimarom	Kebony 10 år, vått	Kebony 10 år, tørt	Kebony 10 år, klimarom	Kebony 10 år, vått
10	3600	3600	3600	0,011	0,011	0,011
15	3600	3600	3600	0,011	0,011	0,011
25	258	515	562	0,047	0,032	0,031
35	304	709	583	0,043	0,027	0,030
10	65	98	80	0,101	0,080	0,090
15	71	85	105	0,096	0,087	0,077
25	34	39	38	0,144	0,133	0,135
35	29	42	33	0,157	0,128	0,146

$t_{IGN}^{-0,55} = a \cdot \text{fluks} + b$

	a	b	Kritisk fluks = b/a
Kebony 10 år, tørt	0,0055	-0,0407	7,4
Kebony 10 år, klimarom	0,0049	-0,04	8,2
Kebony 10 år, vått	0,0052	-0,045	8,7



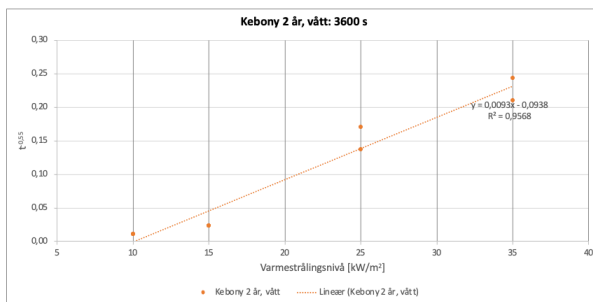
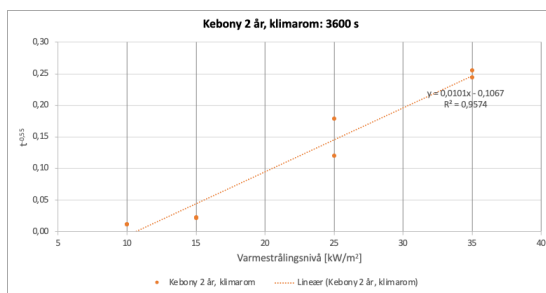
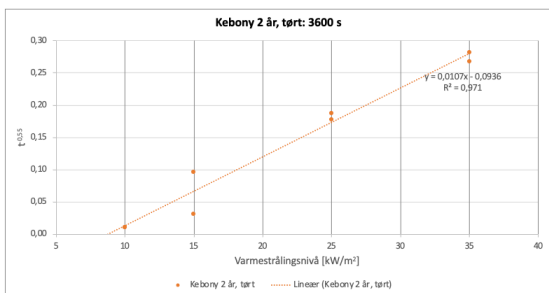
KEBONY, 2 ÅR

Fluksnivå [kW/m ²]	T _{ign} [s]			t _{IGN^0-0,55}		
	Kebony 2 år, tørt	Kebony 2 år, klimarom	Kebony 2 år, vått	Kebony 2 år, tørt	Kebony 2 år, klimarom	Kebony 2 år, vått
10	3600	3600	3600	0,011	0,011	0,011
10	3600	3600	3600	0,011	0,011	0,011
15	70	966	915	0,097	0,023	0,024
15	530	1051	939	0,032	0,022	0,023
25	21	47	25	0,187	0,120	0,170
25	23	23	37	0,178	0,178	0,137
35	11	13	17	0,267	0,244	0,211
35	10	12	13	0,282	0,255	0,244

t_{IGN^0-0,55} = a·fluks + b

Kebony 2 år, tørt
Kebony 2 år, klimarom
Kebony 2 år, vått

	a	b	Kritisk fluks = b/a
Kebony 2 år, tørt	0,0107	-0,0936	8,7
Kebony 2 år, klimarom	0,0101	-0,1067	10,6
Kebony 2 år, vått	0,0093	-0,0938	10,1



UBEHANDLET, 0 ÅR

Fluksnivå [kW/m ²]	T_ign [s]			t_IGN ^{0,55}		
	Ubehandlet 0 år, tørt	Ubehandlet 0 år, klimarom	Ubehandlet 0 år, vått	Ubehandlet 0 år, tørt	Ubehandlet 0 år, klimarom	Ubehandlet 0 år, vått
10	3600	3600	3600	0,011	0,011	0,011
15	1283	3600	1271	0,020	0,011	0,020
25	1195	1151	1742	0,020	0,021	0,016
35	135	313	159	0,067	0,042	0,062
35	105	230	261	0,077	0,050	0,047
35	39	49	56	0,133	0,118	0,109
35	34	52	52	0,144	0,114	0,114

t_IGN^{0,55} = a·fluks + b

Ubehandlet 0 år, tørt
 Ubehandlet 0 år, klimarom
 Ubehandlet 0 år, vått

	a	b	Kritisk fluks =b/a
Ubehandlet 0 år, tørt	0,0052	-0,0506	9,7
Ubehandlet 0 år, klimarom	0,0042	-0,0415	9,9
Ubehandlet 0 år, vått	0,0041	-0,0377	9,2

