



Rapport

Branntrygg - Standardisert og forhåndsdocumentert fraviksanalyse for bruk
av behandlet trekledning på bygg i brannklasse 1 og 2

Rapport

RAPPORTNR. 10020-RAP-1	REVISJON 0	DATO 2022-05-03
Branntrygg - Standardisert og forhåndsdokumentert fraviksanalyse for bruk av behandlet trekledning på bygg i brannklasse 1 og 2		
OPPDRAAGSGIVER(E) Boligprodusentenes Forening		OPPDRAAGSGIVERS REF. Per Jæger
PROSJEKTNR. 10020	ANTALLSIDER OG VEDLEGG: 42 + 2 vedlegg	
SAMMENDRAG Boligprodusentenes Forening har bedt Safezone om å utarbeide standardiserte og forhåndsdokumenterte fraviksanalyser for bruk av utvendig, behandlet trekledning som oppfyller klasse E. Fraviksanalysene gjelder for boligbygg med horisontale brannskiller og kontorbygg, barnehager, skoler og hotell med fire etasjer eller mindre. Hensikten med denne analysen er å danne et faglig grunnlag for Branntrygg 2, som er et digitalt fraviksverktøy som skal kunne brukes av ansvarlig prosjekterende i tiltaksklasse 1 og 2 for å håndtere fraviket den nevnte overflatebehandlingen utgjør. Analysen har tatt utgangspunkt i funksjonskrav i TEK, preaksepterte ytelser i VTEK og ulike forskningsstudier. Vi har fokusert på brannfysikken, og hvilke faktorer som bidrar til å øke risikoen for økt brannutvikling og brannspredning. Til sammen har dette dannet grunnlaget for hvilke faktorer og forhold som vurderes.		
SAKSBEHANDLER Christian Sesseng	SIGNATUR Dokumentet er signert elektronisk.	
INTERNKONTROLL Geir Drangsholt		

Revisjonshistorikk

REVISJON	DATO	REVISJONSBESKRIVELSE	SAKSBEH.	KONTR.
0	2022-05-03	Første versjon.	CS	GD

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	5
1.1. Bakgrunn	5
1.2. Mandat	6
1.3. Verktøyets gyldighetsområde og begrensninger	6
2. Kunnskapsgrunnlag	10
2.1. Test- og klassifiseringssystem	10
2.2. Kritisk varmekraft	10
2.3. Storskala kledningstester	10
2.4. Hulromstester	11
2.5. CFD-simulering av brann i luftespalte	13
3. Forslag til ny preakseptert ytelse for utvendig kledning	14
4. Diskusjon	15
4.1. Fare for brann og brannspredning i eget bygg	15
4.1.1. Fare for antenning	16
4.1.2. Spredning av brann i fasade	16
4.1.3. Tid til overtenning	16
4.1.4. Vertikal spredning av brann med innvendig brannstart til overliggende brannceller	19
4.1.5. Horisontal spredning av brann til andre brannceller i samme bygning	20
4.1.6. Geometriske forhold i fasaden	23
4.1.7. Hulrommets utforming	25
4.1.8. Kledningstype og kledningsprofil	28
4.1.9. Røykproduksjon	29
4.1.10. Utvikling av brennende dråper	29
4.2. Fare for brannspredning til nabobygg	29
4.2.1. Varmestråling fra brann i trekledning	30
4.2.2. Forskjell mellom kledning klasse D og E mht. brannspredning	33
4.2.3. Beregning av innkommende varmemestråling	35
4.2.4. Kompenserende tiltak for manglende avstand til nabobygg	38

4.3. Rømningsveier	40
5. Oppsummering	41
6. Referanser	42

Vedlegg A – Varmefluks målt i storskala forsøk

Vedlegg B – Beregning av termisk respons til kledning på nabobygg

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

I 2019 og 2020 gjennomførte Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) tilsyn med trekledning behandlet med brannhemmende middel. Som følge av tilsynet ble det oppdaget at royalbehandlet kledning var deklart feil. DiBK offentliggjorde tilsynsrapporten [1] 12. januar 2021. Produsentene hadde deklart produktene i system 4, og oppgitt klasse D-s2, d0 som egenskap ved brannpåvirkning uten brannprøving. Produktene skulle vært testet, fordi behandlet kledning skal deklarerer iht. system 3. Produsentene av royalbehandlet kledning informerte om at det ikke var gjennomført nødvendige tester av produktenes egenskaper ved brann, og brannklassifiseringen ble endret fra D-s2,d0 til NPD (No Performance Determined). Branntekniske tester i henhold til NS-EN 13823 [2] (SBI-testen) har i ettertid vist at slik kledning kan oppfylle klasse E. Tester har også vist at kledning som er malt eller beiset med enkelte produkter som er representative for forbrukermarkedet, har tilsvarende utfordringer med å oppfylle kravet til klasse D, og at de også oppfyller klasse E. [3]

Det er kledningens branntekniske ytelse, slik den er idet den forlater fabrikk, som testes. Dette innebærer at kledninger som er ferdigbehandlet i fabrikk klassifiseres i henhold til sin endelige ytelse (slik den vil være i bruk), mens ubehandlede eller grunnede kledninger, som krever behandling etter at den kommer på vegg, ikke har dokumentert ytelse for produktet slik det vil være i bruk.

Flere lover og forskrifter stiller krav til byggverk i Norge. Plan – og bygningsloven (PBL) § 29-5 sier at *ethvert tiltak skal prosjekteres og utføres slik at det ferdige tiltaket oppfyller krav til sikkerhet [...].* Byggteknisk forskrift (TEK17), som er hjemlet i PBL, sier i § 2-1 (1) at *det skal dokumenteres at kravene i forskriften (dvs. TEK17) er oppfylt i det ferdige byggverket.* TEK17 § 11-9 angir krav til materialer og produkters egenskaper ved brann. I henhold til veiledningen til byggteknisk forskrift (heretter VTEK) er preakseptert ytelse for utvendig kledning på bygg i brannklasse 1, og under visse forutsetninger bygg i brannklasse 2 og 3, D-s3,d0. Videre presiserer VTEK § 11-9 (2) avsnitt A at klassifisering gjelder *det endelige produktet*, slik at krav til produkter og materialer må forstås å gjelde sluttproduktet.

I VTEK § 11-9 (2) avsnitt A står det følgende om overflater:

Med overflate menes det ytterste tynne sjiktet av en bygningsdel, herunder overflatesjikt som maling, tapet og lignende. Underlaget som dette sjiktet er plassert på, har stor betydning for brannegenskapene til bygningsdelen i det tidlige brannforløpet. En overflate i seg selv, for eksempel maling eller tapet, kan altså ikke få noen brannklassifisering. Klassifiseringen gjelder det endelige produktet, altså kombinasjonen av overflaten og underlaget som denne er plassert på.

Forskrift om brannforebygging [4] stiller også krav til at byggeier skal sørge for å kontrollere at sikkerhetsinnretningene i bygget oppfyller kravene til brannsikkerhet som gjelder for byggverket. Dette innebærer at en kledning som er ubehandlet eller grunnert fra fabrikkens side ikke kan behandles (males eller beises) med mindre det kan dokumenteres at behandlingen ikke vil redusere kledningens branntekniske ytelse.

De branntekniske ytelsene til behandlet trekledning (malt, beiset eller impregnert) er i liten grad er dokumentert og klassifisert. Ny kunnskap tilsier at malte og beisete kledninger i mange tilfeller kun vil

oppfylle klasse E. Dette innebærer at det må antas at et stort antall bygg ikke oppfyller regelverkets minstekrav. Dette har ført til tilbaketrekking av brukstillatelser, reklamasjoner og andre fordyrende tiltak.

Da problemet med ytelsene til royalbehandlet kledning ble kjent, ble det våren og høsten 2021 gjennomført storskala tester av fasader med royalbehandlet, malt, beiset og ubehandlet trekledning [3,5]. Testene ble utført for å undersøke hva resultatene fra klassifiseringstestene (iht. NS-EN 13823 [2]) har å si i praksis for brannspredning i fasader og risiko for spredning av brann til tilstøtende bygninger. Resultatene fra disse testene viser at kledningens overflatebehandling gir mest bidrag i den tidlige brannutviklingen, og at geometri (fasadens utførelse mht. oppbygging av luftespalte, kledningens utforming og utstikk), avstander og størrelsen på startbrannen kan ha større betydning for hvordan brann i trekledning utvikler seg.

DiBK informerte 30. april 2021 om at foretak som er ansvarlig for prosjektering av brannsikkerhet i tiltaksklasse 1 og 2 kan benytte standardiserte og forhåndsdokumenterte fraviksanalyser for å dokumentere at brannprosjekteringen er i henhold til TEK17. Våren 2021 utarbeidet SINTEF Community standardiserte og forhåndsdokumenterte fraviksanalyser for eneboliger og fritidsboliger med én boenhet, kjedete boliger/fritidsboliger og rekkehus med kun vertikale brannskiller i brannklasse 1, med royalbehandlet kledning. For å dekke flere bygningstyper, har Boligprodusentenes Forening bedt Safezone om å utarbeide standardiserte og forhåndsdokumenterte fraviksanalyser for bruk av utvendig trekledning i bygg som også omfatter horisontale brannskiller. De standardiserte og forhåndsdokumenterte fraviksanalysene skal basere seg på de siste forskningsresultatene. Siden problemstillingen ikke bare gjelder royalbehandlet kledning, skal også annen behandlet trekledning omfattes.

1.2. Mandat

Opgaven som Safezone fikk av Boligprodusentenes Forening var å utarbeide standardiserte og forhåndsdokumenterte fraviksanalyser for bruk av behandlet trekledning for bygninger i brannklasse (BKL) 1 og 2 som ikke allerede er omfattet av Branntrygg 1, jf. Figur 1.1 og Figur 1.2. De standardiserte og forhåndsdokumenterte fraviksanalysene skal være underlag for videreutvikling av verktøyet Branntrygg (Branntrygg 2). Ansvarlige prosjekterende for brannsikkerheten i tiltaksklasse 1 og 2 skal kunne bruke Branntrygg 2 for å gjennomføre fraviksanalyser for bygninger med utvendig behandlet trekledninger.

1.3. Verktøyets gyldighetsområde og begrensninger

Verktøyets gyldighetsområde er begrenset til bygningstyper hvor DiBK¹ har åpnet for bruk av standardisert forhåndsdokumentasjon for vurdering av personsikkerhet som angitt i Figur 1.1 og Figur 1.2. For disse bygningstypene har DiBK angitt at det kan utarbeides standardiserte og forhåndsdokumenterte fraviksanalyser for å dokumentere at kledningene for bygningene tilfredsstiller

¹ Ref: <https://dibk.no/saksbehandling-tilsyn-og-kontroll/veiledning-om-midlertidig-brukstillatelse-og-ferdigattest-for-bygninger-med-royalbehandlet-kledning/>

funksjonskravene i TEK17 § 11-9. Fotnoter oppgitt i figurene er gjengitt etter figurene. Verktøyet omfatter ikke bygningstyper som allerede er omfattet av Branntrygg 1.

Bygningstype		Alle boenheter har utgang til terreng	Bruk av standardisert forhåndsdokumentasjon for vurdering av personsikkerhet	Tiltaksklasse
Boligbygg i brannklasse 1 Småhusbebyggelse med gode og forutsigbare rømningsforhold				
Frittliggende boligbygg i maksimalt tre etasjer med horisontale leilighetsskiller ²		Ja	Ja	1
Frittliggende boligbygg i to etasjer med horisontale leilighetsskiller ³		Nei	Ja	1
Boligbygg i brannklasse 2				
Boligbygg i tre og fire etasjer uten sprinkler ⁴		Nei	Ja	2
Boligbygg i tre og fire etasjer med sprinkler		Nei	Ja	2

Figur 1.1 Oversikt over hvilke boligbygg DiBK aksepterer bruk av standardisert, forhåndsdokumentasjon for vurdering av personsikkerhet (ref. fotnote 1) og som ikke allerede er omfattet av Branntrygg 1.

Bygningstype	Bruk av standardisert forhåndsdokumentasjon for vurdering av personsikkerhet og fraviksanalyse	Tiltaksklasse
ØVRIGE BYGG		
Brannklasse 1		
Kontorer (én og to etasjer)	Ja	1
Barnehager og skoler (én og to etasjer)	Ja	2
Hotell (én etasje, og to etasjer med BTA <300 m ²)	Ja	2
Brannklasse 2		
Kontorer (tre og fire etasjer)	Ja	2
Barnehager og skoler (tre og fire etasjer)	Ja	2
Hotell (to til fire etasjer)	Ja	2

Figur 1.2 Oversikt over hvilke bygg (unntatt bolig) DiBK aksepterer bruk av standardisert og forhåndsdokumentasjon for vurdering av personsikkerhet, (ref. fotnote 1) og som ikke allerede er omfattet av Branntrygg 1.

Fotnoter i Figur 1.1 og Figur 1.2:

² Eksempel: enebolig med sokkelleilighet, terrassehus, firemannsbolig i skrånende terreng

³ Eksempel: Horisontaldelt tomannsbolig, firemannsbolig, lavblokk i to etasjer (6- og 8-mannsboliger)

Fotnote 4 er ikke oppgitt på DiBKs sider.

Videre gjelder verktøyet for behandlet trekledning som oppfyller klasse E, når kledningen er et homogent produkt som i ubehandlet form tilfredsstiller klasse D-s3,d0, og har tilstrekkelig dokumentasjon med stabile prøvingsresultater, jf. EUs byggevareforordning (2011/305/EU). Kledningen må ha minimum tykkelse på 19 mm og minimum egenvekt på 390 kg/m³.

Det er mange forhold som må håndteres når man gjennomfører en fraviksvurdering. Det kan derfor være en kompleks øvelse. Et verktøy som Branntrygg vil derfor ikke kunne fange opp alle forhold. Det er derfor ikke anledning til å benytte verktøyet dersom:

- Det er andre fravik fra preakseptert ytelse i TEK17 kap. 11 – sikkerhet ved brann.
- Trekledningens tykkelse er mindre enn 19 mm.
- Trekledningen ikke er lukket.
- Bygget har innslag av spilekledning.

- Bygget er verneverdig.
- Bygget anses som del av tett verneverdig trehusbebyggelse med særlige risikoforhold.
- Bygget har områder med ulike risikoklasser. Gjelder ikke garasjeanlegg i risikoklasse 2 som er skilt ut som egen branncelle.

2. Kunnskapsgrunnlag

2.1. Test- og klassifiseringssystem

For beskrivelse av test- og klassifiseringssystemet for bestemmelse av klasser for materialer og produkter henvises det til Steen-Hansen og Mostad [3].

2.2. Kritisk varmekuvs

Kritisk varmekuvs for antenne er et varmestruvingsnivå der antenne vil ta uendelig lang tid. Denne verdien kan estimeres gjennom brannforsøk, men vil generelt kun gi en empirisk indikasjon på hvor lett et materiale kan antennes, og angir ikke en eksakt materialegenskap [3].

Det er blitt gjennomført tester i konkalorimeter (iht. ISO 5660 [6]) for å estimere kritisk varmekuvs for trekledning med ulike behandlinger. Testene er dokumentert i egen testrapport fra RISE Fire Research [7]. Resultatene viste at verdiene for kritisk kuvs var i samme størrelsesorden for aldret royalimpregnert furu, beiset grankledning og grunnet og malt grankledning, mens verdien for fersk royalimpregnert furu var vesentlig lavere [3]. Dette skyldes antageligvis at en fersk, fuktig oljeoverflate antennes vesentlig lettere enn en tørket oljeoverflate. Med samme størrelsesorden menes variasjonsområdet som testresultatene vil befinne seg i nær samme forsøk repeteres. Det bemerkes at det i disse testene ble testet én type oljemaling og én type oljedekkbeis, -begge ble valgt grunnet stort salgsvolum i forbrukermarkedet. Hvorvidt resultatene kan overføres til andre malinger og beiser er ikke undersøkt.

Det ser derfor ut til at det ikke er noen, eller liten, praktisk forskjell i antennelighet mellom aldret royalimpregnert furu, beiset grankledning og grunnet og malt grankledning. Byggeprosessen er lang. Det vil medgå mye tid, og kledningen vil utsettes for vr og vind, fra kledningen produseres i fabrikk, til kledningen er montert og bygget deretter er ferdigstilt. I praksis vil royalimpregnert kledning derfor ha høyere kritisk kuvs enn fersk kledning når bygget tas i bruk.

2.3. Storskala kledningstester

Våren 2021 ble det gjennomført en studie [3] som undersøkte brannspredning i fasader med trekledning. Studien omfattet 19 storskala branntester av trekledning med ulike former for behandling (royalimpregnert, malt, beiset og ubehandlet). Hensikten med prosjektet var å undersøke brannutviklingen i disse kledningsproduktene, og å belyse hva resultatene kan ha å si for sikkerhetsnivået i bygninger med slik kledning. Studien var begrenset til å undersøke brannutvikling og flammespredning på utvendig overflate på fasaden, og tok ikke hensyn til luftespalten bak kledningen.

Hovedkonklusjonene fra studien var:

- Det bør presiseres tydelig, enten i produktstandarden NS-EN 14915 *Panelbord og kledningsbord av heltre - Egenskaper, evaluering av samsvar og merking*, eller aller helst i

tabellen over CWFT²-bestemmelsene, at brannklassifisering uten testing kun gjelder for ubehandlet trevirke, så lenge annet ikke er sagt.

- Preakseptert ytelse for alle typer behandlet ytterkledning av trevirke bør vurderes nærmere. I dag er det sannsynligvis svært mange yttervegger med trekledning i Norge som ikke tilfredsstiller kriteriene til brannklasse D-s3,d0, der dette er gitt som preakseptert ytelsesnivå i VTEK.
- SBI-metoden anses som en god metode for vurdering og klassifisering av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning, også for ytterkledning av trevirke. Rangering av de testete produktene basert på resultater fra storskalatesten er i stor grad i samsvar med rangering av produktene på grunnlag av resultater fra SBI-testen. Mulighetene for å utvikle et eget sett med euroklasser for fasader basert på testing i henhold til SBI-metoden bør undersøkes.
- I samtlige storskalaforsøk ble det påvist at kledningens behandling har størst innvirkning på varmeksluksen målt i ulike høyder i de 2 første minuttene av brannforløpet.
- Geometri i forsøksoppsettet hadde stor innvirkning på brannspredningen i fasaden når flammene slo opp i den utkragete gesimsen. Effekten av geometriske forhold kan trolig være større enn effekten av overflatebehandlingen.
- Kledningsprofil og montering av kledningen, spesielt om skjøtene er tette og det ikke er hull i kledningen, er viktige faktorer med hensyn til brannspredning i fasaden og til hulrom.

Et annet poeng som trekkes fram i studien er at brannutviklingen i kledningen vil være mer avhengig av størrelsen på brennereffekten (les: startbrannen) enn av trekledningens overflatebehandling, fordi varmeksluksen fra trekledningen alene (enten denne er overflatebehandlet eller ikke), ikke blir høy nok til å opprettholde forbrenningen med en relativt liten brennereffekt. Samtidig settes det spørsmålsteget ved om hvorvidt en større startbrann ville ført til at forkullingen ikke ville klare å opprettholde den isolerende effekten, slik at kledningen til slutt kan bidra til å spre brannen på egenhånd. Dette ble derfor undersøkt i forbindelse med den andre forsøksserien, som er omtalt i kapittel 2.4. Dette er også nærmere beskrevet i kapittel 4.2.1 og vedlegg A.

2.4. Hulromstester

Høsten 2021 ble det gjennomført en testserie ved RISE Fire Research som belyste brannspredning og brannutvikling i hulrommet bak luftet trekledning. I serien ble det benyttet et forsøksoppsett som besto av flate vegger med tett kledning. Veggene hadde ingen innvendige hjørner, utspring, dører, vinduer eller andre gjennomføringer. I mange av forsøkene ble det tilstrebt å forhindre eksponering på kledningens ytterside for å kunne studere brannutviklingen i hulrommet alene. Det ble også gjennomført forsøk hvor både hulrommet og yttersiden ble eksponert samtidig. Kun et par av disse forsøkene er rapportert i RISEs rapport, da samtidig eksponering av hulrommet og yttersiden ikke var hovedfokus i studien. Noen resultater er derfor presentert i denne rapporten (vedlegg A).

Parametere som ble undersøkt i studien var kledningens behandling (royalbehandlet eller ubehandlet), kledningens orientering (liggende eller stående), hulrommets utforming (vertikale sløyfer eller krysslekter), åpningsgrad langs veggens ytterkant i side, topp og bunn, type vindsperre, startbrannens

² CWFT – Classified Without Further Testing

størrelse og startbrannens varighet. Testoppsett, testprosedyre og resultater er nærmere beskrevet av Stølen m.fl. [5].

I studien ble følgende hypoteser formulert og testet:

1. Ei treoverflate med royaloljebehandlet furu i hulrommet fører til raskere flammespredning, høyere temperaturer eller større varmeavgivelse enn ei overflate med ubehandlet furu.
2. Bruk av vindsperre med brannklasse F på innsiden av hulrommet fører til raskere flammespredning, høyere temperaturer eller større varmeavgivelse enn ved bruk av vindsperre med brannklasse A2 ved brann i hulrommet.
3. Krysslekting i hulrommet, og andre konstruksjonsdetaljer som gir økt lufttilgang i hulrommet fører til raskere flammespredning, høyere temperaturer eller større varmeavgivelse enn vertikal lekting ved brann i hulrommet.

Hypotesene ble analysert både kvalitativt og kvantitativt. I tillegg ble det utført statistiske tester (faktoriell ANOVA) for å vurdere hvorvidt eventuelle forskjeller i resultatene mellom de ulike parameterne kunne tilskrives en reell forskjell eller tilfeldig variasjon.

Når det gjelder hypotese 1 konkluderes det med at det ikke er påvist noen sammenheng mellom trekledningens behandling og hastighet på temperaturstigning i hulrommet. Det ble heller ikke påvist noen sammenheng mellom trekledningens behandling og tid til flammene hadde spredt seg til toppen av testriggen. Hypotese 1 er dermed avvist.

Når det gjelder hypotese 2 tyder resultatene på at vindsperre med brannklasse F førte til raskere temperaturstigning og flammespredning enn vindsperre med brannklasse A2. Forskjellen er imidlertid ikke statistisk signifikant, men likevel såpass stor at den kan sies å være grensesignifikant ($p = 0,06$). Det vil si at det er 6 % sjanse for at de observerte forskjellene skyldes tilfeldigheter. I praksis betyr dette at byggverk i brannklasse 1 og boliger inntil 3 etasjer der VTEK tillater at overflater i hulrom kan ha uklassifiserte materialer kan gi raskere brannspredning til luftespalter i takflater, inn i loftsarealer, eller inn i bygningen via andre utettheter enn om det hadde vært benyttet vindsperre med brannklasse A2.

Videre konkluderes det med at hulrommets utforming, dvs. hvorvidt det er benyttet krysslekting eller vertikale sløyfer, påvirket hvor lang tid det tok før temperaturen i hulrommet steg til 200 °C. Resultatene viser at temperaturstigningen går raskest når man har vertikale sløyfer og liggende kledning. Dette betyr imidlertid ikke at vertikale lekter gir et raskere og mer utbredt brannforløp. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 4.1.7. Tilsvarende konkluderes det med at type lekting kan ha påvirket hvor lang tid det tok til flammes var synlige over toppen av riggen. Resultatet var imidlertid ikke signifikant, men likevel ikke langt unna signifikansgrensen ($p = 0,10$). Det vil si at det er 10 % sjanse for at de observerte forskjellene skyldes tilfeldigheter.

Testene viste også at branner som sprer seg til hulrommet bak kledningen i mange tilfeller vil bli begrenset pga. begrensede mengder tilgjengelig oksygen i hulrommet. Dette medfører at i de tilfellene hvor brannen blir ventilasjonskontrollert bidrar hulrommet primært til transport av branngasser.

Øvrige, relevante resultater fra studien trekkes inn i de videre vurderingene.

2.5. CFD-simulering av brann i luftespalte

I forbindelse med planleggingen av testserien beskrevet i kapittel 2.4 har Safezone gjennomført CFD-simuleringer for å fremskaffe et grunnlag for utforming av testoppsettene i laboratorieforsøkene, inkludert hensiktsmessig instrumentering.

Simuleringene ble gjennomført med programvaren Fire Dynamics Simulator (FDS) [8].

Gjennomføringen av simuleringene og resultatene er beskrevet i egen rapport [9]. Resultatene fra CFD-simuleringene sammenfaller med resultatene fra storskalaforøkene som senere ble rapportert i [5]. Hovedkonklusjonene fra CFD-simuleringene var som følger:

- Startbrannens effekt og plassering har stor betydning for hvordan hulrommet eksponeres. Startbrann plassert inntil bakvegg, tett på panelets underkant, gir større eksponering av hulrommet enn om initialbrannen holder avstand.
- Tilgang på oksygen i hulrommet begrenses av hulrommets utforming, dybde, geometri i og utenfor hulrommet og detaljer knyttet til inn- og utløp (eksempelvis musebånd og toppbeslag).
- Simuleringene indikerer at brannutviklingen i hulrommet begrenses av oksygentilgang. Forbrenningen produserer da uforbrente gasser som kan reantennes ved utløp. Under gitte forhold kan med andre ord hulrommet fungere både som produsent og transportør av brennbare gasser. Dette er branngasser som både startbrannen og pyrolysen i hulrommet produserer
- Hulromsdybde synes å ha vesentlig større betydning for varmeavgivelsen enn størrelsen på startbrannen. Startbrann som dekker hele spaltebredden (liggende panel) reduserer oksygentilgangen til hulrommet mer enn en brann som dekker mindre del av spaltens tverrsnittsareal
- Simulering med «gassbrann» indikerer at liggende panel med hulrom 60 cm × 240 cm (b × h) ikke kan produsere mer varme enn 55 kW hvis spaltedybden er 25 mm. For spaltedybde på 35 mm øker tallet til ca. 80 kW. Restriksjoner i form av musebånd og toppbeslag på inn og utløp vil redusere disse størrelsene og redusere forskjellene mellom ulike spaltedybder.
- Simulering med stående panel (180 cm × 240 cm) og åpne sidekanter indikerer noe større sideveis brannspredning når panelet er tilført linolje i yttersjiktet. Beregningene indikerer at også brann i hulrom bak stående kledning blir ventilasjonskontrollert.
- Varmeeksponering av veggflaten (120 cm × 240 cm (b × h)) med henholdsvis 150 kW og 500 kW gir tilnærmet momentan antenning av hele veggflata. Modellen med linolje gir noe høyere varmeavgivelse de første minuttene enn med ubehandlet trepanel.
- Resultatene fra beregningene som er gjennomført i denne studien er nært knyttet til størrelser og geometri på de veggelementene som er benyttet i forsøkene, startbrannens plassering, effekt og varighet. Videre er resultatene nært knyttet til rutenettoppløsning benyttet i CFD-modellene, og på modellene som beskriver egenskapene til de brennbare materialene

(furu/royalbehandlet furu). Beregningene indikerer at brann i hulrom styres av oksygentilgangen, men hva som skjer ved en eventuell gjennombrenning av kledningen er ikke inkludert i denne studien.

- Fra et brannteknisk perspektiv bør det tilstrebes å redusere dybden på inngangen og utgangen av luftespaltene. Det bør utredes i hvilken grad inngang og utgang kan strupes uten at det går på bekostning av nødvendig utlufting av fukt.

3. Forslag til ny preakseptert ytelse for utvendig kledning

Den såkalte royalsaken har gitt mange økt forståelse av hvordan det europeiske regelverket for testing og klassifisering skal tolkes, hva som var bakgrunnen for oversettelse av nasjonale klasser til Euroklassene, bakgrunnen for testregimet, samt hvilke forutsetninger dette bygger på. Testmetodene som anvendes for å klassifisere produktene gir et relevant bilde av kledningens oppførsel i brann med de forskjellige overflatebehandlingene, men det kan være hensiktsmessig med andre grenseverdier for FIGRA for utvendig kledning enn innvendig kledning [3].

Det er også blitt avdekket at flere av de vanlige behandlingsformene (maling, beis) heller ikke oppfyller VTEKs preaksepterte ytelser mht. materialers egenskaper ved brann. Med bakgrunn i dette har Boligprodusentenes Forening utarbeidet et forslag til nye preaksepterte ytelser, som vil tillate bruk av behandlet trekledning uten at sikkerhetsnivået reduseres. Forslaget til nye ytelser ble oversendt DiBK/KDD den 19. november 2021.

Boligprodusentene foreslår at preakseptert ytelse formuleres som:

Yttervegg i

a) byggverk i brannklasse 1, og 2 og

*b) byggverk i risikoklasse 1, 2 og 4 med inntil fire etasjer og hvor det er liten fare for
brannspredning til og fra nabobyggverk,*

kan ha behandlet kledning med utvendig overflate klasse E når kledningen er et homogent produkt som i ubehandlet form tilfredsstiller klasse D-s3,d0 og har tilstrekkelig dokumentasjon med stabile prøvingsresultater, jf. EUs byggevareforordning (2011/305/EU).

4. Diskusjon

Når konsekvensene av bruk av trekledning som oppfyller klasse E skal vurderes, må det ses opp imot funksjonskravene som settes i TEK17 til materialers og produkters egenskaper ved brann (TEK17 § 11-9), til tiltak for å forhindre spredning mellom byggverk (TEK17 § 11-6) og til rømningsveier og rømningsforhold (TEK17 § 11-14). De ulike funksjonskravene regulerer fare brannspredning i eget bygg, fare for brannspredning til nabobygg og rømningsveier. I følgende underkapitler vil en rekke faktorer som påvirker disse vurderes, og kompenserende tiltak vil foreslås.

4.1. Fare for brann og brannspredning i eget bygg

TEK17 [10] har to ledd under paragraf § 11-9 *Materialer og produkters egenskaper ved brann*. Hvert av disse leddene har en tilhørende veiledningstekst [11], som angir hvordan funksjonskravene i leddene kan oppfylles preakseptert. Paragrafens første ledd sier:

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.

Veiledningen til leddet angir blant annet at:

Utvendige overflater på fasader og tak vil vanligvis bli involvert senere i et brannforløp, og kan bidra til brannspredning både mellom ulike deler av et byggverk og mellom ulike byggverk.

Paragrafens andre ledd sier:

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 leddet angir at preakseptert ytelse for utvendig kledning er klasse D-s3,d0 [Ut 2] for bygninger i brannklasse 1, og B-s3,d0 [Ut 1] for bygninger i brannklasse 2 og 3. I tillegg angir veiledningen to unntakspunkt (2 og 4) samt en presisering (3):

2. Yttervegg i byggverk i brannklasse 2 og 3 kan ha utvendig overflate som tilfredsstiller 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.

Hvis man skal benytte trekledning klasse E (jf. kapittel 3) på bygg i BKL2, må man først vise at unntakspunktene i punkt 2 i listen over er oppfylt.

For å vurdere hvorvidt trekledning klasse E kan brukes er det tatt utgangspunkt i de faktorene som må vurderes for å oppfylle funksjonskravet i § 11-9 (2), samt kunnskapen som er fremskaffet gjennom forsøksserier og simuleringer [3,5,9].

4.1.1. Fare for antennelse

Tester av malt, beiset og royalbehandlet kledning som var henholdsvis 12 og 18 måneder gammel har vist at kledningene har en kritisk fluks-verdi i samme størrelsesorden som ubehandlet treverk og estimert antennelsestemperatur som ikke er uvanlig for tre-material [12]. Dette innebærer at kledningene har noenlunde lik mulighet for antennelse [3,7]. Det ser derfor ikke ut til å være store, praktiske forskjeller mellom royalkledning, de testede malings- og beisproduktene og ubehandlet kledning mht. antennelse. Se kapittel 2.2.

4.1.2. Spredning av brann i fasade

Det er i prinsippet to typer branner som kan spre seg i byggets fasade: innvendig brann som sprer seg ut gjennom vindu/dør og utvendig brann. Det må tas høyde for begge typene når man vurderer hvorvidt personsikkerheten er ivarettatt ved bruk av behandlet trekledning. Både innvendig og utvendig brannstart kan forhindres eller begrenses av flere tiltak. Hvor brannen oppstår vil imidlertid være underordnet når brannen først når fasaden.

En brann i fasade med trekledning kan i begynnelsen spre seg kun på yttersiden, kun i luftespalten bak kledningen eller samtidig på yttersiden og i luftespalten. Dersom brannkilden ikke slukkes, vil sannsynligvis både yttersiden og luftespalten før eller siden bli involvert i brannen.

I forsøkene som ble gjennomført våren 2021 var ikke luftespalte bak kledningen hensyntatt. Forsøkene viste at behandlet trekledning (både malt, beiset og royalbehandlet) førte til større brannutvikling og varmestråling i løpet av de første minuttene, sammenlignet med ubehandlet kledning. Royalkledningen hadde noe høyere varmestråling og skadeomfang enn malte og beisete kledninger i denne perioden. Etter tre minutter var brannen og varmestrålingen lik, uavhengig av hvordan kledningen var behandlet, og det var primært brannkilden som bidro til å underholde brannen. Når brannkilden ble slukket, slukket også brannen i kledningen.

Dersom brannen sprer seg kun til og i luftespalten kan man forvente en vertikal spredning på grunn av skorsteinseffekten. Testserien som ble gjennomført høsten 2021 viste at brannutviklingen påvirkes av luftespaltens utforming (dybde på luftespalte og hvorvidt det er krysslekting eller kun vertikale sløyfer), hvor stor tilgang det er på oksygen i spalten og hvilken type vindsperre som er benyttet. Testene viste også at det ikke er noen statistisk signifikant forskjell mellom hvordan brannen utvikler seg i hulrommet med royalkledning, som også er behandlet mot luftespalten, sammenlignet med ubehandlet kledning [5]. Brannspredning i hulrommet er nærmere omtalt i kapittel 4.1.7.

4.1.3. Tid til overtenning

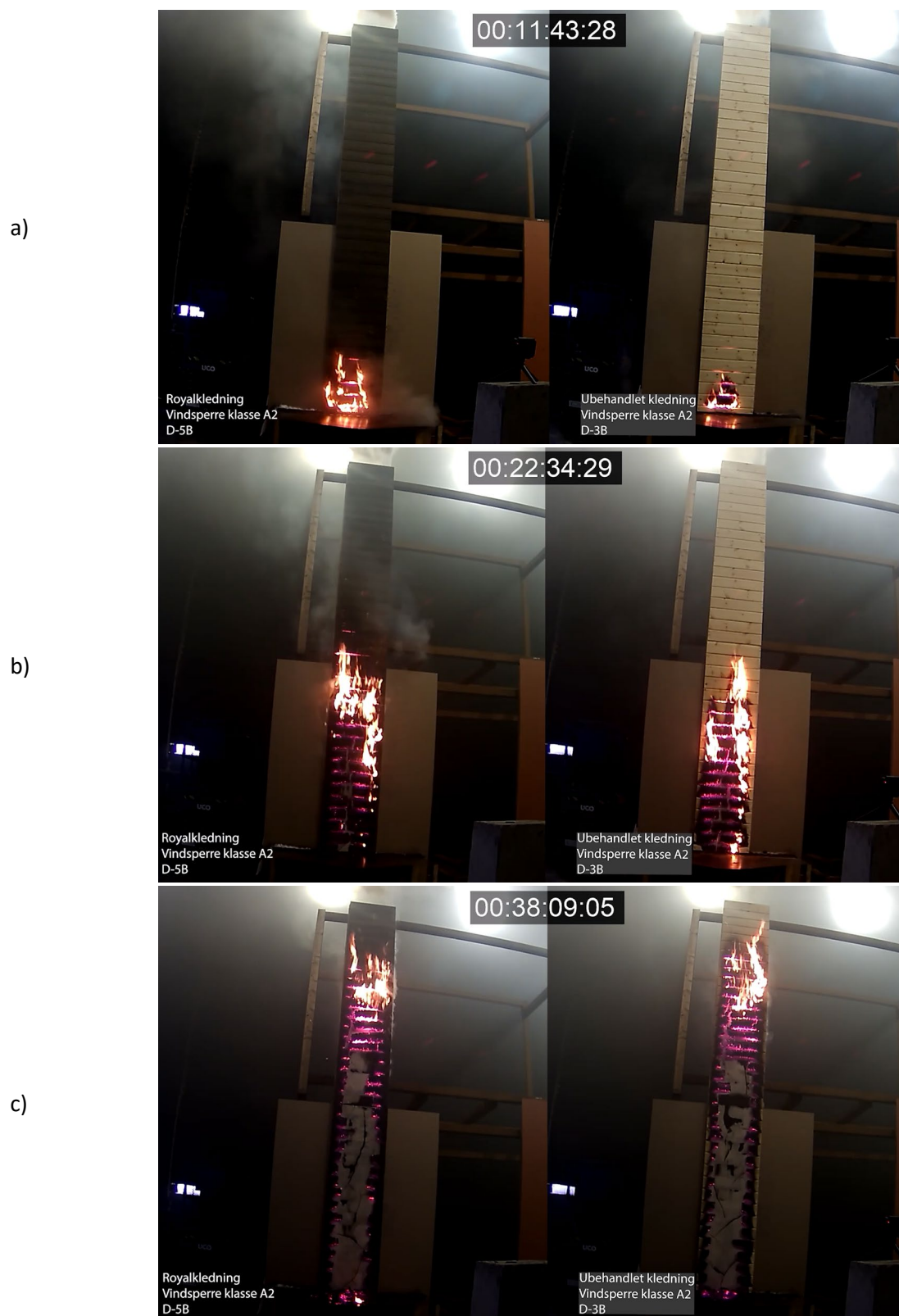
Overtenning defineres som overgang til en tilstand der alle overflater på brennbare materialer i et rom deltar i en brann³. Overtenning i denne betydningen er ikke relevant for utvendig kledning.

³ Ref: Kollegiet for brannfaglig terminologi, www.kbt.no

Dersom man tenker overtenning i den forstand at brannen sprer seg til hele fasaden, vil behandlet trekledning ha tilsvarende oppførsel som ubehandlet kledning. Varmen fra startbrannen vil føre flammer opp langs fasaden og antenne overflatebehandlingen. Når overflatebehandlingen antenner vil den brennes av i løpet 3-4 minutter. Brann i royalkledning (på fasadens utside) vil strekke seg noe lengre opp langs fasaden enn brann i malt og beiset kledning, som igjen vil strekke seg lengre opp enn brann i ubehandlet kledning. Forskjellen mellom de ulike behandlingene er knyttet til startbrannens effekt. Avgitt stråling vil øke med økende effekt på startbrannen fordi et større kledningsareal samtidig påvirkes av startbrannen. Etter 3-4 minutter, når det ytterste laget av kledningen er forkullet, beskytter kullaget friskt treverk innenfor, og begrenser dermed videre pyrolyse. Dette gjør at tilgangen til brennbare gasser fra treverket reduseres og brannen trekker seg nedover fasaden igjen og opprettholdes primært av startbrannen, med mindre geometriske forhold i fasaden gjør at brannen greier å opprettholde seg selv.

Dersom brannen brenner seg gjennom kledningen og sprer seg til luftespalten bak, vil man få vekselvirkninger som gjør at brannen kan opprettholde seg selv. Storskala tester (Figur 4.1) indikerer imidlertid at dette ikke vil være verre for royalkledning enn for annen behandlet trekledning hovedsakelig fordi gjennombrenning skjer etter at overflatebehandlingen er avbrent. Disse testene ble gjennomført i forbindelse med studien hvor man undersøkte brannspredning i hulrommet bak luftet kledning [5], men de ble ikke rapportert da dette ikke inngikk i studiens målsetting.

Gitt en slett fasade vurderes det at avbrenningen av overflatebehandlingen, med påfølgende reduksjon i varmeavgivelse, ikke vil føre til overtenning av fasaden, med mindre startbrannen har så stor effekt at hele fasaden omslutes av flammer. Det vil imidlertid være en problemstilling knyttet til startbrannen og ikke trekledningens overflatebehandling. Situasjonen anses derfor ikke som forverret sammenlignet med trekledning i klasse D.



Figur 4.1 Brann ihv. royalbehandlet (venstre) og ubehandlet (høyre) trekledning og hulrom, etter a) 11 minutter, b) 22 minutter og c) 38 minutter.

4.1.4. Vertikal spredning av brann med innvendig brannstart til overliggende brannceller

Faren for utvendig, vertikal spredning av brann fra en branncelle til en overliggende branncelle, kan ifølge preaksepterte ytelser i VTEK ivaretas på én av følgende måter:

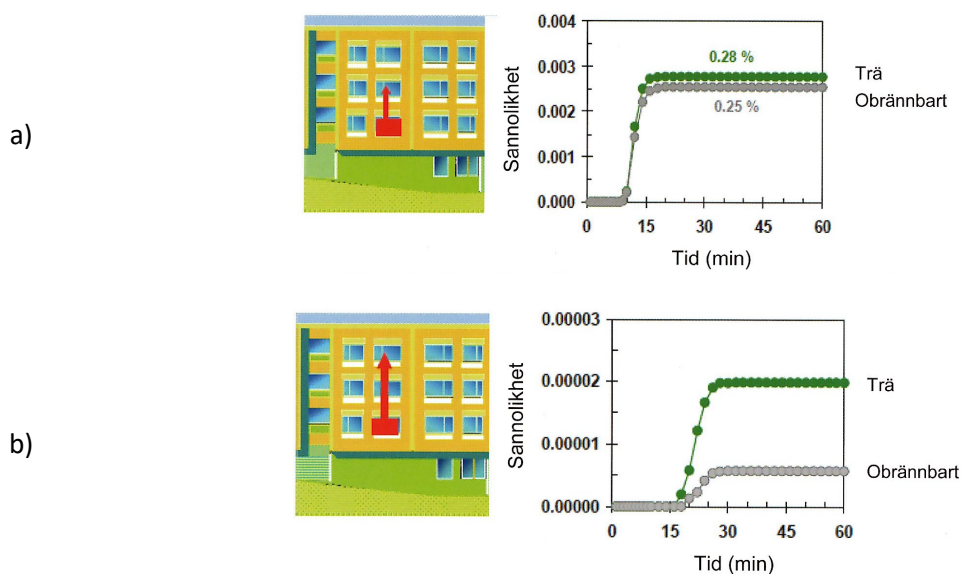
1. Kjølesone (vertikal avstand) mellom vinduer er minst lik høyden til underliggende vindu og utført med brannmotstand minst E 30.
2. Annenhver etasje er utført med fasade minst E 30.
3. Inntrukne fasadepartier er på minimum 1,2 meter, eller utkragede bygningsdeler med samme brannmotstand som etasjeskiller er minimum 1,2 meter ut fra fasadelivet.
4. Byggverket har automatisk sprinkleranlegg.

I bygninger med automatisk slokkeanlegg, som boligblokker med tre etasjer eller mer, håndteres risikoen for vertikal brannspredning mellom brannceller i ulike etasjer ved at slokkeanlegget hindrer overtenning og brannspredning ut av vindu [13]. I eksempelvis to-etasjes flermannsboliger med horisontale branncelleskiller er det ikke krav til slokkeanlegg, og faren for vertikal brannspredning håndteres ofte ved at det etableres kjølesone mellom vinduene i 1. og 2. etasje. Dersom man antar at vinduene har en høyde på 1,2 m, og at de er plassert 90 cm over gulv, vil toppen av vinduene være 2,1 m over gulv. Med total takhøyde på 2,4 m og etasjeskiller på 30 cm, gir det en kjølesone på 1,5 m, som oppfyller kravet til kjølesone.

Testene som ble omtalt i kapittel 2.3 viste at vertikal flammeutbredelse ved brann i klasse E-kledning vil være høyere enn brann i klasse D-kledning i noen minutter. Spørsmålet er derfor om en kjølesone som er minst like høy som underliggende vindu er tilstrekkelig ved brann i klasse E-kledning.

Hakkarainen og Oksanen [13] gjennomførte i 2002 en rekke mellomskala- og storskalaforsøk med brann i fasader med trekledning. I storskalaforsøkene, hvor overtenning av rom skulle simuleres, ble testoppsettet basert på ISO/DIS 13785-2 (ikke ulik SP 105-testen). Forsøkene viste at den vertikale flammespredningshastigheten og varmelastningen på vinduet i etasjen over brannrommet avhenger av størrelsen på vinduet i brannrommet. Jo større vindusareal jo bedre ventilasjon og høyere varmekraft (24 – 39 kW/m²). Videre ble det vist at varmekraften fra flammene fra brannrommet var høy nok til å antenne trebaserte materialer opptil 2,5 m høyde over vinduet (4-5 m²), i løpet av 10 sekunder. Flammene spredte seg til etasjen over (2. etasje) på mindre enn ett minutt, og videre til 3. etasje i løpet av 3 minutter. For etasjer lenger opp anslås det at flammespredningshastigheten er ca. 10 minutter per etasje.

Det finnes ingen norsk statistikk som belyser risikoen for utvendig brannspredning i fasade med trekledning mellom overliggende brannceller. Håndboken Brandsäkra trähus [14], som er utarbeidet gjennom et nordisk-baltisk forskningssamarbeid, beskriver imidlertid en finsk risikovurdering hvor Monte Carlo-beregninger viser at sannsynligheten for vertikal, utvendig brannspredning til overliggende etasje i ubrennbar fasade er 0,25 % per brann. Tilsvarende tall for brann i trekledning som oppfyller klasse D-s3,d0 er 0,28 %. I håndboken konkluderes det med at denne forskjellen er ubetydelig når man regner om til absolutte tall, fordi sannsynlighetene er så små. Tilsvarende vises det til sannsynligheten for brannspredning to etasjer opp i henholdsvis ubrennbar fasade (0,001 %) og trekledning (0,002 %), og at også her er forskjellene ubetydelige. Se Figur 4.2.



Figur 4.2 Sannsynlighet for brannspredning til a) etasjen over og b) to etasjer over ved brann i henholdsvis ubrennbar fasade og trekledning. [14]

Studien konkluderer også med at effekten av trekledning (minst klasse D-s3,d0) på sannsynligheten for vertikal brannspredning er mindre enn effekten av rommets og vinduets størrelse og brannvesenets innsatstid, gitt at bygget er utført iht. nyeste kunnskap, og at det er benyttet passende brannstopp i hulrom og takfot.

For byggene med automatisk slokkeanlegg vil problemstillingen med utvendig vertikal brannspredning håndteres av slokkeanlegget ved innvendig brannstart. For usprinklete bygg med høyst to etasjer, slik som de nevnte flermannsboligene, viser studien til Hakkarainen og Oksanen at en overtenning i en branncelle med påfølgende brannspredning ut av vindu, vil spre flammene raskt til etasjen over, uavhengig om trekledning oppfyller klasse D eller E. For usprinklete bygg med flere enn to etasjer kan det hende at det ekstra bidraget fra klasse E-kledningen kan føre brannen høyere opp enn hva som ville vært tilfellet med klasse D-kledning, og at flammene strekker seg opp utover etasjen over brannrommet. Det er imidlertid tidligere vist at bidraget fra overflatebehandlingen vil gjøre seg gjeldende kun i noen minutter, og ha mindre betydning med økende avstand fra brannkilden. Innvendig startbrann vil, når brannen bryter gjennom vindu og slår ut på fasaden, representere en fullt utviklet brann. Dette gjør at bidraget fra overflatebehandlingen blir neglisjerbart i området mellom brannrommet og etasjen over. Den finske risikovurderingen beregnet sannsynligheter for vertikal brannspredning i fasade, med trekledning som oppfyller minst klasse D-s3,d0, til etasjen over brannrommet. Trekledning som oppfyller klasse E vil trolig øke denne sannsynligheten noe. Selv om man dobler sannsynligheten ($p = 0,56\%$) for å ta høyde for økt vertikal flammeutbredelse og stråling i noen minutter, vurderes det at risikoen for dette scenarioet er lav og akseptabel. Det anses derfor ikke nødvendig å stille strengere krav til kledningen i kjølesonen for disse byggene.

4.1.5. Horisontal spredning av brann til andre brannceller i samme bygning

Dersom bygget har innvendig hjørne eller parallelle utvendige flater kan det være fare for horisontal spredning av brann til fasade utenfor andre brannceller. VTEK § 11-8 (2) avsnitt I beskriver at

branncellebegrensende konstruksjoner i et byggverk, eller mellom to lave byggverk, må utføres slik at det blir liten sannsynlighet for brannspredning via vinduer som ligger med liten innbyrdes avstand i innvendig hjørne, eller mellom vinduer i motstående fasader. Avhengig av byggets brannklasse, avstand og orientering i forhold til annen branncelle, er det preaksepterte ytelser til brannmotstand på vinduer i motstående fasader. Brannmotstanden kan enten legges kun på vinduene i den ene fasaden, eller på vinduene i begge fasadene. En svakhet med å legge brannmotstanden på kun den ene fasaden er at man kan få spredning til fasaden utenfor annen branncelle, dersom brannen oppstår i branncelle uten brannmotstand på vinduene. Siden man ikke vet hvor brannen vil oppstå, bør brannmotstanden legges på vinduene i begge fasadene.

Som beskrevet i kapittel 4.2 vil behandlet trekledning avgi forhøyet varmestråling i en periode på noen minutter tidlig i brannforløpet. Dersom brann sprer seg fra en branncelle til fasaden kan dette øke faren for antennelse av trekledning utenfor *annen* branncelle i samme bygg. Andre faktorer som påvirker faren for spredning, er avstanden mellom fasadene og fasadenes orientering i forhold til hverandre. Er de parallelt motstående, eller er de koblet sammen i innvendig hjørne? Også vinkelen mellom flatene i innvendig hjørne vil påvirke spredningsfaren. En spiss vinkel mellom fasadene gir større gjensidig strålingsutveksling mellom fasadene enn en butt vinkel.

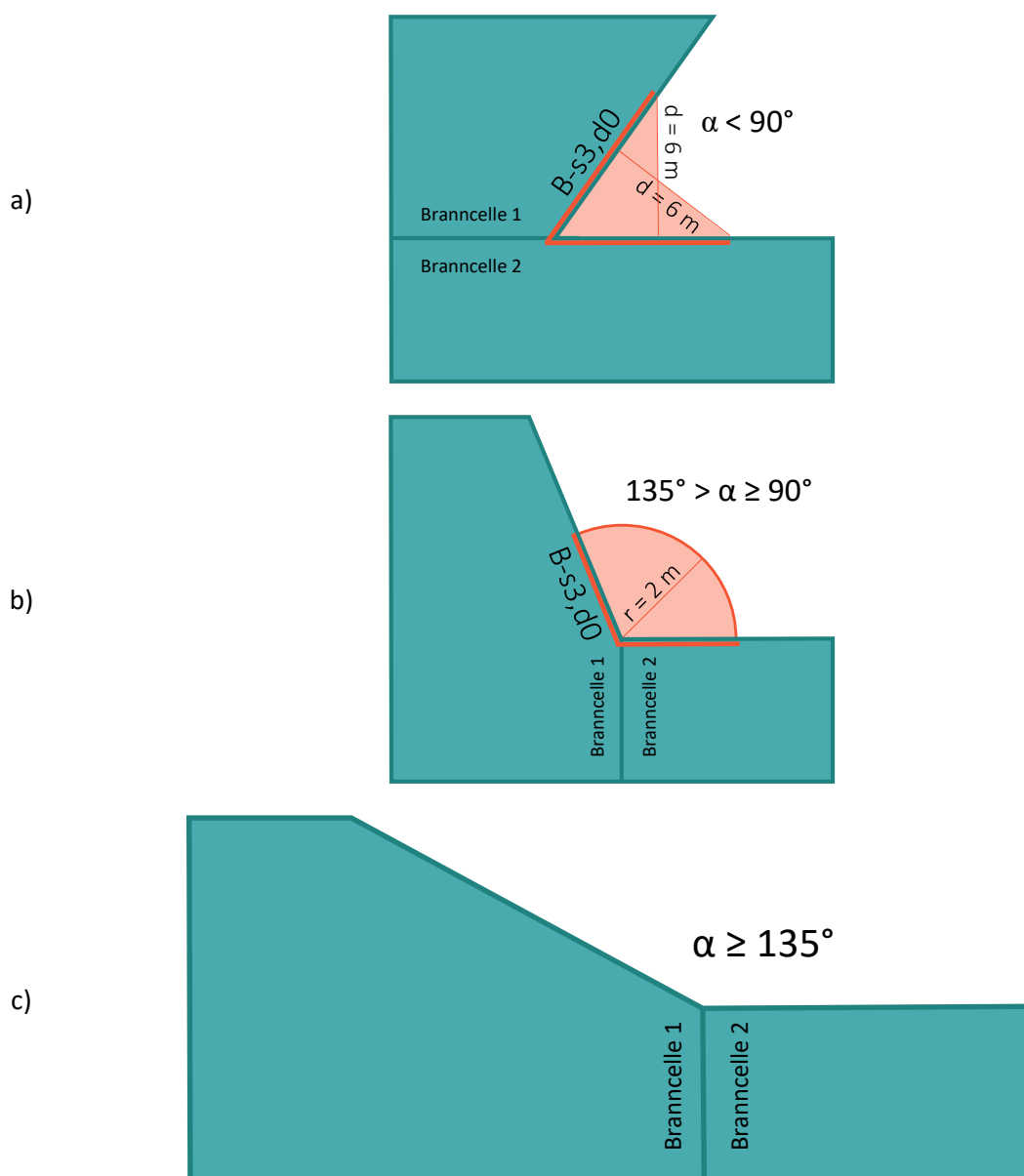
For å kompensere for den økte strålingen fra klasse E-kledning og redusere faren for spredning til motstående fasade, må trekledningen ha en bedre ytelse når avstanden mellom fasadene minker, som angitt i Tabell 4.1 og illustrert i Figur 4.3 og Figur 4.4. Innslagspunktene i tabellen (avstander) er basert på strålingsberegninger presentert i vedlegg B, og redegjort for i kapittel 4.2.

Installasjon av automatisk slokkeanlegg i bygget, samt etablering av vinduer og dører med brannmotstand, vil kunne hindre brannspredning ut fra branncelle. Likevel, for å ta høyde for utvendig brannstart må ytelsene i Tabell 4.1 også gjelde for tilfellene hvor det er automatisk slokkeanlegg og vinduer og dører med brannmotstand.

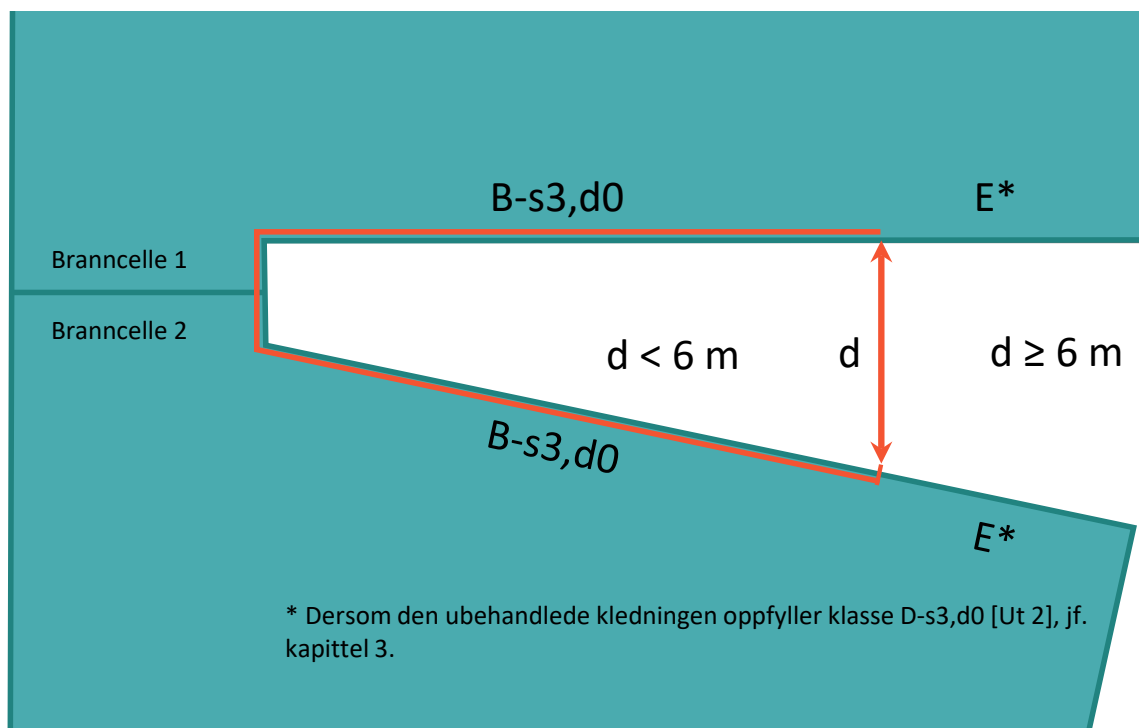
Tabell 4.1 Tiltak for å hindre brannspredning mellom fasader i innvendig hjørne eller parallelle fasader med kort innbyrdes avstand.

Innvendig hjørne	Vinkel mellom veggene er $\alpha < 90^\circ$	Veggfelt med avstand mindre enn 6 m fra motstående vegg skal ha minimum B-s3,d0. Krav til vindu som angitt i VTEK. Se Figur 4.3a.
	Vinkel α mellom veggene er $135^\circ > \alpha \geq 90^\circ$	Veggfelt med avstand mindre enn 2 m fra innvendig hjørne skal ha minimum B-s3,d0. Krav til vindu som angitt i VTEK. Se Figur 4.3b.
	Vinkel mellom veggene er $\alpha \geq 135^\circ$	Den ferdige kledningen må minst oppfylle klasse E dersom den ubehandlede trekledningen oppfyller klasse D-s3,d0 [Ut 2]. Se Figur 4.3c.

Motstående fasader	Hele, eller deler av fasadene, har avstand mindre enn 6 m	Veggfelt med avstand mindre enn 6 m fra motstående vegg skal ha minimum B-s3,d0. Krav til vindu som angitt i VTEK. Se Figur 4.4.
	Avstand er større eller lik 6 m	Den ferdige kledningen må minst oppfylle klasse E dersom den ubehandlede trekledningen oppfyller klasse D-s3,d0 [Ut 2]. Se Figur 4.4.



Figur 4.3 Tiltak for å hindre brannspredning mellom fasader i innvendig hjørne med kort innbyrdes avstand. Rød strek angir kledning som oppfyller minst B-s3,d0.



Figur 4.4 Tiltak for å hindre brannspredning mellom motstående fasader med kort innbyrdes avstand. Rød strek angir kledning som oppfyller minst B-s3,d0.

Det kan også være fare for spredning til annen branncelle dersom brannen sprer seg horisontalt i kledningen til en branncelle i samme fasade. Det er imidlertid ingenting i de gjennomførte forsøkene som tilsier at brann i behandlet trekledning har større horisontal utbredelse enn trekledning som oppfyller klasse D. Geometriske forhold i fasaden kan imidlertid spille inn, dette er behandlet i kapittel 4.1.6.

4.1.6. Geometriske forhold i fasaden

Fasadens utforming har stor betydning for en eventuell brannutvikling og -spredning ved brann i utvendig kledning. Branntekniske forsøk [3] med brann på framsiden av kledning på en slett fasade viste at før brannen brenner seg gjennom kledningen er brannen avhengig av stadig tilførsel av varme fra startbrannen for å opprettholdes. Slett fasade virker derfor å være gunstig mht. brannspredning i fasade med trekledning. Hvis fasaden derimot har innslag av innvendige hjørner, karnapper, carporter, balkonger eller raftekasser, skapes det forhold som kan legge til rette for brannspredning i fasaden [3].

Gitt at det er brann i utvendig kledning vil flammen, pga. varmeutviklingen og oppdriftskrefter, strekke seg oppover langs fasaden. Flammen er avhengig av stadig frigjøring av brennbare gasser fra trekledningen (pyrolyse) og innblanding av oksygen for å kunne opprettholdes. Dersom flammen treffer et utstikk i fasaden (eksempelvis karnapp, balkong eller raftekaske), vil gassenes hastighetsvektorer endre retning, og gå horisontalt i stedet for vertikalt. Dette skaper turbulens, som igjen øker innblanding av oksygen i forbrenningssonen. Dette resulterer i økt varmeavgivelse.

I tillegg vil materialet under utstikket varmes opp og antennes, slik at man får to brennende overflater vinkelrett på hverandre. Disse overflatene vil utveksle varmestråling, som i kombinasjon med økt varmeavgivelse pga. turbulens kan resultere i økt pyrolyse og frigjøring av brennbare gasser fra treverket. Varmen som skapes i dette området kan overgå den isolerende effekten av kullsiktet i treverket, slik at forbrenningen opprettholdes uten ytterligere tilførsel av varme, men dette er ikke tilstrekkelig studert ennå.

Effekten med økt varmeavgivelse når flammen treffer et utstikk ble observert under et forsøk med brann i utvendig fasade. Flammene nådde raftekassen, noe som resulterte i større flammeutbredelse og forhøyet varmestråling fra brannen [3]. Flammene trakk seg imidlertid tilbake etter at overflatebehandlingen var avbrent.

Innvendige hjørner vil også kunne gi flammen en forhøyet vertikal utstrekning, pga. «klebeeffekten». Hvis flammen er i et åpent område vil kald luft tilføres flammen fra alle sidene, noe som «presser» flammen inn mot senter. Dersom flammen befinner seg inntil en vegg vil ikke kald luft tilføres der vegg er, og flammen presses inn mot vegg av kaldluften fra de andre sidene. Mindre tilførsel av kald luft fører til mindre avkjøling av flammen, som igjen øker flammens vertikale utstrekning. Denne effekten blir forsterket om flammen befinner seg i et innvendig hjørne. Utstikk i forbindelse med innvendig hjørne kan forverre situasjonen. Foruten endring av retningen til gassenes hastighetsvektorer, får man en ytterligere flate som bidrar i strålingsutvekslingen. Dette kan være en problemstilling i eksempelvis åpne garasjer, hvor man har tre lukkede vegger og tak, men ingen garasjeport, eller under balkonger plassert i innvendig hjørne.

Slike geometriske forhold kan være kritiske om de bidrar til brannspredning til annen branncelle, enten i samme bygg eller et annet bygg. For eneboliger, eller bygninger med områder hvor det ikke er fare for slik spredning, vil de geometriske forholdene være mindre kritiske. Dersom utspringet er i forbindelse med horisontalt eller vertikalt brannskille og det er fare for spredning til annen branncelle, må kledning oppunder utstikk oppfylle klasse A2-s1,d0. Dette vil eksempelvis gjelde oppunder raftekaske, balkong, veranda og karnapp, med mindre utstikket oppfyller kravene til flammeskjerm. Et annet tilfelle hvor det vil være behov for tiltak er dersom det er etablert et overbygg tilknyttet byggets vegg, og overbygget går forbi vertikalt brannskille eller spenner mellom to brannceller. Dette kan eksempelvis være carport, åpen garasje, tak over inngangsparti etc. Overbygget må underkles med kledning som oppfyller A2-s1,d0. Dersom det overbygde arealet har tre lukkede eller delvis lukkede vegger, må veggene under overbygget kles med kledning som oppfyller B-s3,d0. Evt. dører og vinduer under overbygget må ha brannklassifisering.

I den forhåndsdokumenterte fraviksvurdering [15] som var grunnlaget for første utgave av Branntrygg, ble det beskrevet at takutstikk som gikk uavbrutt forbi vertikalt brannskille måtte underkles minst 2 m til hver side for brannskillet. Avstanden på 2 m ble begrunnet med at VTEK tillater uklassifiserte vinduer i innvendig hjørne dersom avstanden mellom vinduene er 4 m eller større. Vi er usikre på sammenhengen mellom disse forholdene, da spredning mellom vinduer dreier seg om spredning via stråling, mens spredning under takutstikk også dreier seg om konvektiv spredning. I tidligere byggdetaljblad 525.106 [16] («Skrå tretak med kaldt loft») er det imidlertid angitt at lufteåpninger i lukket takfot må være minst 1,8 m fra vertikalt branncelleskille og fra vindu i underliggende branncelle for å unngå spredning inn på loft. Vi er ikke kjent med bakgrunnen for dette avstandskravet.

Gitt at utstikk må underkles med kledning som oppfyller A2-s1,d0 i 2 m avstand fra vertikalt branncelleskille, vil dette være en bedre situasjon mtp. spredning til annen branncelle enn hva som er beskrevet i byggdetaljbladet, og anses å gi et positivt bidrag mtp. å hindre horisontal brannspredning til nabobranncelle. Vi velger derfor å legge oss på samme linje, og sette krav til at takutstikk må underkles med kledning som oppfyller A2-s1,d0 2 m til hver side for vertikalt brannskille.

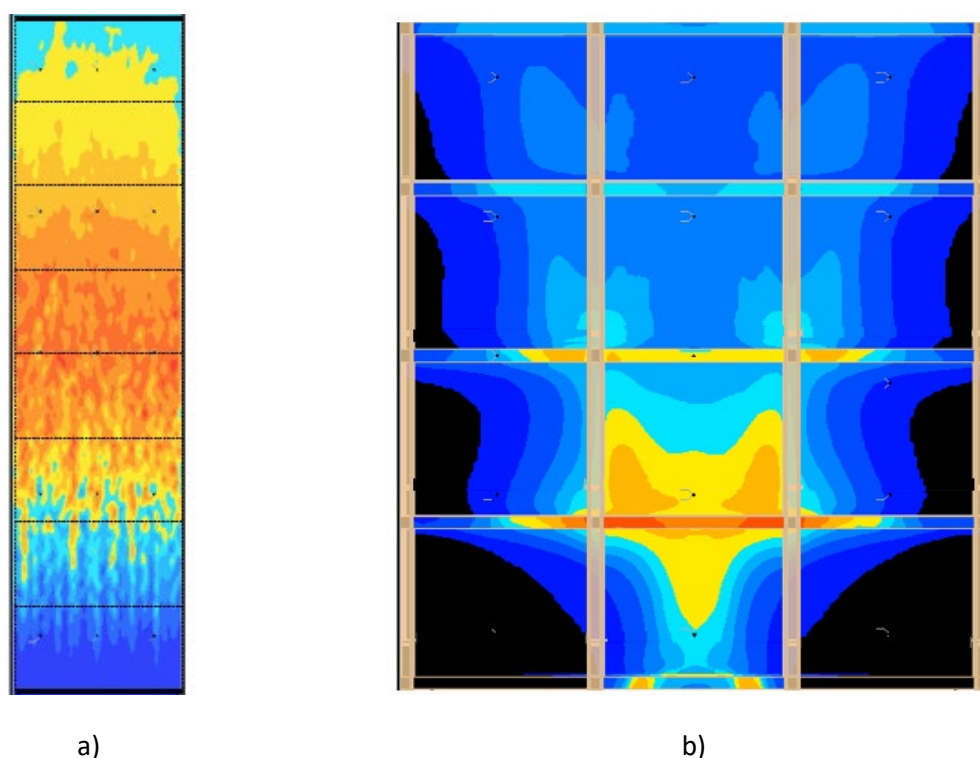
4.1.7. Hulrommets utforming

Både forsøk og brannsimuleringer har vist at hulrommets utforming påvirker hvordan en brann sprer seg i hulrommet bak en luftet fasade. [5,9]

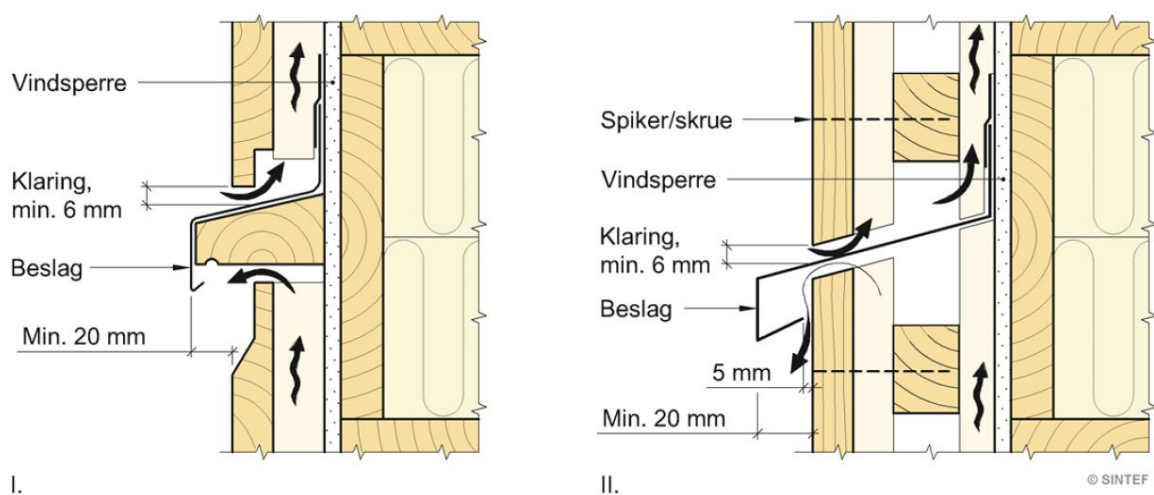
En av parameterne som har innvirkning er hvor mye oksygen det er tilgjengelig i hulrommet. Eksempelvis har man sett at en liggende kledning, lagt på vertikale sløyfer, gir et avgrenset volum (lukket sideveis) som legger begrensninger på hvor mye oksygen som er tilgjengelig i volumet. Arealet av åpningen i bunn av hulrommet vil begrense hvor mye oksygen som kan tilføres under en brann bak kledningen, som da begrenser hvor mye varmeavgivelse man kan få.

Forsøk viste at man i et hulrom med bredde på 504 mm, høyde 2400 mm og dybde 35 mm, fikk en maksimal varmeavgivelseshastighet mellom 80 kW - 100 kW når man hadde en startbrann på 200 kW [5]. Simuleringer viste at man i et tilsvarende oppsett fikk en maksimal varmeavgivelseshastighet på 68 kW når man hadde en startbrann på 180 kW [9]. Med startbrann med lavere effekt (30 kW) fikk man varmeavgivelseshastighet på 84 kW i hulrommet. En startbrann med lavere effekt vil forbruke mindre oksygen, slik at mer oksygen går inn og blir tilgjengelig i hulrommet. Øvre grense ser imidlertid ut til å ligge i området 80 – 100 kW for denne konfigurasjonen. Simuleringer viser også at mindre dybde på hulrommet (som gir mindre volum og tilgjengelig oksygen) gir lavere varmeavgivelseshastighet.

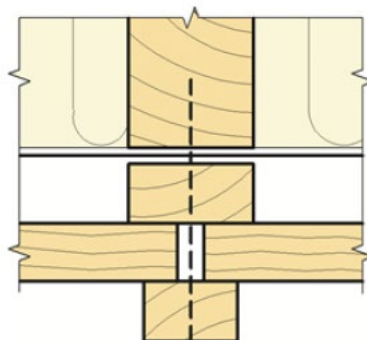
I motsetning til vertikale sløyfer, som hindrer horisontal brannspredning bak kledningen, vil stående kledning montert på krysslekter i utgangspunktet skape et hulrom som kan ha større horisontal utstrekning i tillegg til vertikal utstrekning. Forsøk og simuleringer viser hvordan brannen sprer seg bak liggende kledning på vertikale lekter (Figur 4.5a) og stående kledning på krysslekter (Figur 4.5b).



Figur 4.5 Figuren viser eksempel på simulering av temperaturfordeling i hulrom med a) vertikale lekter etter ett minutt og b) krysslakter etter fem minutter.



Figur 4.6 Prinsipp for oppdeling av kledning i høyden. Fra SINTEF Byggforskserien 542.101. Gjengitt med tillatelse.



Figur 4.7 Prinsipp for vertikal oppdeling av kledning i bredden. Fra SINTEF Byggforskserien 542.101. Gjengitt med tillatelse.

SINTEFs Byggforskserie foreslår løsninger for oppdeling av fasaden, både horisontalt og vertikalt, se Figur 4.6 og Figur 4.7. Løsningene i Figur 4.6 induserer en strømningsmotstand, som igjen reduserer innsuging av oksygen i bunn av hulrommet. Dette skaper også en fysisk barriere som hindrer flammer fra å bevege seg uhindret vertikalt i spalten.

Løsningen som er illustrert i Figur 4.6 II ble testet ut i storskalaforsøk [5]. I disse forsøkene spredte ikke flammene seg via hulrommet til det horisontale skillet. Flammer ble ikke observert ved skillet før uforbrente gasser fra hulrommet ble antent av flammer på utsiden av fasaden. Det tok lengre tid før flammer ble observert på toppen av testtriggen (ved skillet) i testene med horisontalt skille, sammenlignet med testene hvor det ikke var et slikt skille (22 minutter ($n = 2$) mot 12-14 minutter ($n=4$)).

En avgrensning av hulrommet i horisontal og vertikal retning, som vist i Figur 4.6 og Figur 4.7, har vist seg å være hensiktsmessige tiltak for å hindre eller bremse brannspredning i hulrom bak trekledning. Hvis hulrommet avgrenses horisontalt og vertikalt, samtidig som man struper hulrommets innløp og utløp, vil det være mindre oksygen tilgjengelig i hulrommet, og en brann vil få verre betingelser for å utvikle og spre seg. Slike tiltak bør derfor implementeres dersom det skal benyttes trekledning på fasade av en viss størrelse.

Når det gjelder oppdeling av kledningen i høyderetning vil vertikal brannspredning i kledningen være mindre kritisk for bygg som ikke har overliggende brannceller, eksempelvis eneboliger eller rekkehus i 2 eller 3 etasjer. Disse er utformet som brannceller med eventuelt vertikalt branncelleskille mot nabo. For bygg som *har* overliggende brannceller kan vertikal spredning i kledningen være mer kritisk. Eksempel på slike bygg kan være blokker og horisontaldelte flermannboliger. Dersom bygget har kun to etasjer vil skadepotensialet være begrenset. Dersom det oppstår brann i den nederste branncellen, vil flammene som kommer ut av et vindu sannsynligvis strekke seg opp til etasjen over, uavhengig av oppdeling av hulrommet [13] (se kapittel 4.1.4). Det vurderes derfor at det ikke vil være behov for oppdeling av hulrommet dersom kledningen kun strekker seg forbi ett horisontalt brannskille. Dersom kledningen strekker seg over to eller flere horisontale brannskiller, må kledningen deles opp for hver etasje, slik at vertikal brannspredning i hulrommet bak kledningen bremses eller hindres.

Når det gjelder stående kledning, lagt på krysslekter, vil brannen også kunne spre seg sidelengs bak kledningen. Dersom kledning går forbi vertikalt branncelleskille, må hulrommet også deles opp ved skillet for å unngå spredning til nabobranncelle. Som et verdisikringstiltak for å avgrense

skadeomfanget som følge av brann i hulrom bør hulrommet ikke være bredere enn 7 m. Bakgrunnen for denne bredden er at de fleste leiligheter vil være smalere enn 7 m, og dermed kun behøve oppdeling av hulrom ved brannskille mot naboileilighet, mens hulrommet bak kledning på større brannceller i andre risikoklasser enn RKL 4 (bolig) vil måtte deles opp.

4.1.8. Kledningstype og kledningsprofil

Type trekledning har innvirkning på en eventuell brannspredning. I forsøkene som ble utført i studien omtalt i kapittel 2.3 ble to typer trekledning testet: tømmermannskledning (Figur 4.8) og kledning med dobbelfals (Figur 4.9). Tømmermannskledningen betyr at man har stående bord, hvor annethvert bord (underliggere) ligger direkte på krysslekter, mens de andre bordene ligger over, og spenner fra underligger til underligger. Dobbelfals innebærer at ett bord overlapper med det neste. Kledning med dobbelfals kan benyttes både stående og liggende.



Figur 4.8 Eksempel på tømmermannskledning. Kilde: Talgø MøreTre.



Figur 4.9 Eksempel på dobbelfalskledning. Kilde: Talgø MøreTre.

I kledningstestene (se kapittel 2.3) viste det seg at tømmermannskledningen er sårbar for vridning i overliggerne, noe som kan føre til gliper mellom overligger og underligger, som igjen skaper en passasje for en utvendig brann inn til hulrommet bak kledningen [3]. Gliper kan oppstå ved at treet

responderer på vær og klima, eller på temperaturforandringer under en brann. Risikoen for denne problemstillingen vil være redusert i de tilfellene hvor man har dobbelfals eller tilsvarende utførelse på kledningen. En annen ulempe med tømmermannskledning, er at volumet i hulrommet vil bli større. I tillegg vil det være mer utfordrende å etablere avgrensninger i hulrommet, som diskutert i kapittel 4.1.7.

Kledningens tykkelse vil også påvirke muligheten for brannspredning fra fasadens ytterside til hulrommet. Jo tykkere kledning, jo lengre tid vil det kunne ta før man får gjennombrenning. Som en tommelfingerregel anslår man 1 mm forkulling per minutt, noe som gir ca. 20 minutters brannmotstand for et bord på 20 mm. Dersom man har dobbelfals vil falsene ha ca. halve tykkelsen, noe som i prinsippet gir rundt 10 minutters brannmotstand.

4.1.9. Røykproduksjon

Ikke relevant for utvendig kledning.

4.1.10. Utvikling av brennende dråper

Uttrykket brennende dråper omfatter både brennende dråper og brennende biter. Brennende trekledning genererer ikke brennende dråper, og gir heller ikke brennende biter i SBI-testen.

4.2. Fare for brannspredning til nabobygg

Nabobygg kan i dette tilfellet være bygg i annen bruksenhet, eller egen bod eller garasje som kan spre brann til nabobranncelle. Boder og garasjer som har $BTA \leq 50 \text{ m}^2$, avstand minst 1 m til andre bygg i samme bruksenhet og minst 2 m avstand til bygg i annen bruksenhet, kan ses bort ifra. Dersom bod/garasje ikke oppfyller disse kriteriene må den anses som nabobygg.

TEK17 § 11-6 omhandler spredning av brann til annet byggverk. I regelverket angis en innbyrdes avstand på 8 m som en grense for hvorvidt det må treffes ekstra tiltak for å unngå spredning av brann. Avstander fra åtte meter og opp anses derfor som trygge. Eksempelvis sier paragrafens andre ledd følgende om risiko for brannspredning mellom lave bygg:

Mellom lave byggverk skal det være minimum 8,0 m innbyrdes avstand, med mindre det er truffet tiltak for å hindre spredning av brann mellom byggverkene i løpet av den tiden som kreves for rømning og redning i det andre byggverket.

Tilsvarende sier paragrafens 4. ledd følgende for høye bygg:

Høye byggverk skal ha minimum 8,0 m avstand til annet byggverk, med mindre byggverket er utført slik at spredning av brann hindres gjennom et fullstendig brannforløp.

Forskjellen mellom disse leddene er at for lave bygg skal brannspredning hindres i tiden som kreves for rømning og redning i nabobygget, mens det for høye bygg skal hindres brannspredning gjennom hele brannforløpet. Dersom innbyrdes avstand mellom to bygg er mindre enn 8 m angir VTEK at man må etablere branncellebegrensende skillekonstruksjon som kompenserende tiltak mellom lave bygg, og brannvegg som kompenserende tiltak mellom høye bygg. En brannvegg skal utføres i ubrennbare materialer og kan heller ikke ha brennbar kledning. Derfor er ikke problemstillingen knyttet til

trekledning og fare for spredning til nabobygg relevant for høye bygg, og behandles derfor ikke videre i denne rapporten. For lave bygg, hvor det kun er krav til branncellebegrensende skillekonstruksjon, er det imidlertid ingen skjerpelser i ytelsen til kledningens overflate når avstanden blir mindre enn 8 m.

Krav til minsteavstand på 8 m er et krav som ble introdusert i byggeforskriften fra 1985. Kravet ble åpenbart innført for å hindre brannspredning mellom byggverk, men vi er ikke kjent med om det er innført på bakgrunn av eksempelvis erfaring, beregninger av varmestraling eller andre forhold. Det er heller ikke kjent hvorvidt kravet ensidig er knyttet til innvendig brannstart, eller om også utvendig brannstart var ment ivarettatt.

Med dagens byggeskikk og økende fortetting blir forskriftens minimumsavstand ofte utfordret. Når avstanden mellom bygg krymper, vil man ikke lenger være i det som regelverket anser som trygg avstand og tiltak må iverksettes. VTEK åpner for at man ved manglende avstand kan velge å legge brannmotstandskravet på begge de motstående veggene, eller kun den ene. Med mindre nabobyggets fasade er av ubrennbare materialer må det forventes at en brann kan spre seg og antenne kledningen, selv om veggen har tilfredsstillende brannmotstand. Man kan derfor stille spørsmål ved om preaksepterte ytelser i VTEK oppfyller funksjonskravet i TEK17 § 11-6 (2), gjengitt ovenfor, som sier at man skal treffe tiltak for å *hindre spredning* av brann mellom byggverkene. Alternativt kan man forstå det slik at spredning mellom byggverkene ikke inkluderer spredning til kledning, eller at denne spredningen vil komme senere i brannforløpet, etter tiden som kreves for rømning og redning i det andre byggverket. Uansett, med krypende avstander mellom byggene vil tidsmarginene mht. brannspredning reduseres.

Dersom man antar at avstanden mellom to *lave* bygg er under 8 m, og branncellebegrensende skillekonstruksjoner er utført iht. preaksepterte ytelser, er det følgende scenarioer som kan føre til antennelse av nabobyggets kledning:

1. Brannspredning ut gjennom uklassifisert vindu, og antennelse av nabobyggets fasade ved varmestraling.
2. Brannspredning ut gjennom vindu med brannmotstand (eksempelvis EI 15 eller E 30), og antennelse av nabobyggets fasade ved varmestraling.
3. Brannspredning ut gjennom vegg med brannmotstand EI 30 eller EI 60 etter henholdsvis 30 eller 60 minutter, og antennelse ved varmestraling og/eller flamme.
4. Utvendig brannstart.

4.2.1. Varmestraling fra brann i trekledning

I storskalaforsøkene med brann i fasader med trekledning ble det målt varmestraling mottatt av et objekt på to meters avstand fra en brennende fasade som ble utsatt for en startbrann på henholdsvis 125 kW, 251 kW eller 376 kW i 10 minutter. I RISE-rapporten [3], hvor resultatene er presentert, gis både målinger av den totale varmestralingen og verdier for trekledningens bidrag til varmestralingen isolert sett. Målingene viser at overflatebehandlingen kun påvirker varmestralingen de første minuttene, fram til overflatebehandlingen er brent av. Etterpå konvergerer strålingsintensitetene for kledninger med ulike behandlinger til samme nivå. Selv om underlaget fra denne testserien kun omfatter et fåtall tester, viser resultatene av testene presentert i vedlegg A tilsvarende utvikling. Disse testene er utført med startbrann med høyere effekt, men også her konvergerer målingene etter at

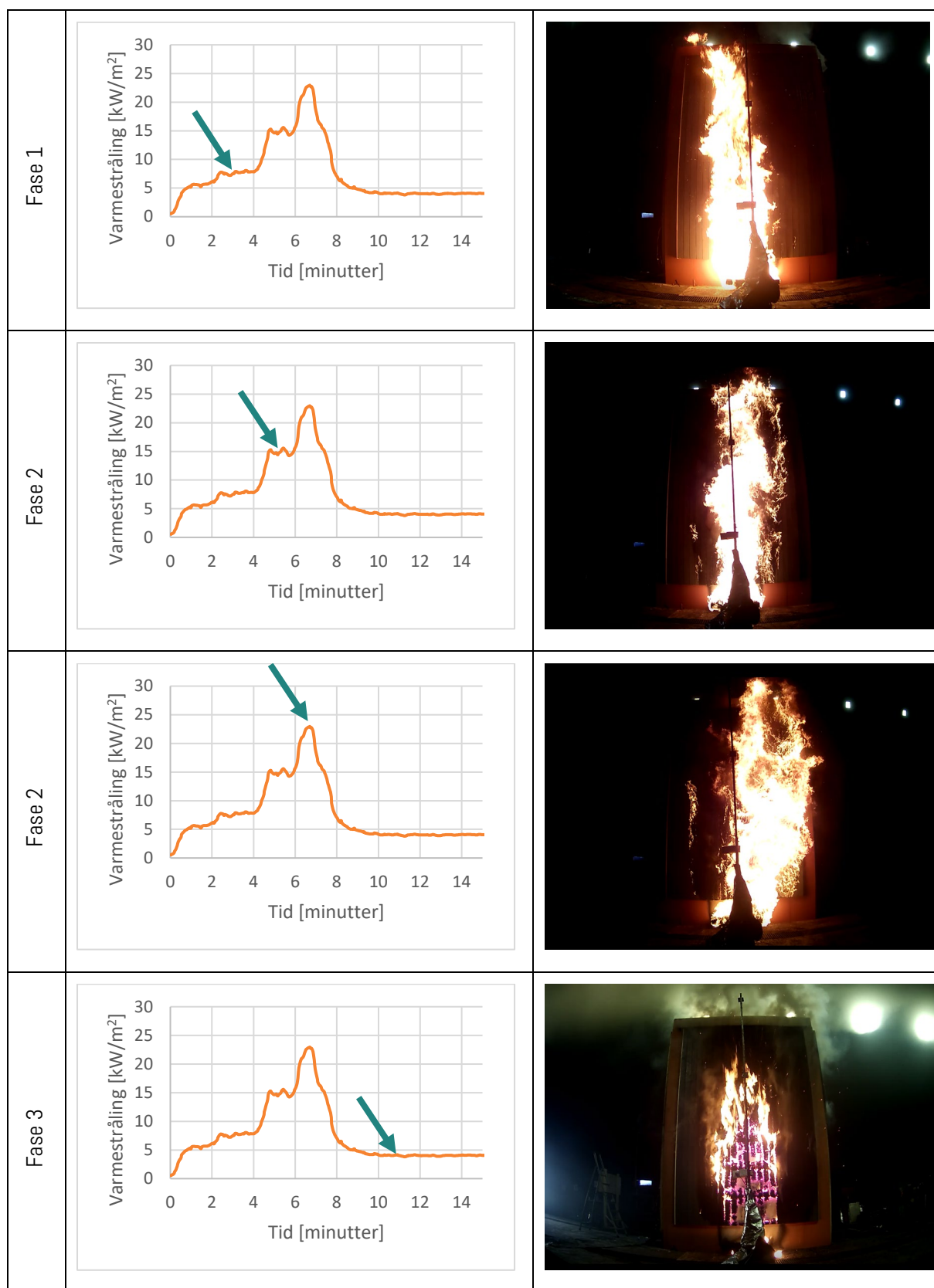
overflatebehandlingen er avbrent, se Figur A-3 og Figur A-4. Dette indikerer derfor at konklusjonen om at strålingsintensitetene konvergerer også kan gjelde for større startbranner.

I testene i vedlegg A ble det benyttet større startbrann (gjennomsnittlig varmeavgivelseshastighet på 1353 kW i rundt 8 minutter) og hvor både framsiden og hulrommet ble eksponert samtidig. Disse brannene har et litt annerledes forløp enn brannene hvor kun framsiden av fasaden ble eksponert. Grovt sett kan man dele forløpet inn i tre faser, Figur 4.10.

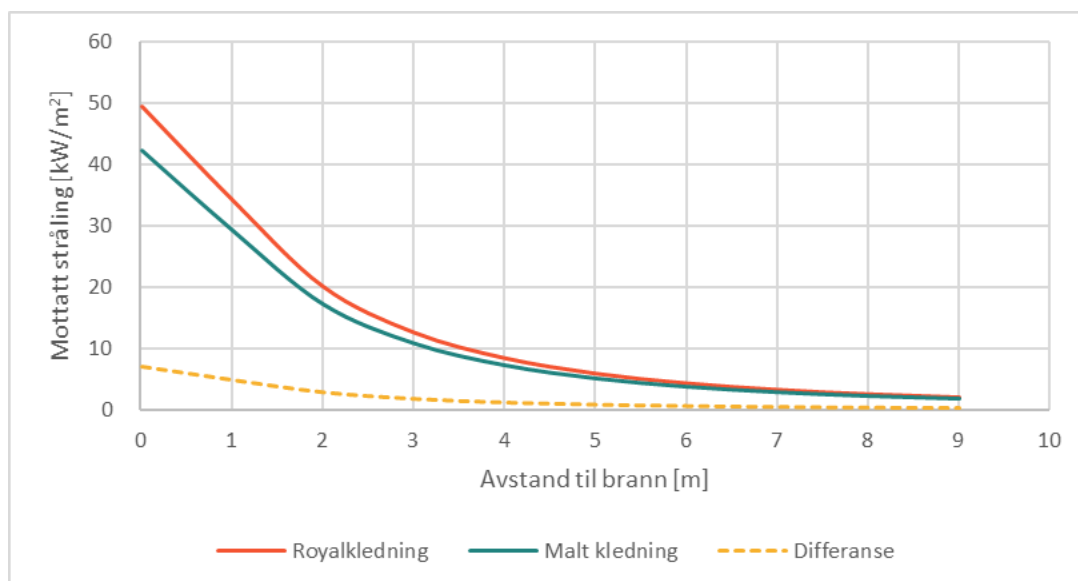
- **Fase 1:** I den første fasen er det primært startbrannen som brenner, og målt innkommende stråling to meter fra fasaden er ca. 8 kW/m².
- **Fase 2:** Etter ca. fire minutter er malingen eller oljeimpregneringen blitt tilstrekkelig oppvarmet slik at den antenner, og brannen går inn i fase to. I denne fasen brenner overflatebehandlingen og man får en økning i stråling som varer i en periode på nesten 3 minutter. Gjennomsnittlig stråling⁴ over perioden gir (17,3 ± 3,1) kW/m² og (20,2 ± 3,1) kW/m² for henholdsvis malt og royalimpregnert kledning på 1,5 m høyde over bakken, og (11,8 ± 1,0) kW/m² og (13,7 ± 1,2) kW/m² for henholdsvis malt og royalimpregnert kledning på 4,5 m høyde over bakken. Dette gir et forhøyet strålingsnivå på 17 % for royalimpregnert kledning sammenlignet med malt kledning på begge høydene over treminuttersperioden.
- **Fase 3:** I tredje og siste fase har startbrannen sloknet, og det er kun brann i treverket i fasaden pga. gjennombrenning til hulrom, som på to meters avstand gir en innkommende stråling på ca. 4 kW/m² for både malt og royalimpregnert kledning.

Den største forskjellen i målt stråling for malt og royalimpregnert kledning i dette tilfellet er 2,9 kW/m². Denne forskjellen avtar med økende avstand fra den brennende veggen. Figur 4.11 viser hvordan strålingen i begge tilfeller, samt differansen, avtar med økende avstand til brennende vegg.

⁴ Strålingsverdier over 15 kW/m² er inkludert i snittet.

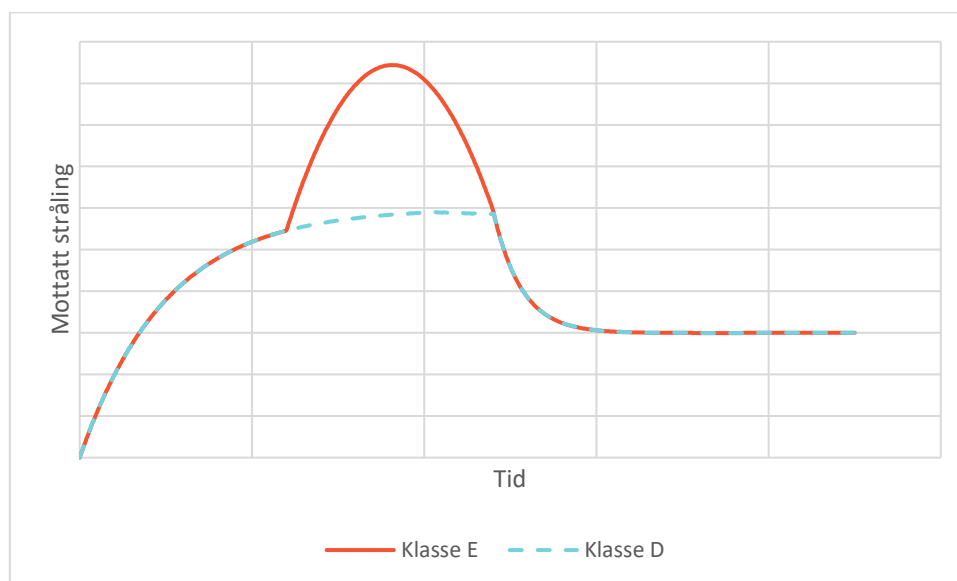


Figur 4.10 Eksempel på flammestørrelser og tilsvarende mottatt varmemstråling fra brann i royalkledning på 1,5 m høyde med 2 m avstand. Piler peker på tidspunktet de respektive bildene er tatt.



Figur 4.11 Gjennomsnittlig mottatt stråling på 1,5 m høyde under fase 2 (jf. Figur 4.10) ved ulike avstander fra brannen.

4.2.2. Forskjell mellom kledning klasse D og E mht. brannspredning



Figur 4.12 Stilisert forløp for mottatt stråling fra brann i henholdsvis trekledning som oppfyller klasse D og klasse E

Figur 4.12 viser en stilisert fremstilling av hvordan mottatt stråling, fra brann i trekledning, på nabobygg utvikler seg over tid. Figuren viser forløpet for brann i henholdsvis trekledning i klasse D og klasse E. Klasse E vil favne royalkledning, og mange malte og beisete kledninger, mens klasse D i dette tilfellet er ubehandlet trekledning. Grafen for stråling fra brennende klasse E-kledning er basert på målinger av mottatt stråling i forsøk, og representerer ikke en reell brann hvor man kan forvente at brannutviklingen går saktere i starten. Det foreligger ikke testresultater for dette scenarioet med klasse

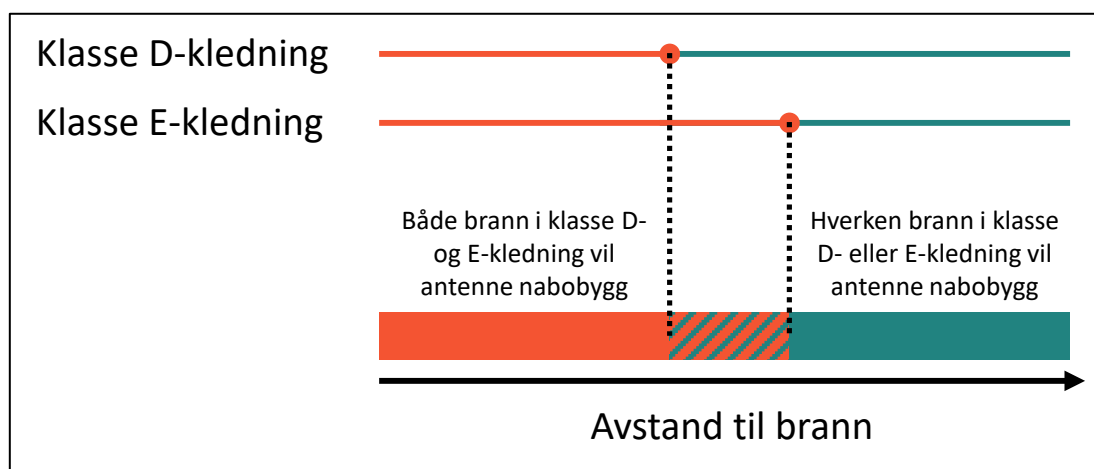
D-kledning, så grafen for brann i klasse D-kledning er basert på antagelsen om at det ikke noen overflatebehandling som vil antenne.

Etter noen minutters innledende brann (i størrelsesorden < 5 minutter) er overflatebehandlingen for klasse E-kledningen blitt såpass oppvarmet at den antenner (rød topp). Overflatebehandlingen brenner av i løpet av 3-4 minutters tid. Når overflatebehandlingen er avbrent reduseres varmestrålingen og legger seg i samme området som strålingen fra klasse D-kledning. Dersom D-kledningen er overflatebehandlet kan man forvente en midlertidig økning i stråling også fra denne, men toppen vil være lavere sammenlignet med E-kledning.

Strålingen som avgis vil varme opp overflaten til kledningen på nabohuset. Dersom man ser bort ifra alle varmetap og avkjøling av nabofasaden vil det behøves en viss energimengde for å varme opp kledningen til kritisk temperatur, som er temperaturen som gjør at kledningen antenner. For en gitt startbrann vil klasse E-kledning ha større total varmeavgivelse og tidvis større varmestråling enn klasse D-kledning, se Figur 4.12, og motstående kledning vil kunne nå kritisk temperatur tidligere. For å kompensere for dette kan man ha økt avstand mellom brannen og nabofasaden, illustrert i Figur 4.13. Figuren viser at en brann i klasse D-kledning vil kreve en viss sikkerhetsavstand for å unngå antennelse av nabofasade. Brann i klasse E-kledning, som avgir mer energi enn brann i D-kledning for samme startbrann, vil kreve en større sikkerhetsavstand. Oppsummert kan man si at avstanden fra brannen kan deles inn i tre soner:

1. **SONE 1:** Sonen nærmest brannen (rødt område i Figur 4.13), hvor brann i både klasse D-kledning og klasse E-kledning vil antenne nabobygg.
2. **SONE 2:** Sonen lenger ut i forhold til sone 1 (rød-grønt skravert område i Figur 4.13). Her vil brann i klasse D-kledning ikke antenne nabobygg, men brann i klasse E-kledning vil antenne nabobygg.
3. **SONE 3:** Sonen lengst ut fra brannen (grønt område i Figur 4.13), hvor hverken brann i klasse D- og klasse E-kledning vil antenne nabobygg.

Forskjellen i brannspredningsfaren mellom klasse D- og E-kledning ligger derfor i sone 2, vist med skravert område i Figur 4.13.



Figur 4.13 Ved en startbrann av gitt størrelse, vil det være tre avstandssoner: 1) brann i både klasse D- og E-kledning gir spredning til nabobygg, 2) kun brann i klasse E-kledning gir spredning til nabobygg, og 3) hverken brann i klasse D- eller E-kledning gir spredning til nabobygg.

4.2.3. Beregning av innkommende varmestråling

Kritisk varmefluks for antennelse (se kapittel 2.2) er en estimert verdi som angir største varmefluks hvor antennelse vil ta uendelig lang tid. Med andre ord vil materialet per definisjon ikke antenne ved dette nivået. Kritisk varmefluks må ikke sammenblandes med *minste varmefluks for antennelse*, som er det laveste varmefluksnivået hvor man vil få antennelse. Denne er i mange tilfeller høyere enn kritisk varmefluks. Flere parametere kan påvirke kritisk varmefluks. For treverk kan dette eksempelvis være type tre, treets tetthet og kledningsbordenes orientering. I britiske byggeregler benyttes 12,6 kW/m² som dimensjonerende verdi for å bestemme brannsikker avstand mellom bygninger, men lavere verdier for kritisk varmefluks er også rapportert [3]. Til sammenligning angir SN-INSTA/TS 950:2014 maksimalt 15 kW/m² i 30 minutter som et akseptkriterium for prosjekteringsformål.

En rekke faktorer påvirker hvor mye varmestråling en brann sender ut. Noen av disse er tilgang på brennbart materiale, flammetemperatur, flammestørrelse (areal), flammetykkelse (dybde), tilgang på oksygen og sotinnhold i flammen. For prosjekteringsformål foreslår standarden SN-INSTA/TS 950:2014 [17] to metoder for å beregne varmestråling mot nabobygg. Den første metoden tar utgangspunkt i en overtent branncelle hvor vinduene er knust som følge av brannpåkjenningen. Deretter benyttes en fast gjennomsnittlig strålingsverdi for alle ubeskyttede flater mot nabobygg. Med ubeskyttede flater menes ubeskyttede glassflater (vindu), kledning som ikke oppfyller klasse A2-s1,d0 og andre overflater som må forventes å bidra til varmestrålingen. Den andre metoden er å benytte en beregningsmetode for termiske påvirkninger for utvendige konstruksjonsdeler, som angitt i NS-EN 1991-1-2 Tillegg B «Termiske påvirkninger for utvendige konstruksjonsdeler – Forenklet beregningsmetode» [18].

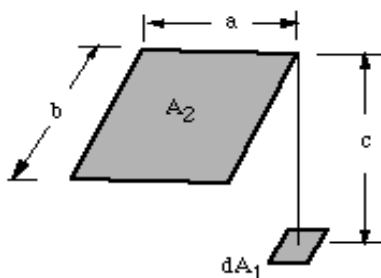
Den første metoden er tidligere benyttet for å beregne maksimale høyder og bredder på bygg med royalkledning, og minste avstand til nabobygg [15]. I beregningene er det antatt at hele byggets fasade mot nabobygg står i brann og avgir lik stråling (84 kW/m²) fra hele fasaden. Akseptkriteriet er at nabobygg skal motta maks 15 kW/m² i 30 minutter, dette i henhold til SN-INSTA/TS 950:2014. Det er presisert i standarden at man skal begrense analysen til kun å gjelde startbranncellen. For et leilighetsbygg, med mange brannceller, vil analysen begrenses til kun å omhandle fasaden utenfor den ene branncellen der brannen starter. For en enebolig, hvor hele boligen er utført som én branncelle, innebærer dette at brann i hele byggets fasade skal legges til grunn. Dette siste kan bli konservativt sett i lys av funksjonskravene i TEK17 § 11-6 (2):

Mellom lave byggverk skal det være minimum 8,0 m innbyrdes avstand, med mindre det er truffet tiltak for å hindre spredning av brann mellom byggverkene i løpet av den tiden som kreves for rømning og redning i det andre byggverket.

For at hele fasaden i en enebolig skal stå i fyr samtidig, må hele bygget ha blitt overtent innvendig og spredt seg ut til, og spredt seg i, fasaden. Dette vil ikke skje før et stykke ut i brannforløpet, og sannsynligvis ikke i løpet av tiden som er *nødvendig for rømning og redning*, som for brannklasse 1-bygg settes til 30 minutter. Tilsvarende krav for brannklasse 2-bygg er 60 minutter (jf. VTEK). Det er imidlertid svært få eneboliger i brannklasse 2 (4 etasjer), så dette kravet vil gjelde andre typer bygg hvor det sannsynligvis er mer finmasket branncelleinndeling. Det må også kunne påregnes at en viss ekstern slukkeinnsats er iverksatt innenfor dette tidsrommet. Hvis det i tillegg er krav til automatisk sløkkeanlegg i bygget kan man se bort ifra problemstillingen med innvendig brann som sprer seg ut.

Dersom man benytter den andre metoden for å beregne varmestråling fra flammer som kommer ut gjennom vindu, som er beskrevet i NS-EN 1991-1-2, kan man få et mer presist, og lavere, estimat av

strålingsnivået fra en brennende bygning. Hvor mye denne stråling som treffer en flate i nærheten avhenger ikke bare av intensiteten til strålingen som brannen sender ut, men også av avstand mellom flammene og nabobygget og hvordan nabobyggets fasade er orientert i forhold til brannen. De to sistnevnte faktorene inngår i *synsfaktoren*, som er gitt av ligningen nedenfor og illustrert i Figur 4.14. Dersom man går ut fra at brannen har et visst strålingsnivå, er det synsfaktoren som bestemmer hvor mye stråling motstående flate mottar.



Figur 4.14 Skisse⁵ som viser størrelsene benyttet i ligningen nedenfor. A_2 er en fjerdedel av den brennende flaten, mens dA_1 er flaten som mottar varmestråling fra brannen. c er avstanden mellom flatene.

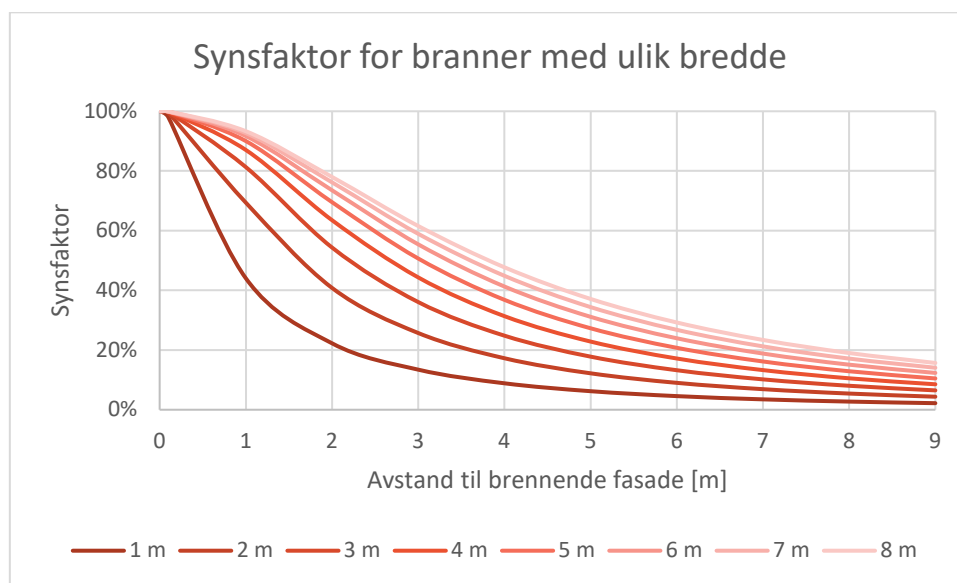
$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{A}{(1 + A^2)^{1/2}} \tan^{-1} \left[\frac{B}{(1 + A^2)^{1/2}} \right] + \frac{B}{(1 + B^2)^{1/2}} \tan^{-1} \left[\frac{A}{(1 + B^2)^{1/2}} \right] \right\}$$

hvor

$A = a/c$ og $B = b/c$.

Figur 4.15 viser hvordan synsfaktoren endrer seg med avstand til den brennende fasaden (x-akse) og med varierende bredde på brannen (hver linje). I alle tilfeller er brannen 6 m høy. Dersom brannen er smal, vil synsfaktoren reduseres raskt med økende avstand til fasaden. Er brannen bredere, vil den avta saktere. Relativt tidlig i brannen, vil det være synsfaktorene for de smale brannene som er mest relevante. Senere i brannforløpet, når hele bygget er overtent, vil synsfaktorene for bredere branner være mer relevante.

⁵ Ref: <http://www.thermalradiation.net/sectionb/B-3.html>



Figur 4.15 Synsfaktorer gitt avstand til en 6 m høy brann med varierende bredde.

Den mottatte strålingen som ble målt i forsøkene, presentert i kapittel 4.2.1, er uløselig knyttet til forsøksoppsettet og den aktuelle startbrannen. Det vil være andre forløp og konfigurasjoner som vil gi enten mindre stråling eller mer stråling. Spesielt vil startbrannens effekt og geometriske forhold være viktige faktorer. Sistnevnte er omhandlet i kapittel 4.1.6.

Startbrannen som ble benyttet i disse forsøkene hadde en gjennomsnittlig effekt på 1,4 MW og fasaden var slett. Til sammenligning er effekten til brannkilden i SP 105-testen 1,85 MW [19]. Med utgangspunkt i varmestrålingsutviklingen som ble målt på to meters avstand i forsøk med henholdsvis royalbehandlet og malt kledning, og en antagelse som at brannen var 6 m høy og 2 m bred og hadde uniform varmestråling over hele arealet, ble termisk respons i nabobyggets kledning beregnet for ulike avstander, se vedlegg B. Det ble også utført beregninger for tilfellet med brann i ubehandlet trekledning. Det er imidlertid ikke utført forsøk med dette scenariet, og strålingen fra denne brannen er derfor blitt estimert. Det knytter seg derfor noe usikkerhet til strålingsnivået fra dette scenariet, sammenlignet med scenariene med royalbehandlet og malt kledning. Strålingskurvene som ble benyttet i simuleringene er vist i Figur B.2.

Beregningene viser at brannen kunne spredt seg til nabobyggets kledning dersom avstanden var mindre enn 4,0 m for klasse E-kledning, og mindre enn 2,0 m for ubehandlet klasse D-kledning. Dersom startbrannen er større bør man påregne større sikkerhetsavstand. Disse resultatene er ingen absolutt sannhet, da de er knyttet til en gitt brann av en viss dimensjon, strålingsnivå og varighet, men de illustrerer forskjellene mellom brann i de ulike kledningstypene.

Beregningene tar heller ikke høyde for tilbakestråling mellom de to fasadene, noe som innebærer at man ved små avstander ($d < 2$ m), hvor effekten av tilbakestråling vil være kraftigst, sannsynligvis underestimerer temperaturen i nabobyggets kledning. En rekke andre parametere, som ikke er modellert, kan også påvirke risiko for spredning av brann til nabobygg i den ene eller andre retningen. Eksempelvis er klasse D-kledningen i dette tilfellet ubehandlet. Dersom den hadde vært overflatebehandlet, må man påregne mer stråling, men likevel mindre stråling enn for klasse E-kledning. Dette vil påvirke nødvendig sikkerhetsavstand. Når avstanden er 8 meter eller mer, så vil det

imidlertid være akseptabelt å ikke hensynta effekten av disse parameterne jf. VTEK. Men der avstanden er mindre enn 8 meter, så må vi kunne forutsette at disse parameterne får økt betydning. Andre faktorer som spiller inn er klima, vær, vind og gnister m.m. For å ta høyde for usikkerheter, samt noe større startbrann, bør innslagspunktene for ytelsesskjerpelsene komme tidligere, dvs. ved større avstand mellom byggene.

4.2.4. Kompenserende tiltak for manglende avstand til nabobygg

Som nevnt i tidligere diskusjon vil faren for brannspredning til nabobygg øke dersom avstanden til nabobygget minker. For å oppfylle funksjonskravet i TEK17 mener vi at antennelse av nabobyggets kledning må unngås, selv om nabobyggets vegg har tilstrekkelig brannmotstand. Mekanismer som kan forårsake spredning til nabo ble gitt i kapittel 4.2.1.

Med bakgrunn i utførte forsøk og beregninger settes det som et kompenserende tiltak skjerpelser i ytelsene til ytterkledning på de veggene som står mot nabobygg med kort avstand, se Tabell 4.2. I kapittel 4.2.3 ble det vist at det for en gitt startbrann, med påfølgende brann i kledning med henholdsvis klasse D og E, var en grense mellom antennelse og ikke antennelse av nabofasade ved rundt 2 m for brann i D-kledning og 4 m for brann i E-kledning. For å ta høyde for større branner og andre usikkerheter, settes innslagspunktene for skjerpede ytelser ved henholdsvis 3 m og 6 m, jf. Tabell 4.2. Tabellverdiene anses anvendelig uavhengig av om brannen starter innvendig eller utvendig, noe som gjør at skjerpelsene må gjelde selv om bygget har automatisk slokkeanlegg. Alternativ til å benytte de kompenserende tiltakene i Tabell 4.2, er å benytte kledning som oppfyller minst D-s3,d0 i hele fasaden mot nabobygg med avstand mindre enn 8 m.

Dersom ikke følgende avstandskrav oppfylles for frittliggende bod/garasjer i nærheten av bygningen som skal prosjekteres, må brannteknisk rådgiver kontaktes for å foreta en egen fraviksanalyse for bruk av utvendig behandlet trekledning i klasse E (se Figur 4.16):

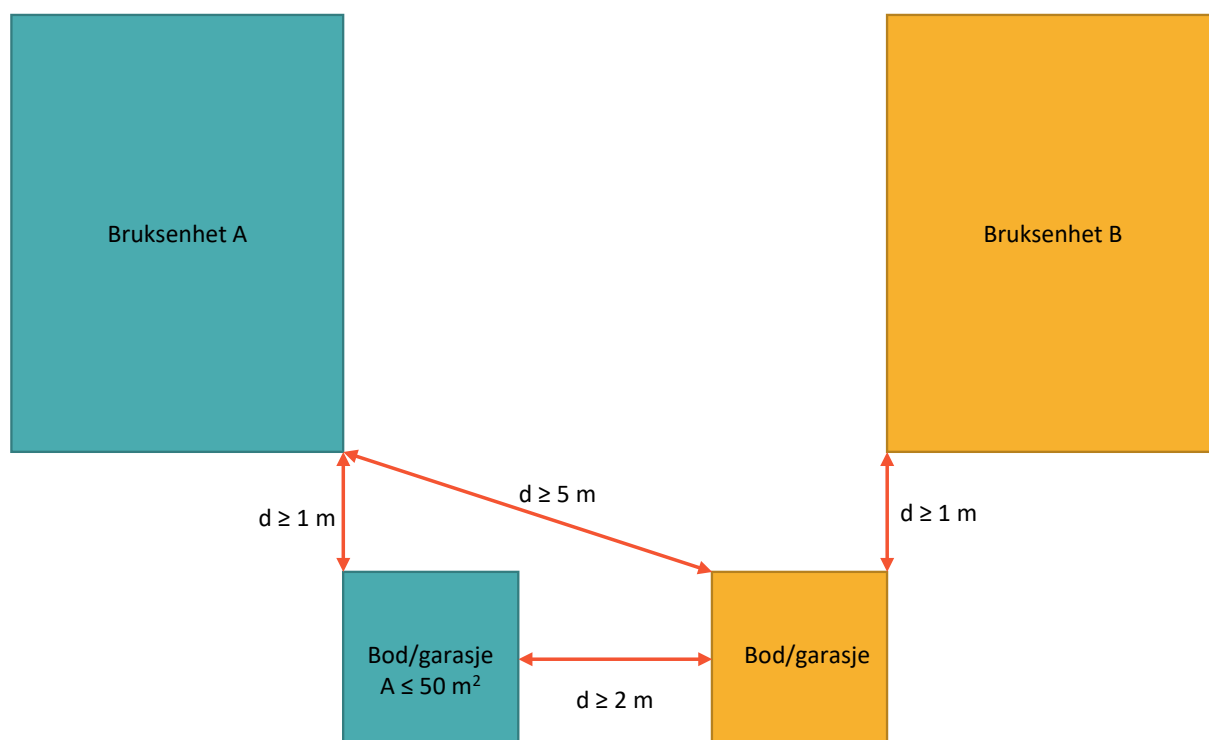
- avstanden fra bygningen som skal prosjekteres til egen liten frittliggende bod/garasje må minst være 1 m
- avstand fra bod/garasje til frittliggende bod/garasje i **annen** bruksenhet er minst 2 m
- avstanden fra bygningen som prosjekteres til frittliggende bod/garasje tilhørende annen bruksenhet må være minst 5 m, og er avstanden fra denne boden/garasjen til nabobruksenheten må være minst 1 m

Dersom evt. frittliggende bod/garasje oppfyller ovenfornevnte avstandskrav, og/eller har BTA > 50 m², må bod/garasje anses som nabobygg. Dersom evt. bod/garasje oppfyller ovenfornevnte avstandskrav, og har BTA ≤ 50 m², kan man se bort fra boden/garasjen.

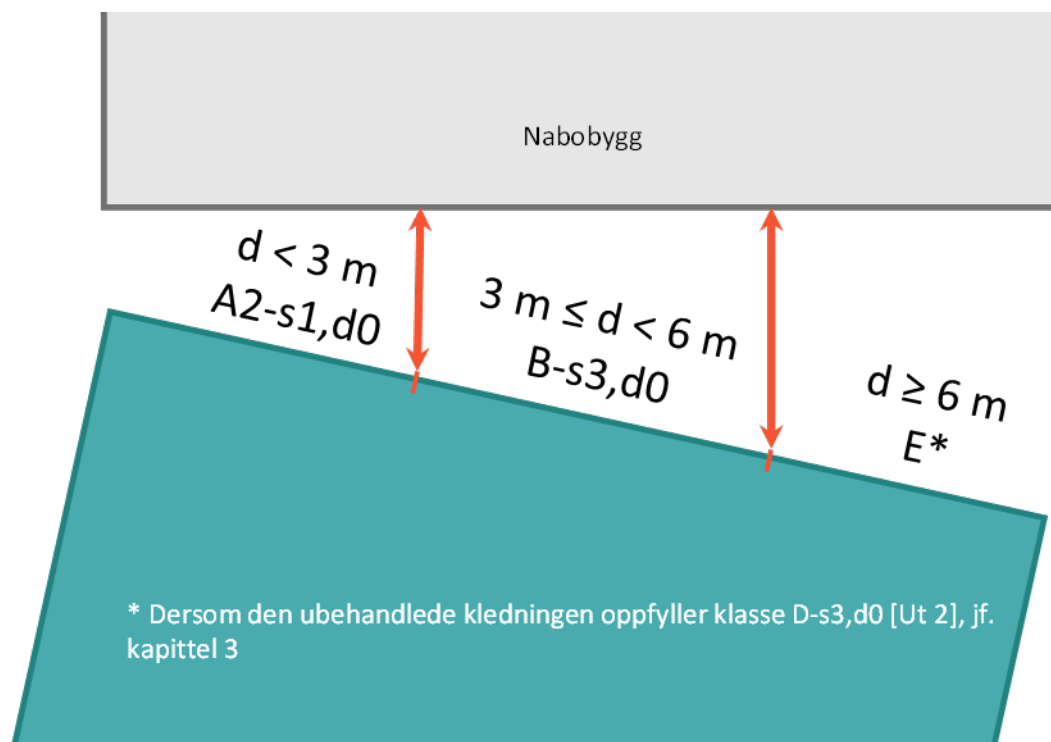
Ytelsene for kledning er illustrert i Figur 4.17.

Tabell 4.2 Kompenserende tiltak for utvendig kledning på deler av fasade med kort avstand til nabobygg.

Nabobygg nærmere enn 8 m fra tiltaket.	Avstand til nabobygg	Ytelse
	$d \geq 6 \text{ m}$	Den ferdige kledning må oppfylle klasse E dersom den ubehandlede kledningen oppfyller klasse D-s3,d0 [Ut 2], se Figur 4.17.
	$3 \text{ m} \leq d < 6 \text{ m}$	Kledningen må oppfylle klasse B-s3,d0 [Ut 1], se Figur 4.17.
	$d < 3 \text{ m}$	Kledningen må oppfylle klasse A2-s1,d0, se Figur 4.17.



Figur 4.16 Størrelse- og avstandsgrenser for når bod/garasje ikke trenger å anses som nabobygg.



Figur 4.17 Ytelsen til kledningen på ulike deler av fasaden settes ut i fra avstand til nabobygg. Alternativt må det benyttes kledning som oppfyller D-s3,d0 i hele fasaden mot nabobygg med avstand mindre enn 8 m.

4.3. Rømningsveier

TEK17 og VTEK peker på at rømningsveier internt i byggverk skal være egne brannceller. TEK17 § 11-13 (1) beskriver funksjonskrav knyttet til utgang fra branncelle:

Fra en branncelle skal det minst være én utgang til sikkert sted, eller utganger til to uavhengige rømningsveier, eller én utgang til rømningsvei som har to alternative rømningsretninger som fører videre til uavhengige rømningsveier eller sikre steder.

Rømningsvei skal føre til sikkert sted. Veiledningen til TEK17 § 11-13 (1) beskriver hva som regnes som sikkert sted:

Med sikkert sted menes et område hvor de kritiske forholdene det er evakuert fra, ikke er en trussel for mennesker og dyr. Dette er vanligvis på terrenget i tilstrekkelig avstand fra brannobjektet, eller i en annen brannseksjon.

Dette innebærer at med mindre man kan gå direkte ut av branncellen til *sikkert sted*, må man fortsette rømningen via en rømningsvei. I mange tilfeller vil rømningsveien være utvendig, eksempelvis i forbindelse med sval- eller altangang, langsmed en fasade etter utgang i et hjørne, etc., eller dersom man etter utgang fra bygget fremdeles ikke er i et område *hvor de kritiske forholdene det er evakuert fra ikke er en trussel for mennesker*. Sistnevnte kan være tilfellet dersom utgangen fra branncellen fører ut i en carport eller andre områder med overbygg, eller mellom boder og andre vegger.

Følgende områder må derfor betraktes som del av rømningsvei fordi brannstart eller varmestråling til disse områdene kan være til hinder for rømning til sikkert sted:

- Rømning mellom vegger eller under tak der avstanden til tennkilden er liten
- Inntrukne inngangspartier i forhold til fasadelivet (inntrukket > 1 m)
- Utgangsdør plassert inntil garasjeport i innvendig hjørne
- Utgangsdør ut under uttrukne tak som fungerer som carport
- Utvendig åpen trapp

I og med at disse områdene er å anse som rømningsveier, gjelder preaksepterte ytelser for overflater og kledning i rømningsveier. I og med at rømningsveiene er utendørs og området er godt ventilert, kan man tillate kledning med økt røykproduksjon, og følgelig B-s3,d0 [Ut 1] og hhv. K₂10 B-s3,d0 eller K₂10 A2-s1,d0 [K1-A] for brannklasse 1 og 2 + 3. I tillegg må øvrige krav til rømningsvei, gitt i forskriftens § 11-14, oppfylles. Det kan derfor ikke brukes kledning med lavere klasse enn dette i disse områdene, med mindre det utføres en fraviksvurdering av brannrådgiver.

5. Oppsummering

I denne analysen har vi beskrevet og vurdert ulike faktorer som kan påvirke brannspredning i en fasade med behandlet trekledning som oppfyller klasse E og spredning til nabobebyggelse. Bakgrunnen for analysen er branntekniske tester som viser at royalbehandlet kledning, og kledning med enkelte typer maling og beis, ikke vil oppfylle klasse D-s3,d0, som er preakseptert ytelse for utvendig kledning for bygg i brannklasse 1, og i enkelte tilfeller også bygg i brannklasse 2 og 3. Bruk av disse produktene blir derfor et fravik fra VTEK.

Hensikten med denne analysen er å danne et faglig grunnlag for Branntrygg 2, som er et digitalt fraviksverktøy som skal kunne brukes av ansvarlig prosjekterende i tiltaksklasse 1 og 2 for å håndtere fraviket den nevnte overflatebehandlingen utgjør. Verktøyet kan brukes på bygningstyper hvor DiBK har akseptert bruk av slike fraviksanalyser.

Analysen har tatt utgangspunkt i funksjonskrav i TEK, preaksepterte ytelser i VTEK og ulike forskningsstudier. Vi har fokusert på brannfysikken, og hvilke faktorer som bidrar til å øke risikoen for økt brannutvikling og brannspredning. Til sammen har dette dannet grunnlaget for hvilke faktorer og forhold som vurderes.

En analyse som dette skal favne et bredt spekter av ulike bygninger og løsninger. Vi har tilstrebet å dekke de fleste, samtidig som man angir brannteknisk gode og robuste kompenserende tiltak. Det vil alltid kunne være tilfeller hvor verktøyet kan fremstå konservativt eller lite egnet. I disse tilfellene vil det være et alternativ å gjennomføre spesifikke fraviksanalyser.

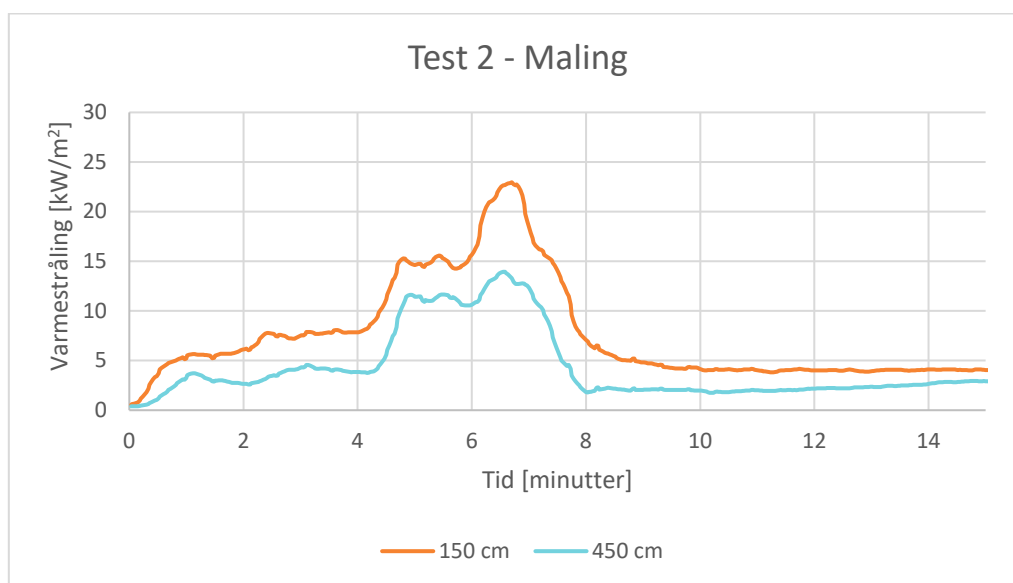
Boligprodusentenes Forening har operasjonalisert innholdet i denne rapporten ved å definere en rekke spørsmål som skal besvares av ansvarlig prosjekterende. Spørsmålene er satt i system i egne flytskjema, som igjen har dannet grunnlaget for den digitale løsningen som er utarbeidet av Holte.

6. Referanser

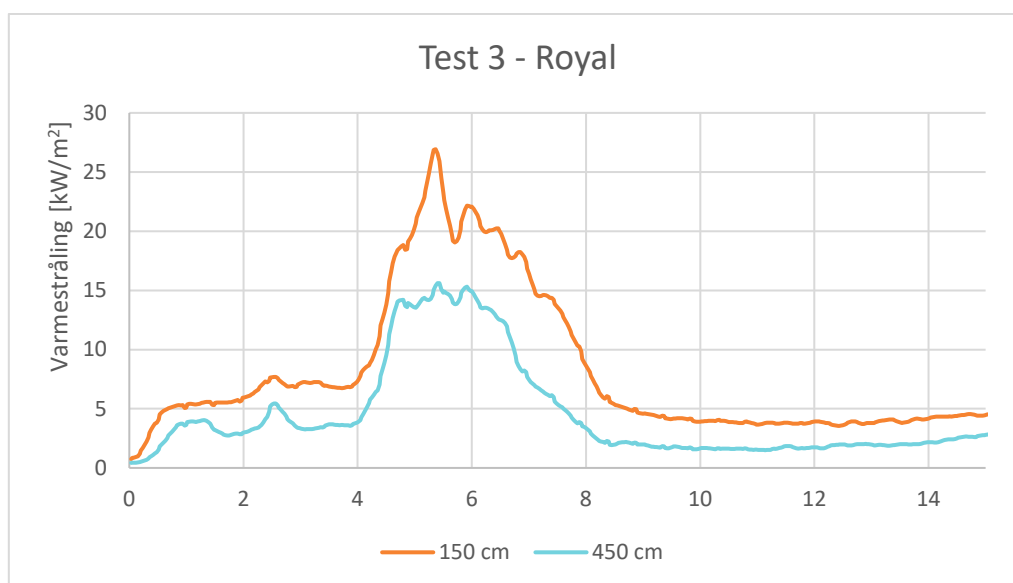
- [1] «Tilsyn med brannhemmende trekledning», Direktoratet for byggkvalitet, nov. 2020.
- [2] «NS-EN 13823: 2020 Prøving av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning — Byggeprodukter (unntatt gulvbelegg) som utsettes for termisk påkjenning fra en brennende gjenstand». Standard Norge, mai. 2020.
- [3] A. Steen Hansen og R. H. Mostad, «Vurdering av branntekniske egenskaper til fasadekledning av tre - Branntesting av trekledning med ulike typer behandling», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport 2021:61, 2021.
- [4] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 17. desember 2015 nr. 1710 om brannforebygging*. 2015.
- [5] R. Stølen, M. Bergius, og J. S. Fjærestad, «Brann i holrom bak royaloljebehandla kledning av furu», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport 2022:05, 2022.
- [6] «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)». ISO Copyright office, published in Switzerland, 2015.
- [7] «Vurdering av kritiske varme-strålingsnivåer for antennelse av behandlet tre», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport F21 130009-39, jun. 2021.
- [8] Kevin McGrattan, Randall McDermott, Craig Weinschenk, og Glenn Forney, «Fire Dynamics Simulator Users Guide, Sixth Edition», nov. 2013.
- [9] F. Drangsholt og G. Drangsholt, «CFD-simulering av brann i luftespalte bak luftet trekledning», Safezone AS, Trondheim, Norge, Safezone-rapport 10001-RAP-1, des. 2021.
- [10] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 19. juni 2017 nr. 840 om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK17)*, nr. FOR-2017-06-19-840. 2017.
- [11] Direktoratet for byggkvalitet, *Veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK)*. 2017.
- [12] Olofsson, Robert, «Vurdering av kritiske varmestrålingsnivåer for antennelse av behandlet tre», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport F21 130009-39, jun. 2021.
- [13] T. Hakkarainen og T. Oksanen, «Fire safety assessment of wooden facades», *Fire Mater.*, bd. 26, nr. 1, s. 7–27, jan. 2002.
- [14] B. Östman, J. König, J. Schmid, og A. Just, «Brandsäkra trähus 3 : nordisk-baltisk kunskapsöversikt och vägledning», SP Rapport 2012:18, 2012.
- [15] J. Kr. Møller, A.-M. Haukø, og K. L. Friquin, «Royalbehandlet trekledning og brannssikkerhet - Komparative fraviksanalyser», SINTEF, Trondheim, Norge, SINTEF-rapport 2021:00730, jul. 2021.
- [16] «Byggforskserien 525.106 - Skrå tretak med kaldt loft». SINTEF Byggforsk, 2005.
- [17] «SN-INSTA/TS 950:2014 Analytisk brannteknisk prosjektering - Komparativ metode for verifikasjon av brannssikkerhet i byggverk». Standard Norge, 2014.
- [18] Standard Norge, «NS-EN 1991-1-2:2002+NA:2008, Eurocode 1: Laster på konstruksjoner, Del 1-2: Allmenne laster, Laster på konstruksjoner ved brann.» Standard Norge, 2002.
- [19] A. Steen-Hansen, «Utredning – branntekniske ytelser for kledninger og overflater», Trondheim, Norge, RISE-rapport A18 20354:1, feb. 2018.

Vedlegg A – Varmefluks målt i storskala forsøk

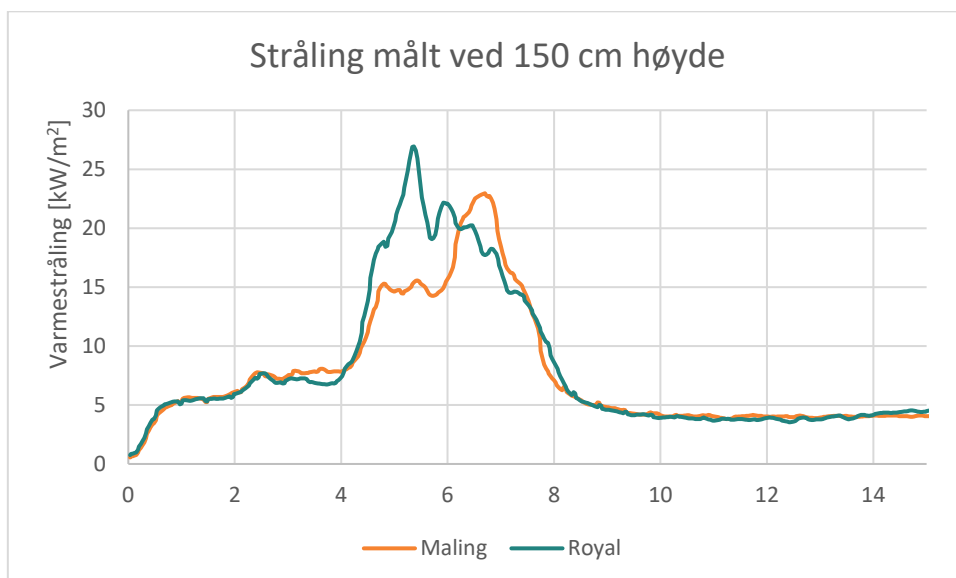
Stråling målt ved 2 m avstand til brennende fasade er vist i Figur A-1 – Figur A-4. Testene ble gjennomført i forbindelse med studien rapportert av Stølen et. al [5], og har oppsett som beskrevet for serie G. Test 2 var med malt kledning, og test 3 med royalbehandlet kledning. Disse resultatene er knyttet til den malingen, grunningen og antall strøk som ble benyttet i testen, men både malingen og utførelsen anses typisk for forbrukermalt trekledning. Begge veggene hadde vindsperre som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0. Startbrannen var en heptanbrann med areal 0,5 m², og som hadde en gjennomsnittlig effekt på 1353 kW i ca. 8 minutter.



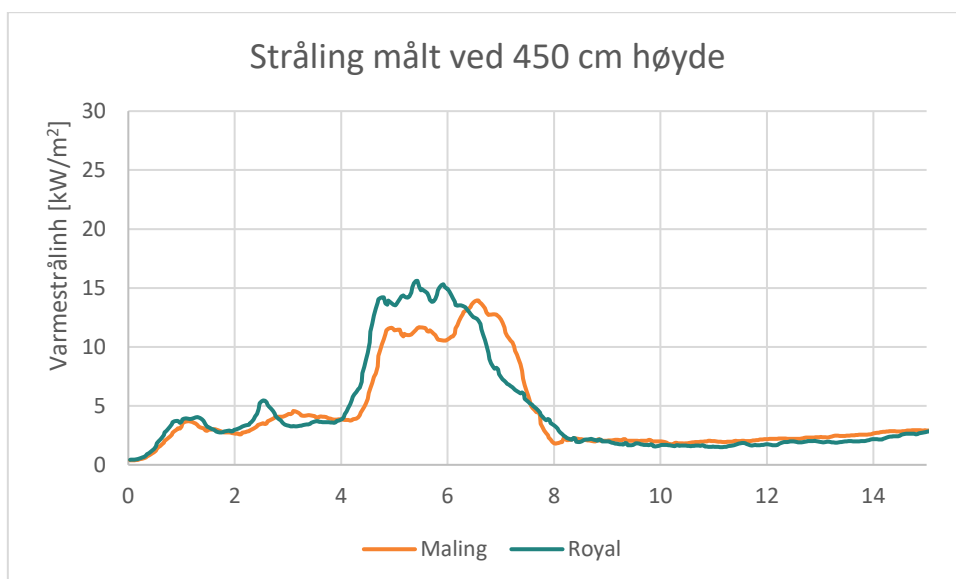
Figur A.1 Målt varmestråling på to høyder, 2 m fra brann i malt trekledning.



Figur A.2 Målt varmestråling på to høyder, 2 m fra brann i royalbehandlet trekledning.



Figur A.3 Målt varmemstråling på 150 cm høyde, 2 m fra brann i henholdsvis malt og royalbehandlet trekledning.

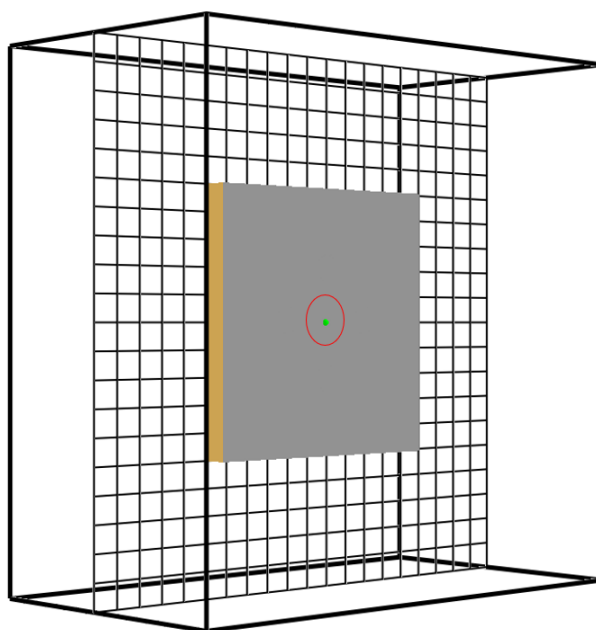


Figur A.4 Målt varmemstråling på 450 cm høyde, 2 m fra brann i henholdsvis malt og royalbehandlet trekledning.

Vedlegg B – Beregning av termisk respons til kledning på nabobygg

Det er gjennomført en serie med eksponeringsberegninger ved hjelp av Fire Dynamics Simulator (FDS) versjon 6.7.7 [8], utviklet av National Institute of Standards and Technology. Modellen som er benyttet tar utgangspunkt i prinsippet for et konkalorimeter. Et konkalorimeter er et apparat som benyttes til og studerer branntekniske egenskapene til et materiale ved å eksponere dette for en gitt varmestråling. Modellen kombinerer 3D CFD (computational fluid dynamics) og 1D FEM-metodikk (finite element). CFD-modellen har en størrelse på 11 cm × 20 cm × 20 cm. Totalt har modellen 4400 beregningsvolumer. Materialstykket som testes er på 2 cm × 10 cm × 10 cm. Figur B1 viser skisse av modellen.

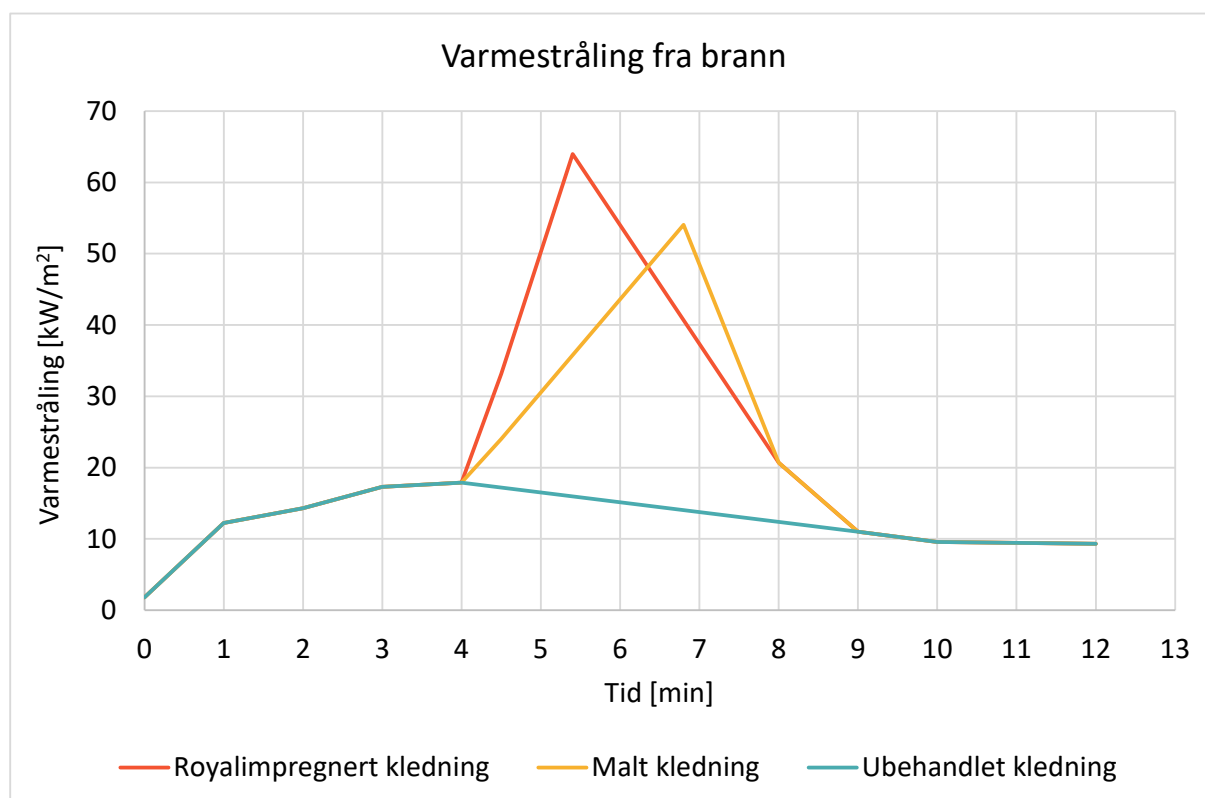
Beregningspunkt i FEM modellen er jevnt fordelt i prøvestykket med en innbyrdes avstand på 0,5 mm. Kurveskarene som er vist i Tabell B.1 er hentet ut fra målepunkt i senter av materialstykket (se rød sirkel). Varmeeksponeringen av prøvestykket skjer ved at overflate påføres en varmefluks beregnet ut fra synsfaktor og utstrålt varmefluks fra brannobjektet.



Figur B.1 Skisse av CFD/FEM-modell

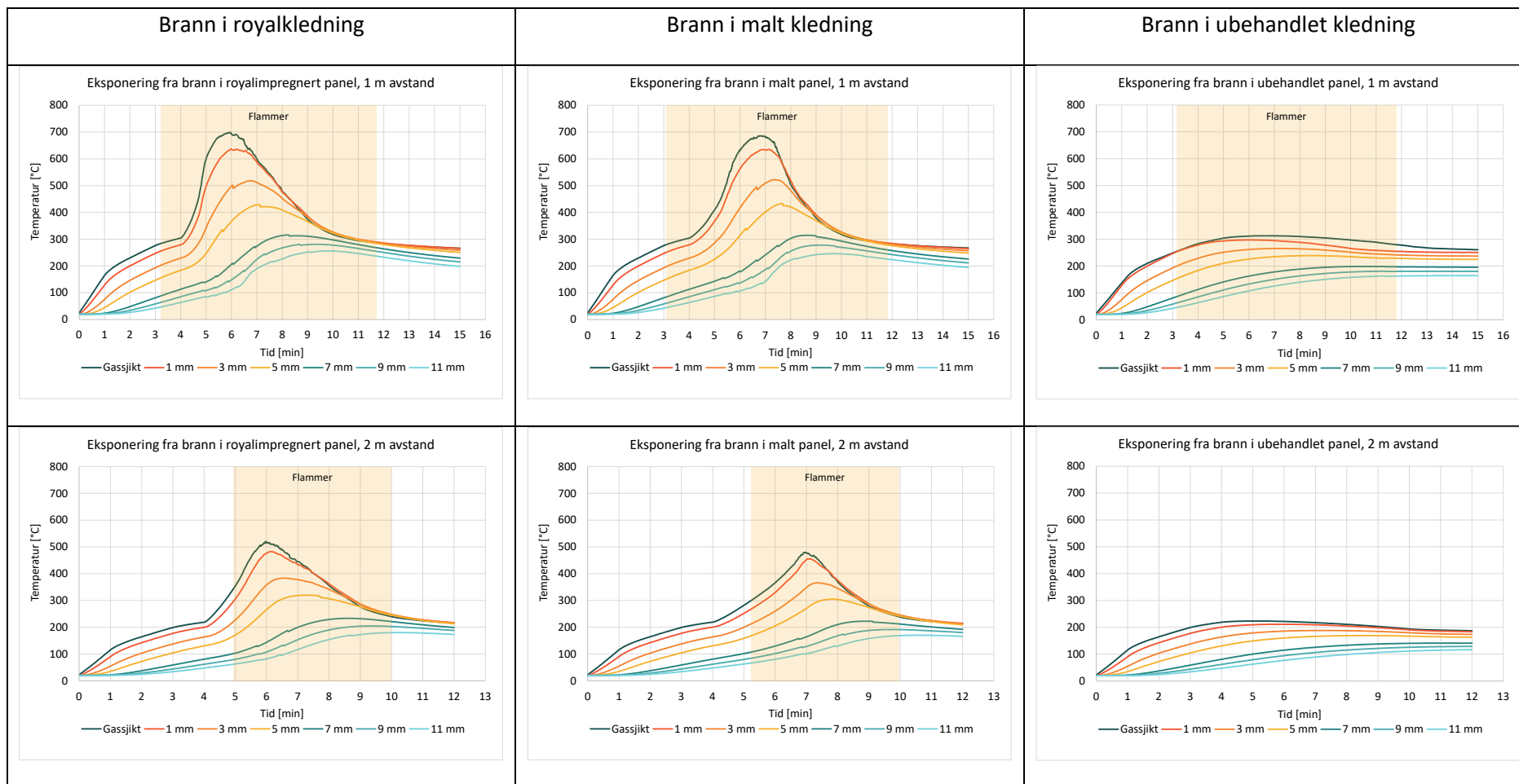
Brannmodellen som er benyttet til å beskrive prøvestykket (gran/furu) bygger på TGA-analyser utført ved RISEs laboratorium i Sverige. Prøvebiter som er analysert er hentet fra materialer benyttet i «Hulromsprosjektet» [5]. Kritisk temperatur for antennelse er satt til 350 °C.

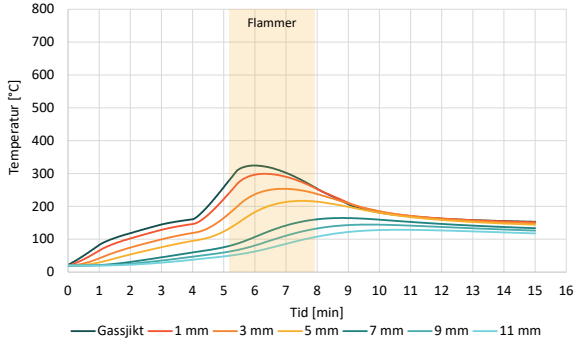
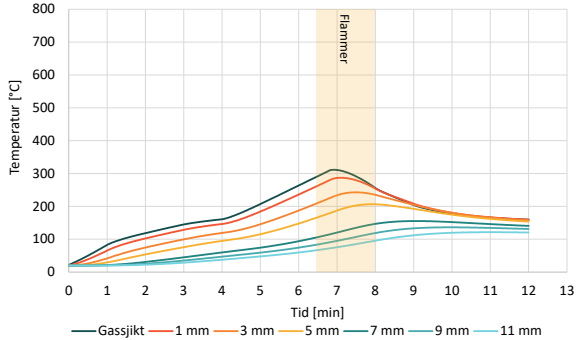
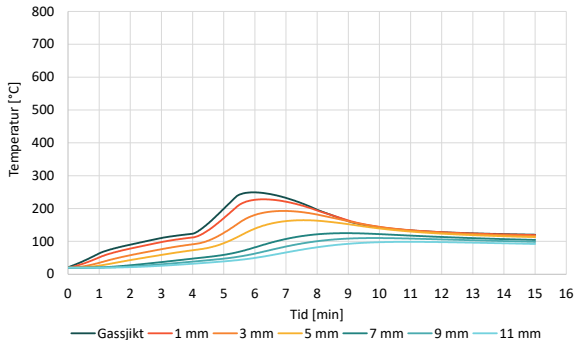
Eksponeringskurvene som er benyttet i beregningene bygger på fullskalamålinger utført av RISE i «Hulromsprosjektet» [5]. Det er benyttet strålingsdata målt i høyde 1,5 m og avstand 2 m fra brannflaten. Disse er korrigert med synsfaktor som gjelder for et brannareal på 2 m × 6 m og avstand 0 m, slik at en får fram utstrålt varme fra trekledningen som står i brann. Figur B.2 viser stiliserte eksponeringskurver for ubehandlet kledning, kledning behandlet med maling og kledning behandlet med royalolje. Benyttet synsfaktor (skaleringsverdier) for avstandene 1 m, 2 m, 3 m og 4 m blir henholdsvis 0,69, 0,41, 0,26 og 0,14.



Figur B.2 Eksponeringskurver benyttet i beregning av termisk respons. Kurvene sammenfaller i tidsrommet mellom $t = [0, 4]$ og $t = [9, 12]$.

Tabell B.1 Termisk respons i nabobyggets kledning for ulike avstander mellom byggene og for ulike behandlinger av den brennende kledningen. Gule skravurer angir forhold hvor flammer kan oppstå og opprettholdes på nabobyggets kledning.



Brann i royalkledning	Brann i malt kledning	Brann i ubehandlet kledning
Eksponering fra brann i royalkledningert panel, 3 m avstand 	Eksponering fra brann i malt panel, 3 m avstand 	
Eksponering fra brann i royalkledningert panel, 4 m avstand 	Eksponering fra brann i malt panel, 4 m avstand 