



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Brannteknikk

ING3037

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2019 15:50	Termin:	2019 VÅR
Sluttdato:	08-05-2019 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3037 1 PRO-1 2019 VÅR Haugesund		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.: 109

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Brann som følge av optisk fenomen

Engelsk tittel *: Fire caused by optical phenomenon

Egenerklæring *: Ja **Inneholder besvarelsen Nei**
konfidensiell materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har Ja
registrert oppgavetittelen
på norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Gruppe

Gruppenavn: (Anonymisert)

Gruppenummer: 7

Andre medlemmer i gruppen: Deltakeren har innlevert i en enkeltmannsgruppe

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Brann som følge av optisk fenomen



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskulen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

Sikkerhet og brannteknikk

Av: Heidi Søreng

Kand.nr. 109

Haugesund

Våren 2019

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Heidi Søreng

Linje & studieretning: Bachelor i ingeniørfag, Brannsikkerhet

Oppgavens tittel: *Brann som følge av optisk fenomen*

Oppgavetekst:

I Norge er brann som følge av optisk fenomen langt ifra den vanligste brannårsaken, men en slik brann kan ha store følger. Hvis solstråler blir konsentrert kan det bli samlet nok energi i et punkt til å kunne starte en spontanantennelse.

I denne oppgaven vil det med en kvantitativ tilnærming bli sett nærmere på sannsynligheten for at brann som følge av optisk fenomen ved stråling fra sola vil kunne oppstå i Norge.

Ved litteraturstudie, innhenting av statistikk og gjennomføring av forsøk, vil fenomenet bli undersøkt nærmere og risikoen for at antennelse vil kunne oppstå bli kartlagt, vurdert og sammenlignet med statistiske data.

Endelig oppgave gitt: 01.03-'19

Innleveringsfrist: Onsdag 8.mai 2019 kl. 12.00

Intern veileder: Arjen Kraaijeveld

Ekstern veileder: Sølvi M. Harjo

**emailadresse ekstern
veileder:**

Solvi.M.Harjo@politiet.no

**Godkjent av
studieansvarlig:**

Dato:

Jordvik Henningsen
6/5-19

Oppgavens tittel: Brann som følge av optisk fenomen		Rapportnummer <i>(Fylles ikke ut)</i>
Utført av: Heidi Søreng (233042)		
Linje: Sikkerhet, Brann		Studieretning: Ingeniør
Gradering: Åpen	Innlevert dato: 08.05.2019	Veiledere: Arjen Kraaijeveld Sølvi M. Harjo
Ekstrakt <p>Det har oppstått flere tilfeller de siste årene hvor solstråling og optisk fenomen har dannet temperaturøkning på materialer og nesten skapt brann. Dette har blitt observert ved at svimerker har blitt dannet og materialer har smeltet. På bakgrunn av det har det vært et ønske om å undersøke fenomenet nærmere og belyse det med et nytt perspektiv. Dette blir gjort med en kvantitativ tilnærming ved hjelp av håndberegninger, praktiske forsøk og utforming av statistikk.</p>		

Forord

Denne studentrapporten skrives som hovedoppgave og er den avsluttende delen av bachelorstudiet innen branningeniør, ved Høgskulen på Vestlandet. Oppgaven dekker 20 studiepoeng og vil ha bredde og omfang deretter.

Underveis i utdannelsen har jeg tilegnet meg teoretisk kunnskap både innenfor brannodynamikk, aktiv og passiv brannsikring samt bygningsmessig lovgivning med hensyn til brannsikkerhet. Den tillærte teorien skal hensiktsmessig anvendes for å belyse et tema innen brannetterforskning, som en del av det kontinuerlige forebyggingsarbeidet innen brannsikkerhet.

Bacheloroppgaven er utført i samarbeid med Kripos og vil omhandle risikoen for antennelse som følge av solstråling ved optisk fenomen gjennom transparente, konvekse linser, eller i reflekterende, konkave flater. For å kunne kartlegge risikoen er det blitt benyttet metoder som håndberegninger, praktiske forsøk, målte data av solstråling, samt estimering av solstråling funnet med en modell basert på satellitmålinger fra en tidsperiode på over 10 år.

Oppgaveskrivingen har vært svært interessant, lærerik, men også utfordrende. Den har belyst et tema som har vært i «skyggen» en stund, og som vil være nyttig lesning både for faglærte og ufaglærte.

Jeg ønsker å takke mine veiledere for god hjelp og veiledning under prosjektet:

Sølvi M. Harjo – Ekstern veileder, ved Kripos i politiet.

Arjen Kraaijeveld – Intern veileder, ved Høgskulen på Vestlandet.

I tillegg vil jeg gjerne takke førsteamanuensis, maskiningeniør, Andrés Franklin Olivares Lopez, for god veiledning og innspill underveis i prosjektet.

Jeg vil også takke høgskolelektor ved institutt for data og realfag, Gisle Yngvar Romslo Kleppe, som har bidratt med god veiledning og diskusjoner ved utarbeidelse av matematiske beregninger.

Til slutt rettes en stor takk til overingeniør Ole Edvard Grov ved Universitetet i Bergen, som har bistått med datamålinger fra strålingsobservatoriet deres.

Haugesund 08.05.2019

Heidi Søreng

Sammendrag

De fleste kan nok kjenne seg igjen i en barndomstid hvor det var fryktelig gøy å prøve å sette fyr på avispapir ved hjelp av et forstørrelsesglass. Det er et optisk fenomen som skjer når avispapiret antenner ved hjelp av stråler fra solen. Det samme kan skje ved at solstråler brytes og fokuseres gjennom blomstervasen eller reflekteres i sminkespeilet. De konkave flatene eller konvekse linsene samler solstrålene til et brennpunkt og vil gi såpass høy temperatur at materialer kan antenne.

Flere eksempler på brann som følge av optisk fenomen har inntruffet de siste årene og har blitt omtalt i media, se Vedlegg A – Saker i media, for å se flere av disse. På bakgrunn av dette og med et ønske om å belyse dette emnet i et nytt perspektiv, blir brann som følge av optisk fenomen undersøkt nærmere i denne oppgaven. Det gjennomføres en risikoanalyse med kvantitativ tilnærming ved å utføre forsøk med bruk av diverse konvekse eller konkave gjenstander, håndberegninger og datamålinger av solstyrke.

Utvikling av brann som følge av optisk fenomen er svært situasjonsbetinget. Dette vil si at antennelse kan oppstå, men for at en brannutvikling skal skje vil utviklingen være avhengig av brennbare materialer i nærheten og tilgang på oksygen. De forskjellige undersøkelsene har resultert i flere konklusjoner. Blant annet har den geometriske formen på en gjenstand stor betydning for hvor mye stråling som samles i brennpunktet. Mengde stråling som konsentreres i punktet øker parallelt med den sfæriske formen på en gjenstand. Ved testing med solstråling på en kuleformet blomstervase ble det målt en strålefluks på 45 kW/m^2 i brennpunktet, og det er bevist med forsøk at det er sterk nok stråling til å kunne antenne ulike typer materialer.

Etter å ha samlet data på solstyrke fra to ulike kilder, konkluderes det med at datamålinger fra en tidsperiode på flere år, fremfor kun ett, vil gi mer realistisk resultat på grunn av skiftende værhold i Norge fra år til år. Det er heller ikke optimalt å kun bruke datamålinger fra ett sted i Norge. For å kunne gi en klar oversikt over styrke på direkte solstråling i hele landet, burde det vært plassert pyrheliometre, som måler slik stråling, flere steder enn kun i Bergen.

Ved utarbeidelse av risikoanalyse angående dette fenomenet, kan det konkluderes med at risikoen for at brann kan oppstå som følge av optisk fenomen absolutt finnes i Norge. Både praktiske forsøk og målinger av solstyrke har bevist at antennelse kan oppstå og faren for antennelse inne i rom har blitt vurdert til å være størst på sommertid og vintertid, mens den er størst på sommeren, sen vinter og tidlig vår, ute i det fri.

Innholdsfortegnelse

FORORD	III
SAMMENDRAG	IV
FIGURLISTE	VII
TABELLISTE	VII
DEFINISJONER	VIII
FORMLER	X
1. INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 PROBLEMSTILLING	1
1.3 FORMÅL	1
1.4 AVGRENSNINGER	1
2. TEORI	2
2.1 ANTENNELSE	3
2.1.1 <i>Spontanantennelse</i>	3
2.2 STRÅLING FRA SOLEN	3
2.2.1 <i>Solens innstråling i Norge</i>	5
2.3 VARMEBALANSE I SAMLEPUNKTET	6
2.3.1 <i>Varmestråling</i>	6
2.3.2 <i>Varmeledning</i>	9
2.3.3 <i>Konveksjon</i>	9
2.4 OPTISK FENOMEN	10
2.4.1 <i>Stråling i konvekse og konkave linser</i>	10
2.4.2 <i>Stråling i konvekse og konkave flater</i>	13
2.4.3 <i>Antennelse som følge av optisk fenomen</i>	14
3. METODE	17
3.1 LITTERATURSTUDIE	17
3.1.1 <i>Kildekritikk</i>	17
3.2 HÅNDBEREGNINGER	17
3.2.1 <i>Feilkilder</i>	17
3.3 FORSØK	18
3.3.1 <i>Feilkilder</i>	20
3.4 MÅLTE DATA OG ESTIMERTE VERDIER	20
3.4.1 <i>Feilkilder</i>	21
4. RESULTATER	22
4.1 HÅNDBEREGNINGER	22
4.2 FORSØK	25
4.2.1 <i>Praktiske forsøk med solstråling</i>	25
4.2.2 <i>Målinger av globalstråling og antennelse av avispapir</i>	25
4.2.3 <i>Praktiske forsøk med strålefluks</i>	26
4.3 DATAMÅLINGER OG SIMULERTE VERDIER	26
5. DISKUSJON OG VURDERING AV RESULTATER	28
5.1 HÅNDBEREGNINGER	28
5.2 FORSØK	29
5.3 DATAMÅLINGER OG SIMULERTE VERDIER	30
5.4 VURDERING AV RESULTATER	30
5.4.1 <i>Risikovurdering</i>	30
6. KONKLUSJON	34

7. FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	35
8. REFERANSER	36
VEDLEGG A – SAKER I MEDIA	I
VEDLEGG B – BEREGNING AV REDUKSJONSFAKTOR K.....	VII
VEDLEGG C – KONSENTRERING AV SOLSTRÅLING I KONVEKS LINSE.....	VIII
VEDLEGG D – FORSØK AV FORFLYTNINGSHASTIGHET TIL BRENNPUNKT	IX
VEDLEGG E – RESULTATER OG BILDER FRA FORSØK MED SOLSTRÅLING.....	XI
VEDLEGG F – MÅLINGER MED PYRANOMETER SP LITE2	XVII
VEDLEGG G – BILDER FRA FORSØK MED STRÅLEFLUKS	XVIII
VEDLEGG H – ANTALL TIMER OVER KRITISK STRÅLINGSGRENSE.....	XXII

Figurliste

Figur 1 Illustrasjon av strålingspektrene fra solen ved jordoverflaten og fra jorden, som funksjon av bølgelengde [30]	4
Figur 2 Illustrasjon over fem ulike sorte legemers intensiteter ved forskjellige temperaturer og bølgelengder. Intensiteter er gitt langs y-akse og bølgelengder langs x-akse [40]	8
Figur 3 Illustrasjon av lysbrytning som skjer gjennom en konveks linse [2]	11
Figur 4 Illustrasjon av lysbrytning som skjer gjennom en konkav linse [2]	11
Figur 5 Illustrasjon av hvordan solstråler brytes gjennom innfallsloddet mellom luft og glass, og vinkler endrer seg [52]	12
Figur 6 Krum overflate med en konveks og en konkav side [2]	13
Figur 7 Illustrasjon av stråler som treffer en konveks flate [2]	13
Figur 8 Illustrasjon av stråler som treffer en konkav flate [2]	14
Figur 9 Konvekse og konkave gjenstander som ble benyttet under forsøk	18
Figur 10 Oppsett med fluksmåler tilhørende kalorimeter	18
Figur 11 Pyranometer SP Lite2 og multimeter Fluke 45	19
Figur 12 Pyrheliometer på taket av Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen [64]	20
Figur 13 Resultater fra forsøk med strålefluksmåler i brennpunkt dannet av ulike gjenstander	25
Figur 14 Målinger av globalstråling ved ulike dager i april 2019	26
Figur 15 Antall timer direkte stråling fra solen over grense for kritisk stråling på 120 W/m^2	27
Figur 16 Risikomatrix som presenterer risikoen for at antennelse oppstår ved ulike årstider inne i rom	32
Figur 17 Risikomatrix som presenterer risikoen for at antennelse oppstår ved ulike årstider ute i det fri	33

Tabelliste

Tabell 1 Spontanantennelsestemperatur [26]	3
Tabell 2 Materialers utstrålingsevne [41] [42]	7
Tabell 3 Materialers absorberingsevne for solstråling [44]	8
Tabell 4 Spesifikk varmeledningsevne [49]	9
Tabell 5 Effekter av varmestråling [25]	15
Tabell 6 Observerte effekter av prøvestykker som har blitt eksponert for konstant strålefluks på 45 kW/m^2	26
Tabell 7 Klassifisering av sannsynlighet og frekvens [73]	31
Tabell 8 Klassifisering av konsekvenser	31
Tabell 9 Kartlegging av risikoen inne i rom	32
Tabell 10 Kartlegging av risikoen ute i det fri	33

Definisjoner

Absorpsjon – Elektromagnetisk stråling som tas opp av et legeme og omformes til varme [1].

Brennpunkt – Der lysstråler samles etter brytning gjennom en konveks linse eller i et konkavt speil [2].

Bølgelengde – I denne rapporten menes det bølgelengde i stråling, som er lengden mellom to nabobølgetopper. Bølgelengder varierer etter hvilken type stråling det er [3].

Diffus solstråling – Kortbølget stråling fra solen som spres av luftmolekyler og partikler i atmosfæren, som skyer for eksempel [4].

Direkte solstråling – Kortbølget stråling fra solen uten noen form for diffus stråling [5].

Elektromagnetisk stråling – Energi som overføres i form av elektromagnetiske bølger [6].

Fluid – Fellesbetegnelse for væske eller gass [7].

Globalstråling – Samlebegrep for direkte og diffus solstråling [4].

Konkav – Innbuet, hvelvet innad [8].

Konveks – Buet utover, hvelvet utad [9].

Multimeter – Et måleinstrument som måler ulike elektriske størrelser. De vanligste typene er likestrøm, vekselstrøm, likespenning, vekselspenning og resistans [10].

Optisk fenomen – Her: lysfenomen [11]. I denne rapporten er optisk fenomen det samme som brennklasseffekt, som er effekten av solstråler som treffer glassgjenstander og fokuseres sterkt på en gjenstand, slik at en temperaturøkning inntreffer og antennelse skjer [12].

Overtenning – Overgangen til en tilstand hvor alle overflater til brennbare materialer i et rom antenner og deltar i brannen [13].

Porøsitet – Betegnelse for grad av porer, små åpninger eller hull i et materiale [14].

Pyrolyse – En irreversibel prosess hvor kjemisk spaltning av et stoff inntreffer ved påvirkning av varme. Gass blir produsert når et stoff varmes opp. Denne prosessen skjer før antennelse [15].

Refleksjon – I denne rapporten menes det refleksjon av stråling. Refleksjon skjer når stråler blir kastet tilbake når de treffer en flate [16].

Selvantennelse – Når et stoff antenner uten tilførsel av varme utenfra, med andre ord ved selvoppvarming [17].

Spontanantennelse – Når et stoff antenner med tilførsel av varme utenfra, men uten tennkilde [18].

Spontanantennelsestemperatur – Grenseverdi for temperatur som angir når de varme gassene fra et materiale har nådd en grense hvor de antenner [7].

Strålefluks – Varmestråling per areal [7]

Strålefluksmåler – Måleinstrument som måler strålefluks

Strålingsspekter – Gitt spekter av elektromagnetiske bølger [19]

Termisk stråling – Det samme som varmemstråling og er elektromagnetisk stråling som fører energi i form av varme, til eller fra et system [20].

Termisk treghet – Også kalt varmeopptaksevne og er produktet av overflatens eller gassens tetthet, varmeledningsevne og varmekapasitet [21].

Termisk tykt materiale – Også kalt semi-uendelig og betyr at et materiale som eksponeres for en varmekfluks på den ene siden vil ha ingen, og dermed neglisjerbar, temperaturendring på den andre siden [22].

Termisk tynt materiale – Fast stoff der temperaturgradienten inne i materialet er minimal, og dermed neglisjerbar, ved eksponering for en varmekfluks [23].

Transmisjon – I denne rapporten gjelder transmisjon av stråling. Transmisjon beskriver hvor mye energi som strømmer gjennom et materiale uten å påvirke det [7].

Formler

$\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$	(1)
$Energi_{inn} + Generert energi = Energi_{ut} + Lagret energi$	(2)
$\dot{q}'' = \alpha\sigma(T_1^4 - T_0^4)$	(3)
$B(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1}$	(4)
$n = \frac{c}{v}$	(5)
$n_i \sin i = n_b \sin b$	(6)
$t_{Spontanantennelse} = \frac{\pi}{4} k\rho c \frac{(T_{Spontanantennelse} - T_0)^2}{\dot{Q}_R''^2}$	(7)
$t_{Spontanantennelse} = \frac{\tau\rho c}{2h} \ln\left(\frac{T_\infty - T_0}{T_\infty - T_{Spontanantennelse}}\right)$	(8)
$\dot{q} = \frac{\dot{q}''_{tot}}{A_{Forstørrelsesglass}}$	(9)

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Hovedprosjektet er utarbeidet som den avsluttende delen av bachelorstudiet ved branningeniørlinjen på Høgskulen på Vestlandet.

Oppgavens innhold ble valgt basert på egen interesse og erfaringer fra barndom, og fra nåværende deltidsjobb i Kitch'n. Faren for brann som følge av solstråling både gjennom og reflektert i ulike gjenstander var fasinerende og interessant, og det var derfor et personlig ønske om å undersøke fenomenet nærmere. På bakgrunn av dette ble Kripos kontaktet og det ble enighet om et samarbeid. I mars 2018 ble et nytt tilleggshefte til «Håndbok i brannetterforskning» publisert av Norsk brannvernforening. Dette heftet omhandler optiske fenomen som brannårsak og er utarbeidet av tidligere ansatt i Norsk brannvernforening, nå pensjonist, Thor Kristian Adolfsen. Heftet har dannet grunnlaget til denne hovedoppgaven. Sammen ble det enighet med både intern og ekstern veileder om at oppgaven skulle baseres på noe av arbeidet i heftet til Adolfsen, men ha en mer kvantitativ tilnærming til fenomenet. Det ble bestemt at oppgaven skal ta for seg sannsynligheten for antennelse som følge av stråling fra solen, og risikoen for brann vil bli kartlagt og sammenlignet med statistiske data.

1.2 Problemstilling

I denne hovedoppgaven skal risikoen for antennelse som følge av optisk fenomen ved stråling fra solen bli kartlagt, vurdert og sammenlignet med statistiske data. Dette blir gjort ved å utarbeide håndberegninger og praktiske forsøk, for deretter å kunne sammenligne med både litteratur og datamålinger. Datamålingene er målte verdier for stråling med et pyrheliometer ved Universitetet i Bergen, i tillegg til estimerte verdier fra en datamodell basert på satelittmålinger fra over 10 år.

1.3 Formål

Hovedmålet med denne rapporten er å kunne belyse og kartlegge et emne som har vært i «skyggen» en stund. Faren for brann som følge av antennelse forårsaket av solstråling gjennom konvekse linser eller konkave flater, er ikke en av de største årsakene til brann, men det er likevel viktig å belyse emnet som en del av det kontinuerlige forebyggende arbeidet innen brannetterforskning. Resultatene fra oppgaven kan dermed benyttes som grunnlag for videre arbeid innen brannetterforskning.

1.4 Avgrensninger

Med tanke på restriksjoner i forhold til oppgaven har det vært behov for å gjøre noen avgrensninger. Med dette tenkes det på tidsbruk og oppgavens omfang. Avgrensninger som er blitt gjort blir presentert i dette avsnittet.

Det er blitt utarbeidet regneeksempler med svært konservative verdier som har sitt fokus i verst tenkelige scenarier. Blant annet er varmetap til omgivelser neglisjert. Dette er

avgrensninger basert på forenklinger av avanserte matematiske modeller relatert til varmestråling og optisk fenomen.

Det er benyttet dataverdier fra 2018, målt med pyrheliometer ved Universitetet i Bergen. Dette er verdier fra kun ett år, noe som ble en avgrensning for at oppgaven ikke skulle bli for omfattende. Alle datamålinger og estimeringer er ikke tatt med som vedlegg da det ville tatt for stor plass i oppgaven.

Praktiske forsøk med solstråling og strålefluks ble kun gjennomført inne i et rom og ikke ute i det fri, ettersom tilgjengelig utstyr for å måle stråling kun befant seg inne i ett bestemt rom og kunne ikke flyttes. Siden strålefluksmåler ikke kunne flyttes hvor som helst inne i rommet, ble målingene begrenset til å kun utføres innenfor et visst område i rommet.

Målinger av globalstråling ble kun utført i april, våren 2019, ettersom det bare var sol denne måneden under oppgaveskrivingen.

2. Teori

2.1 Antennelse

Før en brann kan oppstå og utvikle seg må det skje en antennelse. Da skjer det en antennelse av gass, eller av fast stoff eller væske, etter at de har startet å pyrolysere. Antennelse er starten av en forbrenning. For at antennelse skal oppstå må tilstrekkelig energi blir frigjort fra en kjemisk reaksjon slik at reaksjonen fortsetter uten behov for ekstern energitilførsel [7]. Dette kan skje ved at en ekstern varmekilde varmer opp et material ved direkte kontakt, også kalt pilot-antennelse, men det kan også inntreffe uten antennelseskilde, enten ved selvoppvarming eller ved tilførsel av varme utenifra, uten direkte kontakt med en tennkilde. Dette kalles selvantennelse og spontanantennelse [24]. Videre i dette kapittelet skal det fokuseres på spontanantennelse som følge av solstråling.

2.1.1 Spontanantennelse

Årsaken til antennelse, som har oppstått uten kontakt med direkte tennkilde, er at et materiale blir varmet opp som følge av intern eller ekstern oppvarming. Spontanantennelse vil kunne inntreffe etter eksponering av en ekstern varmekilde. Denne typen varmekilde kan enten være høy lufttemperatur eller kraftig varmestråling [7]. Et eksempel på sistnevnte er varmestråling fra solen. Det som er spesielt ved spontanantennelse er at den eksterne strålingskilden ikke er i direkte kontakt med materialet, men varmestrålingen er såpass sterk at materialet vil få en stor temperaturøkning og starte å pyrolysere og produsere gasser [25]. Dersom antennelse skal oppstå må den eksterne varmestrålingen være så kraftig at temperaturen til gassene som produseres og fordamper, er høyere enn spontanantennelsestemperaturen [25]. De fleste materialer vil ha forskjellige spontanantennelsestemperaturer og noen eksempler på slike temperaturer (til faste materialer) er presentert i Tabell 1.

Tabell 1 Spontanantennelsestemperatur [26]

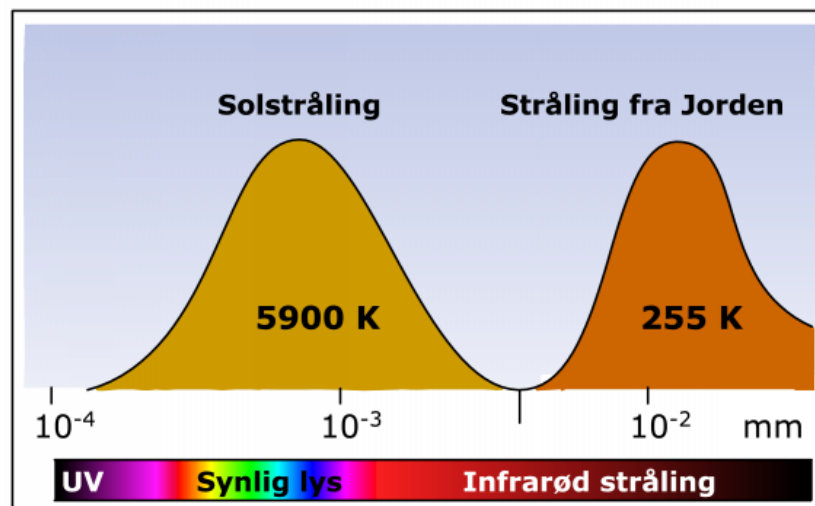
Fast materiale	Minimum spontanantennelse [°C]
Treverk	200-400
Papir	185-350
Asfalt	480
Steinkull	300-500

2.2 Stråling fra solen

Solen er en stor stjerne som har en diameter på 1 390 000 km. Kjernetemperaturen ligger rundt 15 600 000 K, mens overflatetemperaturen befinner seg rundt 5800 K [27]. Solen sender ut elektromagnetisk stråling i form av synlig lys, infrarød stråling, UV-stråling, røntgenstråling, samt andre radioaktive partikler. Infrarød stråling er hovedkilden til varme på jorden [28]. Noe av strålingen som solen sender ut blir absorbert av ozonlaget, som beskytter alt liv på jorden. Strålingen som slipper gjennom ozonlaget kalles for solspekteret. Solspekteret vil endre seg etter hvert som solen stiger, passerer sitt høyeste punkt på himmelen og går ned igjen om kvelden. Det er flere faktorer som bestemmer solspekteret på et sted. Disse er geografisk posisjon, årstid, tid på dagen, skydekke og ozonmengde.

Den elektromagnetiske strålingen fra solen har bølgelengde fra omtrent 300 og helt opp til 2500 nm. Solstrålingen er derimot mest konsentrert rundt 500 nm [29]. Bølgelengden til synlig lys ligger mellom 400-760 nm, men mesteparten av solstrålingen kan man ikke se [30]. Bølgelengden til UV-stråling ligger mellom 200-400 nm, mens til infrarødt er den fra 800 og opp til 1000 000 nm (1 mm) [29].

Omtrent 60 prosent av den elektromagnetiske strålingen fra solen treffer jordoverflaten og vil bli absorbert og reflektert forskjellig ved ulike områder på overflaten. Absorberingsevnen sørger for oppvarming av jorden, noe som resulterer i at jorden og atmosfæren sender ut varmestråling tilbake til verdensrommet. Denne typen varmestråling er infrarød stråling og har mye mindre bølgelengde enn strålingen fra solen. Den ligger konsentrert rundt 20 000 nm [30]. Figur 1 viser strålingsspektre fra solen ved jordoverflaten og fra jorden, som funksjon av bølgelengde. Formen på spektrene er like, dette ettersom de begge er utarbeidet av strålingsloven, se Formel 3. Spektrene er forskjøvet i forhold til hverandre siden de har ulike temperaturer [31].



Figur 1 Illustrasjon av strålingsspektrene fra solen ved jordoverflaten og fra jorden, som funksjon av bølgelengde [31]

Gustav Robert Kirchhoffs strålingslov sier at stoffers utstrålingsevne og absorberingsevne er like ved samme type stråling og dermed ved samme bølgelengde [32]. Den matematiske formelen vil da bli redusert til slik som Formel 1 [33].

$$\alpha_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} \quad (1)$$

Bølgelengden til strålingen fra solen ligger, som tidligere nevnt, mellom 300 til 2500 nm [29]. Bølgelengden til termisk stråling, som også er infrarød stråling, vil være mellom 200 og 1000 000 nm. Ettersom bølgelengden til solstråling og termisk stråling vil være ulike i samlepunktet hvor strålene konsentreres ved optisk fenomen, vil absorberingsevnen og emissiviteten til materialet være ulike [33]. Dette kan bekreftes ut fra Figur 1 hvor man kan se at spektrene for solstråling og termisk stråling har ulike bølgelengder. På bakgrunn av dette vil følgende uttrykk gjelde for alle slike tilfeller.

$$\alpha_{\lambda, \text{solstråling}} \neq \varepsilon_{\lambda, \text{termisk stråling}}$$

Solstrålingen som treffer atmosfærens yttergrense, også kalt «solarkonstanten», er på 1367 W/m². Noe av strålingen blir reflektert bort fra atmosfæren, mens noe blir absorbert i den. Den kjente verdien på varmestråling som treffer jordoverflaten midt på dagen i klarvær, ligger rundt 1000 W/m². Den gjennomsnittlige solstrålingen som treffer jordoverflata blir litt lavere enn 500 W/m², ved værforhold med skyer, tåke og støv, ettersom noe av strålingen absorberes i skyene blant annet [34]. Ingen av tilfellene gir kraftig nok stråling til å kunne antenne vanlige brennbare materialer [28].

Strålene fra solen er aller sterkest midt på dagen når den er høyest på himmelen. Dette kommer av at strålene har høyest intensitet når strålene treffer vinkelrett på en gjenstand. Dersom strålene treffer en gjenstand på skrå vil intensiteten bli svakere som følge av at strålene fordeler seg utover et større område. I tillegg vil en del av strålingen som treffer på skrå transporteres gjennom mer atmosfære og dermed blir en god del av strålemengden reflektert og absorbert i atmosfæren, før den treffer bakken [35].

Global solstråling består av direkte solstråling og diffus skystråling. Globalstrålingen er strålingsflukstetthet fra solen på en horisontal flate, også kalt solirradiansen. Den globale solstrålingen kan bli målt av et pyranometer og oppgis i W/m. Direkte solstråling (også kalt DNI som er en forkortelse for «Direct Normal Irradiation»), er stråling fra en bestemt vinkel fra solen som treffer normalt på jordoverflaten. Direkte solstråling kan bli målt av et pyrhemometer og dataene oppgis i W/m² [36]. I denne oppgaven fokuseres det på direkte solstråling siden det er denne typen stråling som har potensiale til å starte en brann ved at solstrålene blir fokusert i et samlepunkt gjennom konvekse linser, eller ved refleksjon i konkave flater.

2.2.1 Solens innstråling i Norge

Norge mottar en energimengde som er lavere enn gjennomsnittet for alle andre land på jorden. Årsaken til det er at Norge befinner seg ganske langt mot nord og et stykke bort fra ekvator, og innstrålingen fra solen er på skrå. Dette resulterer i en lavere energimengde ettersom solstrålene har en lenger vei å transporteres gjennom atmosfæren før de når Norge, i forhold til andre land som ligger nærmere ekvator [37]. På bakgrunn av dette er blant annet utnytting av solens varmestråling som en kilde for fornybar energi i Norge ikke like fremtredende som i andre land i verden.

Kalde vintre i Norge kommer av at solen treffer skrått på landet. Jorden vil befinne seg nærmest solen om vinteren og da vil innstrålingen faktisk være større om man retter en gjenstand vinkelrett på solen, i forhold til om sommeren. Gjenstander kan antenne som følge av konsentrering av solstråler ved optisk fenomen på vinteren, så lenge man retter gjenstanden vinkelrett på solen¹. Det er stor risiko for at brann kan oppstå på vintertid til tross for store snømengder dersom det er kaldt og tørt klima, lite fuktighet i luften og om brennbare materialer er uttørket [38]. Dette kan leses mer om i avsnitt 2.3.1.1.

¹ E-post fra Thor Kristian Adolfsen, tidligere ansatt i Norsk brannvernforening, nå pensjonist

2.3 Varmebalanse i samlepunktet

Når temperaturen i et system endres over tid kalles det et transient system. For å forklare dette litt nærmere kan ligningen for energibalansen presenteres.

$$Energi_{inn} + Generert energi = Energi_{ut} + Lagret energi \quad (2)$$

Ligningen forklarer at summen av energien er det samme som energi inn og ut av systemet samt energiproduksjon og lagring av energien [7].

I et samlepunkt, også kalt fokuspunkt (eller brennpunkt i brannsammenheng), hvor varmestråler konsentreres ved optisk fenomen som kan oppstå ved stråling mot transparente linser eller reflekterende gjenstander, økes temperaturen som resultat av varmebalansen. I punktet vil temperaturen økes som resultat av innfallende stråling og innkommende varmeledning og konveksjon, samt reflektert stråling og utgående varmeledning og konveksjon. Grunnen til at temperaturen økes kommer av at varmeproduksjonen i punktet er større enn varmetapet. Strålingsmengden i samlepunktet vil være et resultat av innkommende og utgående stråling, og kan beregnes ved hjelp av Formel 3. Denne formelen er utarbeidet fra Stefan-Boltzmanns lov om varmestråling, men her er emissivitet erstattet med absorberingsevne ettersom stråling fra solen og termisk stråling har ulike bølgelengder. Energimengden i brennpunktet vil derfor hovedsakelig være et resultat av hvor mye energi som absorberes i materialet i fokuspunktet [25] [39].

$$\dot{q}'' = \alpha\sigma(T_1^4 - T_0^4) \quad (3)$$

Hvor:

\dot{q}'' = Mengde energi som materialet mottar gjennom varmestrålingen [W/m²]

α = Absorberingsevne [-]

σ = Stefan-Boltzmanns konstant, $5,669 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴

T = Temperatur [K]

2.3.1 Varmestråling

Varmestråling er en varmeoverføringsmekanisme som skjer ved at stråling i form av elektromagnetiske bølger blir sendt ut fra objekter som har temperaturer over det absolutte nullpunkt. Dette vil si temperaturer over null grader Kelvin [40]. Materialer som sender ut maksimal stråling i forhold til temperatur blir kalt for sorte legemer eller «black bodies» på fagspråket. Slike materialer vil også absorbere all innkommende varmestråling. I virkeligheten vil ingen objekter være helt sorte, derfor er det mer korrekt å omtale virkelige objekter som grå legemer. Forskjellen blir da at grå legemer ikke er perfekte mottakere av varmestråling. Evnen et objekt har til å sende ut varmestråling kalles for utstrålingsevne, eller emissivitet, og varierer mellom null og en. Utstrålingsevnen varierer med objektets

materialegenskaper [7]. Noen eksempler på ulike objekters utstrålingsevne blir presentert i Tabell 2.

Tabell 2 Materialers utstrålingsevne [41] [42]

Materiale	Utstrålingsevne
Sort legeme	1
Papir ²	0,97
Betong, murverk	0,93
Treverk, malt og umalt	0,85-0,95
Kobber, blank pusset	0,04
Hvitt legeme	0

Max Plancks lov gjelder for sorte legemer og binder størrelsene temperatur, intensitet, bølgelengde og frekvens sammen. Bølgelengde og frekvens er omvendt proporsjonale, noe som betyr at jo høyere frekvens lyset har, jo mindre er bølgelengdene mellom bølgetoppene. Dermed vil lys med store bølgelengder ha lavere frekvens. Intensiteten til lys blir bestemt av både temperaturen og bølgelengden til lyset, og intensiteten ved en gitt bølgelengde kan beregnes ved hjelp av Plancks strålingslov, se Formel 4 [43].

$$B(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1} \quad (4)$$

Hvor:

λ = Bølgelengde [m]

T = Temperatur til det sorte legemet [K]

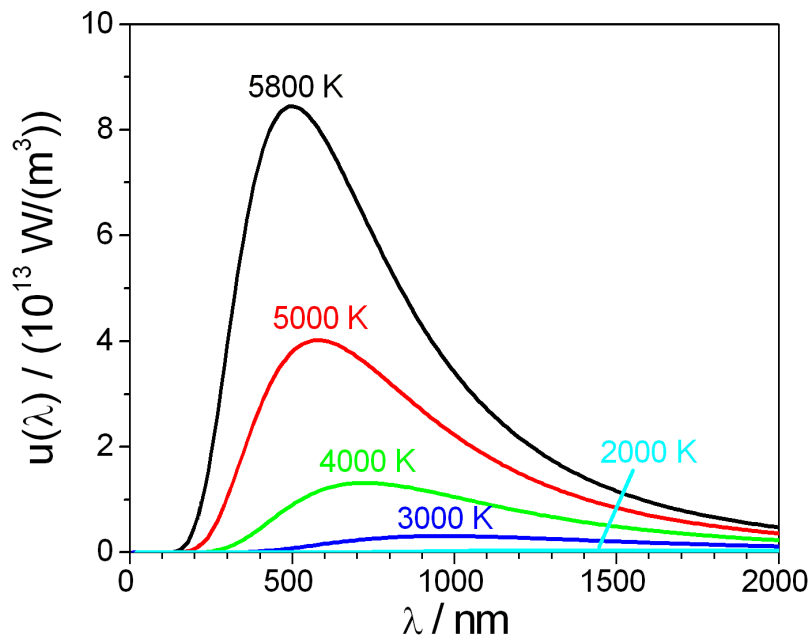
c = Lyshastigheten [m/s]

h = Plancks konstant, $6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s

k = Stefan-Boltzmanns konstant, $5,669 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴

Figur 2 viser grafer med ulike forløp for intensiteter ved gitte temperaturer som er beregnet med Plancks strålingslov. Figuren illustrerer at intensitet i stor grad er avhengig av både bølgelengde og temperatur. Man kan legge merke til at høye temperaturer gir høye intensiteter ved lave bølgelengder. Det er den svarte kurven som representerer intensiteten til stråling fra solen [43].

² Emissiviteten til papir ved 20 °C [42]



Figur 2 Illustrasjon over fem ulike sorte legemers intensiteter ved forskjellige temperaturer og bølgelengder. Intensiteter er gitt langs y-akse og bølgelengder langs x-akse [43]

2.3.1.1 Materialelegenskaper ved antennelse som følge av varmestråling fra solen

Egenskapene til et materiale som mottar varmestråling fra solen er viktige med tanke på hvilken temperatur overflaten kan få. Refleksjon, absorpsjon og transmisjon er avgjørende faktorer i hvor mye energi som blir tatt opp eller reflektert i et materiale. Absorberingsevnen til et materiale er evnen materialet har til å ta opp energi. En kjent huskeregel er at svarte gjenstander absorberer alt lys, mens hvite gjenstander reflekterer alt lys [7]. Transparente eller reflekterende gjenstander, som for eksempel glassvaser eller sminkespeil, absorberer stråling dårlig og det vil derfor være tilnærmet like mye stråling som treffer gjenstandene, som blir transmittert eller reflektert ved optisk fenomen [4]. Absorberingsevnen er en særdeles viktig faktor ved spontanantennelse i samlepunktet, som skapes ved optisk fenomen gjennom konvekse linser eller ved refleksjon i konkave flater [7]. Noen forskjellige materials absorberingsevne for solstråling blir presentert i Tabell 3.

Tabell 3 Materialers absorberingsevne for solstråling [44]

Materiale	Absorberingsevne (ved 15 °C)
Sort legeme	1
Rustfritt stål	0,4
Papir	0,3
Kobber	0,2-0,5
Treverk, eik	0,35
Treverk, furu	0,6
Hvitt legeme	0

Materialelegenskap som fuktighetsinnhold i trevirke er muligens den viktigste egenskapen i forhold til faren for antennelse i Norge, dette ettersom det finnes mye skog og trær, samt

norske hus og bygninger er oftest laget som trekonstruksjoner. Ifølge forskningen til Srividya, Log og Kraaijeveld vil antennelse skje hurtigere i trevirke med fuktighetsinnhold som er under 5%, i forhold til trevirke med høyere og «vanligere» fuktighetsinnhold. På vinterstid hvor luftfuktigheten er lavere og trevirke er tørrere, vil en brann lettere kunne oppstå og utvikle seg hurtigere sammenlignet med på sommertid, når luften har høyere fuktinnhold. Dette vil gjelde faren for brann både inne i bygg og ute i det fri [45]. Fuktighetsinnhold i tre er derfor en viktig faktor som vil påvirke temperaturøkningen i materialet i samlepunktet, som dannes ved optisk fenomen.

Videre er det materialeegenskaper som blant annet porøsitet og emissivitet som avgjør hvor stor temperaturøkning som vil kunne inntreffe i samlepunktet. Blant annet vil et porøst materiale i liten grad tape den påførte varmen. Dette kommer av at luften som fyller porene i stoffet leder varme dårlig, og temperaturen i samlepunktet vil økes betraktelig i motsetning til i et kompakt materiale [46]. Emissiviteten til et stoff vil være en viktig faktor ettersom evnen til å reflektere stråling er avgjørende i hvor stor temperaturøkning stoffet vil være utsatt for, som følge av ekstern varmestråling [47]. Slike materialeegenskaper avgjør dermed hvor stor spesifikk varmekapasitet og varmeledningsevne et materiale har. Et materials varmekapasitet er evnen til å ta opp varme, altså et mål for hvor mye energi som må tilføres for å øke temperaturen i materialet, mens varmeledningsevne er evnen til å lede varme [48] [49].

2.3.2 Varmeledning

Varmeledning skjer mellom materialer som er i kontakt med hverandre og som leder varme godt, ved at energien sprer seg fra høy til lav temperatur. Denne typen varmeoverføringsmekanisme er avhengig av et materials aggregattilstand. Om materialet er i gass- eller væskeform vil varmeledningen skje på grunn av kollisjoner mellom atomer og molekyler som skaper og overfører energi. Dersom det er et fast stoff skjer varmeledningen som følge av energioverføring fra frie elektroner [7]. Evnen et materiale har på å lede varme kan måles, og kalles materialets spesifikke varmeledningsevne eller termiske konduktivitet. Dette kan også defineres som varmestrømtettheten gjennom materialet dividert med temperaturfallet per lengdeenhet. Den spesifikke varmeledningsevnen blir derfor oppgitt i $W/K \cdot m$ [49]. Eksempler på ulike materials spesifikke varmeledningsevne er presentert i Tabell 4.

Tabell 4 Spesifikk varmeledningsevne [49]

Materiale	Spesifikk varmeledningsevne [$W/K \cdot m$]
Papir	0,3-0,1
Tre	0,2-0,1
Trefiberplater	0,05
Aluminium	230

2.3.3 Konveksjon

Varmekonveksjon eller varmestrøm inntreffer dersom en væske eller gass transporteres over et fast materiale og temperaturforskjellen mellom mediene skaper energioverføring [7]. En annen forklaring er at konveksjon er transport av et stoff, varme, energi eller elektrisitet fra et sted til et annet. Dette skjer på grunn av en strøm av væske eller gass mellom stedene [50].

Det finnes to typer konveksjon, naturlig og tvungen konveksjon. Naturlig konveksjon er naturlige oppdriftskrefter fra eksempelvis en brann, mens tvungen konveksjon er konveksjon som følge av eksterne krefter. Et eksempel på dette kan være en vifte [25].

Ved å beregne energimengden som overføres fra et fluid til et fast stoff gjennom varmekonveksjon, er man avhengig av stoffets konvektive varmeoverføringskoeffisient. Dette er ikke en konstant verdi, men er videre avhengig av systemets egenskaper, geometrien og orienteringen av det faste stoffet, samt egenskapene til fluidet og strømningsparametre [25]. Denne verdien er et mål for den varmeisolerende evnen til bygningsdeler som vegger, gulv, tak og vinduer [51].

2.4 Optisk fenomen

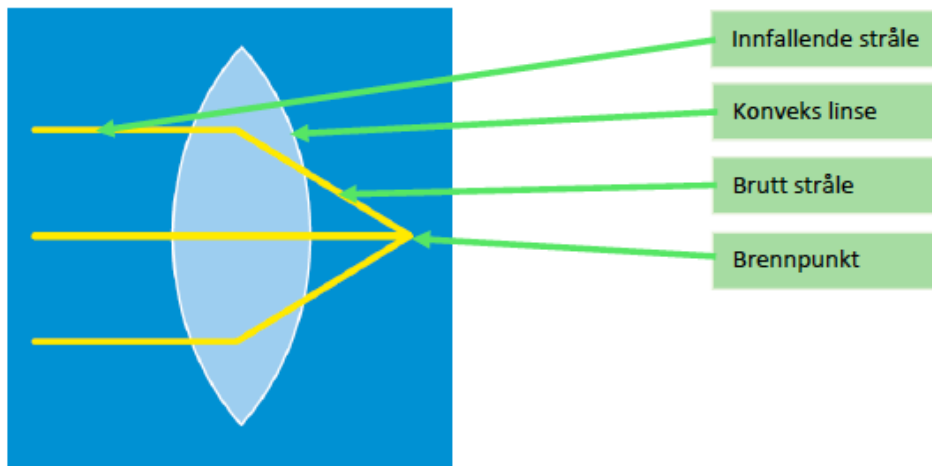
Om man samler varmestrålene fra solen til ett lite punkt, vil temperaturen bli såpass høy at materialer kan antenne. Dette fenomenet kalles for et optisk fenomen eller «brennglasseffekt». Det som skjer i denne prosessen er at varmestråler fra solen blir fokusert og konsentrert gjennom en gjenstand som er rund i tverrsnitt, med andre ord er sfærisk eller sylindrisk formet og fungerer som en konveks linse. Det kan også skje gjennom en gjenstand som har konkav overflate, som for eksempel et sminkespeil [28]. Med andre ord brytes solstrålene gjennom en konveks linse eller reflekteres på en konkav overflate, og samles i et punkt, også kalt brennpunkt innen brannfaglig terminologi [52].

Alle illustrasjonsbilder i dette kapittelet er benyttet med tillatelse fra Norsk brannvernforening.

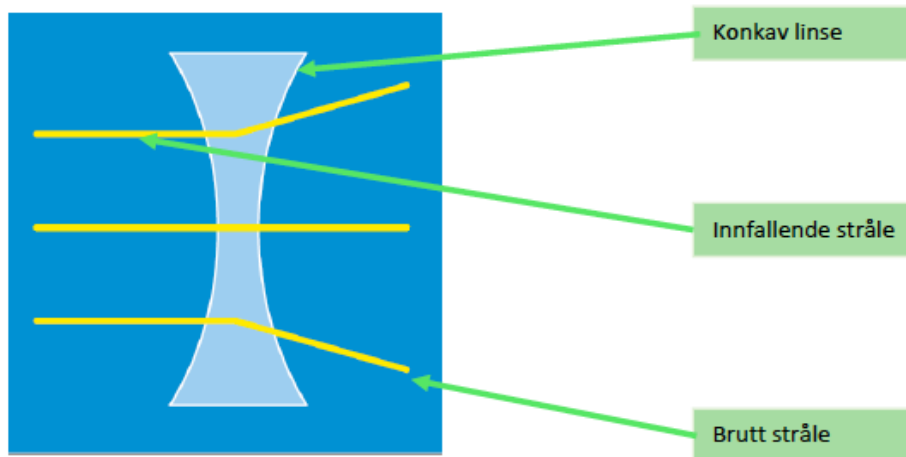
2.4.1 Stråling i konvekse og konkave linser

En god huskeregel er at en konveks linse samler lyset, mens en konkav linse sprer det [53]. Konvekse linser er breiest langs akse på midten og bryter parallelle stråler slik at de samles i brennpunktet, og kan derfor kalles samlelinser. Konkave linser er det motsatte av konvekse og er tynnere langs akse på midten. På bakgrunn av dette vil strålene spre seg og de kan derfor også kalles spredelinser [54]. Noen eksempler på konvekse linser er forstørrelsesglass, kameralinse, blomstervase, vannmugge og brusflaske i glass. Noen gjenstander som har konkave linser er brilleglass for nærsynthet, teleskop og mikroskop.

Se Figur 3 og Figur 4 for illustrasjoner av det som skjer ved lysbrytning gjennom konvekse og konkave linser.



Figur 3 Illustrasjon av lysbrytning som skjer gjennom en konveks linse [2]



Figur 4 Illustrasjon av lysbrytning som skjer gjennom en konkav linse [2]

2.4.1.1 Lysbrytning og Snells lov

Når solstråler treffer gjennomsiktige væsker eller gjennomsiktige gjenstander, endres både innfallsvinkler og brytningsvinkler som følge av lysbrytning. Lysbrytning vil kun skje dersom lysstrålene eller varmestrålene treffer en gjennomsiktig gjenstand på skrå [53]. Årsaken til at strålene brytes og vinkler endres, kommer av at strålene beveger seg saktere gjennom disse materialene enn i vakuum [2]. Lyshastigheten i vakuum/luft er på 300 000 km/s, mens den i vann er 225 000 km/s og i glass er på 200 000 km/s. Noe av lyset som treffer grenseflaten mellom to transparente stoffer vil alltid bli reflektert. Forholdet mellom lyshastigheten i luft og lyshastigheten gjennom et materiale kalles brytningsindeks [2]. For eksempel er brytningsindeksen for vann 1,333 og for glass ligger den mellom 1,5 og 1,6. Brytningsindeksen kan beregnes ved Formel 5 [55].

$$n = \frac{c}{v} \quad (5)$$

Hvor:

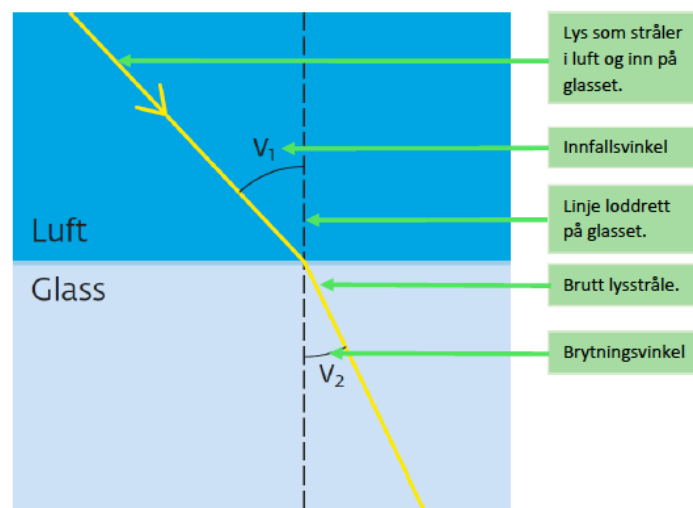
n = Brytningsindeks

c = Lyshastigheten for vakuum

v = Lyshastigheten for et medium

Snells lov, også kalt lysbrytningsloven, er utarbeidet av nederlenderen Willebrord van Rojen Snell i 1621. Bakgrunnen til hvorfor denne loven ble utarbeidet er en strålekonstruksjon. Denne blir fortsatt brukt i lærebøker idag [56].

Lysbrytningsloven sier at «den innfallende og den brutte strålen ligger i innfallsplanet, på hver sin side av innfallsloddet» [56]. Figur 5 viser hvordan fenomenet skjer i innfallsloddet.



Figur 5 Illustrasjon av hvordan solstråler brytes gjennom innfallsloddet mellom luft og glass, og vinkler endrer seg [56]

Formel 6 viser hvordan retningsforandringen av lysstrålen blir når den passerer grensen mellom to medier på denne måten [56].

$$n_i \sin i = n_b \sin b \quad (6)$$

Hvor:

n_i = Brytningsindeksen for mediet der lyset kommer fra

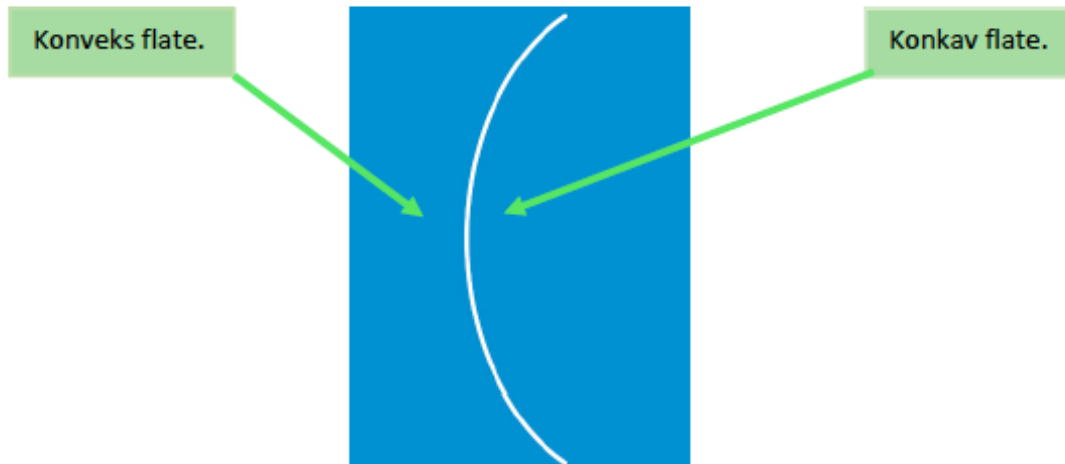
n_b = Brytningsindeksen for et annet stoff

$\sin i$ = Verdi for vinkel i for innfallende stråle i forhold til innfallsloddet

$\sin b$ = Verdi for vinkel i for brutt stråle i forhold til innfallsloddet

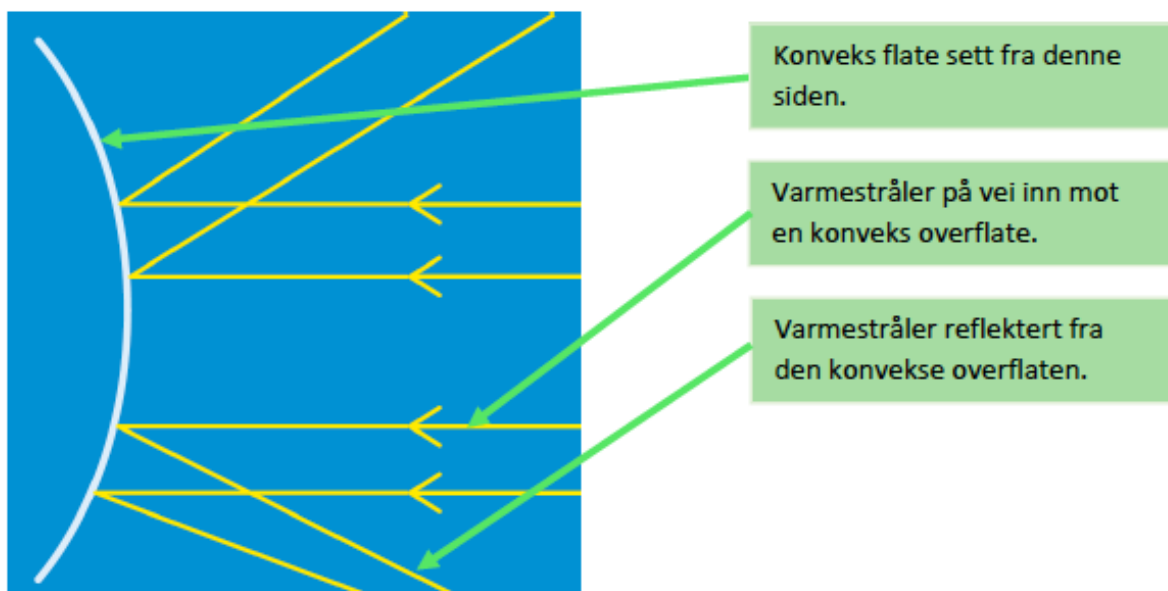
2.4.2 Stråling i konvekse og konkave flater

Konvekse og konkave overflater dannes ved at en krum flate har to sider, en konveks og en konkav. Solstrålene vil reflekteres og enten samle eller spre seg, alt ettersom hvilken side av den krumme flaten de treffer [2]. Dette er vist i Figur 6.



Figur 6 Krum overflate med en konveks og en konkav side [2]

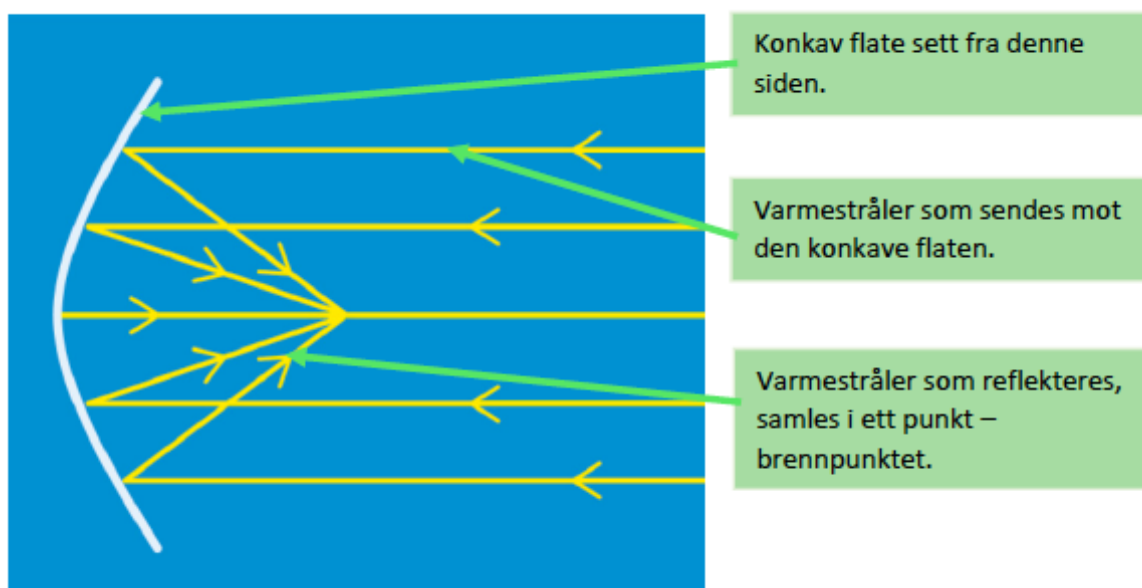
Stråler som treffer en konveks overflate, slik som for eksempel på baksiden av en spiseskje eller i et konvekst speil i butikker eller i veikryss, blir spredd vekk fra flaten. Dette fører til at refleksjonen skaper et bilde av et større område ettersom flere stråler blir fanget opp i den konvekse flaten [57]. Refleksjonen av strålene blir vist i Figur 7.



Figur 7 Illustrasjon av stråler som treffer en konveks flate [2]

Ved innstråling på en konkav flate vil strålene kunne samle seg til et punkt hvor energien vil konsentreres og temperaturen forhøyes. Jo mindre areal innstråling konsentreres på, jo høyere blir temperaturen i punktet [2]. Konkave flater, som for eksempel inni en spiseskje eller i et sminkespeil, vil forstørre bildet. Dette kommer av at strålene blir fokusert på et lite område. I en parabolantenne benyttes parabolspiegel til å fange opp radiosignaler, og også her utnyttes det samme prinsippet med fokusering av innstrålingen [57].

Egenskapene til en konkav overflate har mye å si på evnen til å reflektere varmestrålene. Det er blanke, polerte og finslipte overflater som vil kunne reflektere lys på best måte. Derimot har overflater som er matte, røe eller er fargede dårligere egenskaper til å reflektere lys [58]. Innstrålingen og refleksjonen i en konkav overflate blir vist i Figur 8.



Figur 8 Illustrasjon av stråler som treffer en konkav flate [2]

2.4.3 Antennelse som følge av optisk fenomen

En antennelse vil kunne oppstå ved optisk fenomen gjennom en konveks linse eller ved refleksjon i en konkav flate, både inne og ute. Dette kommer av at energimengden blir så stor i brennpunktet hvor strålene samles, at temperaturen overstiger materialets spontanantennelsestemperatur. I følge Kirk's Fire Investigation vil optisk fenomen som dannes ved refleksjon i konkave flater eller gjennom konvekse linser, kunne samle en energimengde mellom 10 til 20 kW/m² i brennpunktet på en klar og solfylt dag. Dette kan være nok til at en antennelse oppstår [28]. Varmestråling på 20 kW/m² eller mer, er en typisk verdi på strålefluks fra røyklaget i taket til gulvflaten, i en overtennings situasjon i et rom. Temperaturen til røyklaget overstiger 600 °C ved denne fasen. Overtenningsfasen kjennetegnes ved at alle brennbare flater, inkludert røyklaget, antenner samtidig [7]. Dette betyr at materialer kan spontanantenne ved denne varmestrålingen og temperaturøkningen. Ut fra Tabell 1 kan man lese at blant annet tre og papir vil kunne spontanantenne ved temperaturer langt under 600 °C. Bomull spontanantenner ved 230-255 °C [59]. Kritisk varme fluks er strålingsmengde per areal som er sterk nok til at materialer kan spontanantenne. Avispapir vil spontanantenne ved en varme fluks på 25 kW/m² [60]. Treverk og andre

celluloseprodukter vil spontanantenne ved varmestråling mellom 10-30 kW/m², mens for polyetylen, som er den vanligste typen plast, vil den kritiske varmefluksen være mellom 13-15 kW/m². Polyester, som brukes i klær og tekstiler, vil kunne spontanantenne ved en varmefluks mellom 10-15 kW/m² [61].

Ved å studere observerte effekter av varmestråling som er presentert i Tabell 5, får man et innblikk i hvilken grad energimengden i brennpunktet har potensial til å både kunne antenne materialer og påvirke mennesker over tid.

Tabell 5 Effekter av varmestråling [25]

Varmestrålingsfluks [kW/m ²]	Observert effekt
0,67	Varmestråling fra solen om sommeren
1	Maksimum tålegrense for varmestråling ved uendelig lang eksponering
6,4	Smerter etter 8 sekunders eksponering på hud
10,4	Smerter etter 3 sekunders eksponering på hud
12,5	Gasser fra treverk kan antennes med en tennkilde etter lang tids eksponering for varmestråling
16	Blemmer på huden etter 5 sekunders eksponering
29	Treverk spontanantenner ved lang tids eksponering for varmestråling
52	Trefiberplater antenner etter 5 sekunders eksponering

Tiden til antennelse i et termisk tykt materiale, også kalt semi-uendelig, kan beregnes ved å benytte Formel 7 [25].

$$t_{\text{Spontanantennelse}} = \frac{\pi}{4} k\rho c \frac{(T_{\text{Spontanantennelse}} - T_0)^2}{\dot{Q}_R''^2} \quad (7)$$

Hvor:

$k\rho c$ = Termisk treghet [W²·s/m⁴K²]

$T_{\text{Spontanantennelse}}$ = Spontanantennelsestemperatur [K]

T_0 = Omgivelsestemperatur [K]

$\dot{Q}_R''^2$ = Konstant varmestråling [W/m²]

For å beregne tiden til antennelse i et termisk tynt materiale kan Formel 8 benyttes [25].

$$t_{\text{Spontanantennelse}} = \frac{\tau\rho c}{2h} \ln\left(\frac{T_\infty - T_0}{T_\infty - T_{\text{Spontanantennelse}}}\right) \quad (8)$$

Hvor:

τ = Materialets tykkelse [m]

ρ = Materialets tetthet [kg/m³]

c = Spesifikk varmekapasitet [J/kgK]

h = Varmeoverføringskoeffisient, også kalt konveksjonsfaktor [W/m²K]

T_{∞} = Temperaturen materialet kan oppnå ved gitte kriterier [K]

T_0 = Omgivelsestemperatur [K]

$T_{Spontanantennelse}$ = Spontanantennelsestemperaturen [K]

Det er andre faktorer som også vil kunne påvirke sannsynligheten for antennelse ved optisk fenomen. Noen av faktorene kan være årstid og andre klimaforhold som tørke og luftfuktighet, brennbart materiale og tilstrekkelig tilgang på oksygen. For eksempel vil værforhold være en viktig faktor med tanke på sannsynligheten for antennelse. Om sommeren med klar sol, tørt og varmt klima, vil det være større fare for skogbrann. Antennelse kan i verste fall oppstå ved tørr skogbunn som følge av brennglasseffekt gjennom en knust glassflaske [62].

3. Metode

I dette prosjektet er det hovedsakelig blitt gjennomført litteraturstudier, håndberegninger, innhenting av data, utforming av statistikk samt praktiske forsøk.

3.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie ble gjennomført i starten av prosjektet. Hensikten var å tilegne seg relevant kunnskap rundt oppgavens innhold. Det er gjennomgått og studert både fagbøker, vitenskapelige artikler og rapporter, masteroppgaver og websider. Det er blitt benyttet søkeord som blant annet: brennglasseffekt, brennpunkt, optisk fenomen, konvekse linser, konkave flater, stråling fra solen, varmestråling, spontanantennelse med mer. Ved å tilegne seg god forståelse for det branntekniske som skjer ved optisk fenomen i linser eller flater, i forkant av oppgaveskrivingen, ville det føre til effektivisering av det videre arbeidet med prosjektet. Dette har betydd mye for utviklingen i tillegg til å øke den faglige kvaliteten på oppgaven.

3.1.1 Kildekritikk

Det er viktig å være kritisk til kilder som blir brukt i denne rapporten. Når en gjør et litteratursøk må kilden bli vurdert etter kriterier som relevans, pålitelighet og validitet. Alle kilder som blir anvendt i en rapport må derfor bli vurdert og karakterisert for å undersøke om kildene er sanne [63].

3.2 Håndberegninger

Beregninger ble utført som en viktig del av den kvantitative tilnærmingen til oppgaven. Det er ikke blitt gjennomført en slik tilnærming til problemstillingen i studentoppgaver tidligere, så det ble en åpenbar del av dette prosjektet. Forskjellige beregningseksempler har blitt utarbeidet med hensikt å sammenligne med faktiske målte verdier samt estimerte verdier. Det er hovedsakelig Stefan-Boltzmanns lov om varmestråling som er benyttet for å beregne varmestrålingsmengde i brennpunktet, som dannes av konvekse linser eller konkave flater. Matematiske formler er hentet fra Dougal Drysdale's bok «Introduction to Fire Dynamics» og «Solar Engineering of Thermal Processes» av John A. Duffie og William A. Beckman.

Reduksjonsfaktor som ble benyttet under håndberegningene ble funnet ved forsøk, hvor forholdet mellom strålefluks i brennpunkt gjennom vase og forstørrelsesglass ble funnet. Se Vedlegg B – Beregning av reduksjonsfaktor k , for å se hvordan denne ble estimert.

3.2.1 Feilkilder

Forenklinger av avanserte matematiske formler relatert til optisk fenomen og stråling fra solen, kan sørge for at beregninger vil være noe fravikende fra beregninger med korrekte matematiske modeller. I tillegg har det blitt brukt svært konservative verdier med fokus på verste scenario som kan inntreffe, noe som også kan føre til en feilmargin i beregningene.

3.3 Forsøk

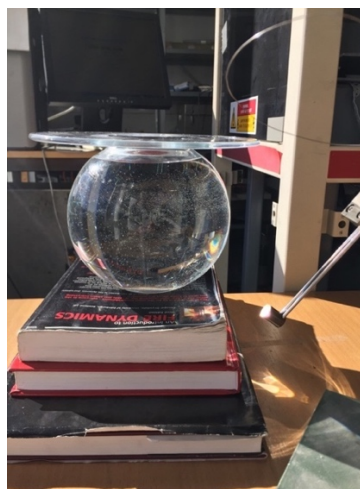
Forsøk har blitt gjennomført for i større grad å kvantifisere det som skjer ved antennelse som følge av optisk fenomen. Valg av testgjenstander og utstyr har sitt grunnlag i arbeidet til sivilingeniør Thor Kristian Adolfsen, som er tidligere ansatt i Brannvernforeningen. Adolfsen lanserte brannetterforskningsstudiet «Etterforskning av branner med optiske fenomen som årsak» i 2018.

Forsøk ble gjennomført ved å måle varmestråling i brennpunktet som ble dannet av ulike gjenstander. Gjenstandene som ble benyttet var en kuleformet vase («Boblen» av Finn Schjøll), en rund vannkaraffel, et relativt sfærisk vinglass og et sminkespeil. Se alle gjenstandene i Figur 9.



Figur 9 Konvekse og konkave gjenstander som ble benyttet under forsøk

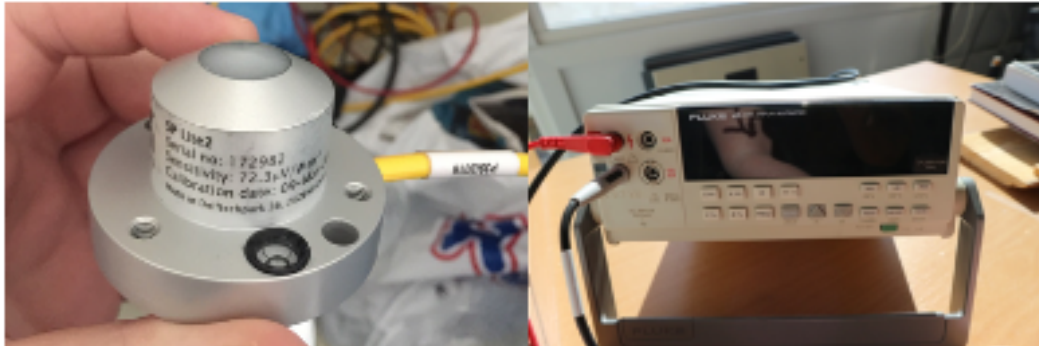
De konvekse gjenstandene dannet ikke brennpunkt uten at de var fylt med vann, det var da de fungerte som konvekse linser. Se i Vedlegg C – Konsentrering av solstråling i konveks linse, for å se bilder av forskjellen på konsentrering av solstrålingen. Strålingen i punktet ble målt med en fluksmåler som tilhørte et kalorimeter, ved Høgskulen på Vestlandet. Oppsett av forsøk blir vist i Figur 10.



Figur 10 Oppsett med fluksmåler tilhørende kalorimeter

Temperaturen i brennpunktet ble målt med et termoelement koblet til en termometer. I tillegg ble globalstråling målt med et pyranometer kalt SP Lite2, koblet til et multimeter,

Fluke 45, som målte energimengde i millivolt (mV). Sistnevnte måleinstrumenter kan du se bilder av i Figur 11.



Figur 11 Pyranometer SP Lite2 og multimeter Fluke 45

I tillegg til å utføre praktiske forsøk innendørs har det blitt utført jevnlige målinger med pyranometer SP Lite2 utendørs, for å måle globalstråling. Hensikten med å måle denne strålingen var å undersøke nærmere om man nærmet seg samme grense for kritisk stråling, som er blitt benyttet ved utarbeidelse av statistikk basert på datamålinger fra strålingsobservatoriet ved Universitetet i Bergen, samt estimeringer fra PVGIS modell. Etersom det kun finnes ett pyrhelimeter som måler direkte solstråling i Norge, ved Universitetet i Bergen, ble det vanskelig å benytte et slikt måleinstrument for å måle den direkte solstrålingen, underveis i prosjektet. På grunn av dette ble pyranometeret brukt for å undersøke om solstrålingen var sterk nok til å kunne antenne avispapir som ble festet i en «solar lighter».

Det ble gjennomført forsøk hvor strålefluks fra «conen» i kalorimeteret skulle stråle konstant på et 10x10 cm prøvestykke, for så å observere når det ble misfarget, begynte å ryke eller antente. Strålefluks ble stilt inn på 45 kW/m². Dette var en verdi basert på energimengde som ble målt i brennpunktet, som oppstod ved solstråling på kulevase. Under forsøket ble det benyttet ulike typer materialprøver av laminatgulv, papp, avispapir og tekstil av bomull (fra sengetøy). Hensikten med forsøket var å kunne bekrefte eller avkrefte om det samme skjedde med avispapiret ved lik styrke på stråling i brennpunktet, som ved stråling fra strålefluks på prøvestykket. Det var også interessant å se hvordan andre materialer ble påvirket av den bestemte strålefluksverdien.

Kalorimeter defineres ifølge Kollegiet for brannfaglig terminologi (KBT) som en varmemåler. Den benyttes blant annet til å fastsette et stoffs smeltepunkt, fordampningsvarme eller forbrenningsvarme. Den benyttes også til å finne et materials varmekapasitet [64]. Kalorimeteret som brukes til undervisning og forsøk på Høgskulen på Vestlandet består av en «cone» (kjegle), som bestråler prøvestykker fra flere kanter. Konfigurasjonsfaktoren, faktoren som sier hvor mye stråling som faller på et punkt, er 0,5 ved dette apparatet. Denne faktoren kommer av at prøvestykker mottar stråling på toppen av overflaten [65]. Både fluksmåler og strålefluks ved dette kalorimeteret ble benyttet under forsøkene.

Pyranometeret SP Lite2 av Kipp & Zonen er et måleinstrument som måler globalstråling. Dette er et lite, men effektivt apparat med sensor som har kjapp responstid. Sensoren på måleinstrumentet mottar solenergi fra hele halvkulen og produserer en energimengde i volt

(V), som kan bli konvertert til watt per kvadratmeter (W/m^2) [66]. Sensitiviteten til pyranometeret som ble brukt i denne rapporten var på $72,3 \mu V/W \cdot m^{-2}$, og dato for kalibrering var 09. mars 2013. Pyranometeret kan benyttes i alle typer vær, men i denne oppgaven var det kun bruk ved sol som var aktuelt.

3.3.1 Feilkilder

En feilkilde ved utførelse av forsøk kan være at det mest konsentrerte punktet med stråling ikke ble fokusert på fluksmåler. En annen feilkilde kan være at utstyr ble uheldig berørt eller flyttet på slik at målinger ikke ble optimale. Videre var fluksmåler som ble plassert i brennpunktet, kalibrert etter stråling med annen bølgelengde enn solstråling. Dette kan derfor også føre til ukorrekte målinger.

Ved testing med sminkespeil var det utfordrende å få et minst mulig brennpunkt ved refleksjon, på grunn av at brennpunktet ble mest konsentrert når speilet pekte direkte mot solen. Strålefluksmåleren kunne heller ikke flyttes så langt bort fra kalorimeteret. Dette gjorde at det ble utfordrende å få målt når energimengden var størst i samlepunktet. På bakgrunn av dette kan målingen av strålefluks i brennpunktet være noe lave enn realistiske målinger.

3.4 Målte data og estimerte verdier

På bakgrunn av målet om en kvantitativ tilnærming til temaet i rapporten, ble det innhentet målte data fra strålingsobservatoriet Florida, ved Universitetet i Bergen. Se Figur 12 for å se hvordan pyrhelimeteret til strålingsobservatoriet ser ut. Videre ble estimerte data fra en modell basert på satellittmålinger, PVGIS, innhentet for å sammenligne med de målte verdiene fra strålingsobservatoriet. Etter å ha samlet både målte og estimerte data, har det blitt utformet månedlig statistikk over hvor mange timer direkte stråling over kritisk strålegrense på $120 W/m^2$, som har inntruffet og vil inntreffe månedlig i løpet av et år [67]. De månedlige statistikkene er fremvist i diagram som har blitt utarbeidet i Excel.



Figur 12 Pyrhelimeter på taket av Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen [68]

Hensikten med å innhente data for å lage månedlige statistikkmodeller var å kunne kartlegge månedlig risiko for eventuell brann som følge av optisk fenomen, med fokus på solstrålingen. Ved å sammenligne målte og estimerte verdier kunne man også validere om det er godt nok å benytte PVGIS modell for direkte solstråling, ved kartlegging av fremtidig risiko for brann som følge av optisk fenomen.

Et pyrhelimeter er et måleinstrument som måler direkte solstråling. På måleinstrumentet er det en svartmalt føler (termosøyle), som også blir kalt en «tracker». Denne peker mot solen hele tiden og absorberer strålingen [5]. Termosøylen går i hvileposisjon når solen går ned og vil starte å peke mot solen neste morgen ved soloppgang. Måleren i pyrhelimeteret ved Universitetet i Bergen vil bruke opptil tre forsøk på å starte, og hvis ikke den klarer det vil den holde seg i hvileposisjon³.

PVGIS er en forkortelse for «Photovoltaic Geographical Information System». PVGIS er Europakommisjonens solinnstrålingsdatabase, som får inn data fra både værstasjoner og satellitmålinger. Kalkuleringsverktøyet er en estimeringsmodell som simulerer verdier basert på satellitmålinger over mer enn 10 år. I modellen kan man manuelt stille inn lengde- og breddegrader til akkurat den posisjonen man vil være i [69]. Posisjonen til pyrhelimeteret i Bergen ble dermed funnet i Google sin kartfunksjon, Google Maps, og lagt inn i PVGIS modell.

3.4.1 Feilkilder

Måleren på pyrhelimeteret skal følge solen hele tiden og kontinuerlig gi strålingsdata. Hvis det har vært tyngre værforhold som vind og regn har det vist seg at tracker ikke har flyttet seg fra hvileposisjon, selv etter tre forsøk på å starte. Ettersom den må peke mot solen for å måle direkte stråling, har måler dermed ikke funnet den i noen perioder. Når måleren har blitt stående i hvileposisjon må den manuelt startes ved at strøm kobles fra og kobles til igjen. Den har stanset hyppigst om høsten og vinteren og mindre hyppig om sommeren. Globalstråling har man kontinuerlige målinger av, mens av diffus og direkte stråling har man kun periodevis med kontinuerlige målinger. Som en konsekvens av dette vil det være manglende data i perioder på høsten og vinteren 2018. Likevel skal målingene være rimelig pålitelige i perioden fra 11.05.2018 til 15.08.2018³.

³ Telefonsamtale med Jan Asle Olseth, professor ved Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen

4. Resultater

4.1 Håndberegninger

I dette avsnittet blir diverse regneeksempler på det brann-dynamiske som skjer ved antennelse som følge av optisk fenomen, presentert. Det er blitt benyttet forenklede beregningsmetoder og konservative verdier i håndberegningene. Varmetap i form av varmeledning og konveksjon er ikke tatt med i beregningene.

Eksempel 1

Først ser man på et eksempel med bruk av et 10x10 cm forstørrelsesglass. Arealet til forstørrelsesglasset er 100 cm². Dette er 1/100 av 1 m². På en varm sommerdag kan jordens direkte innstråling fra solen ligge rundt 1 kW/m².

i) Hvor mye strålingsenergi treffer forstørrelsesglasset?

Man kan finne ut hvor mye energi som treffer forstørrelsesglassets overflate ved å bruke Formel 9:

$$\dot{q} = \frac{\dot{q}''_{tot}}{A_{Forstørrelsesglass}} \quad (9)$$

$$\dot{q} = \dot{q} = \frac{1000 \text{ W/m}^2}{0,1 \text{ m}^2} = 10 \text{ W}$$

Det er altså 10 W som treffer forstørrelsesglasset. Hensikten med forstørrelsesglasset er å fokusere varmestrålingen til et samlepunkt, også kalt brennpunkt. Her blir det antatt et punkt på 1 mm². Den totale varmestrålingen som samles i et brennpunkt på 1 mm² blir da 10 W/mm². Dette er det samme som 10 kW/m².

ii) Hva blir temperaturen i brennpunktet som forstørrelsesglasset danner?

I dette eksempelet er det en trekubbe som bestråles. Ut fra Tabell 3 ser man at eik og furu har absorberingsevne for solstråling på 0,35 og 0,6. Det antas at trekubben er av furu i dette eksempelet. Etersom trekubben antennes ute i det fri, benyttes det en verdi for T_0 som innen fysikken blir kalt jordens svartstrålingstemperatur og har en verdi på 250 K (-23 °C) [70].

For å finne temperaturen i brennpunktet må man først sette opp varmebalanse for strålemengden som treffer trekubben i brennpunktet. Formel 2 blir benyttet i denne sammenheng. T_1 er det samme som $T_{Brennpunkt}$ for temperaturen som oppnås i brennpunktet.

$$\dot{q}'' = \alpha\sigma(T_1^4 - T_0^4) \quad (2)$$

$$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \quad [25]$$

$$10\,000 \text{ W/m}^2 = \alpha\sigma(T_{\text{Brennpunkt}}^4 - T_0^4)$$

$$T_{\text{Brennpunkt}}^4 = \frac{10\,000 \text{ W/m}^2}{\alpha\sigma} + T_0^4$$

$$T_{\text{Brennpunkt}} = \sqrt[4]{\frac{10\,000 \text{ W/m}^2}{\alpha\sigma} + T_0^4}$$

$$T_{\text{Brennpunkt}} = \sqrt[4]{\frac{10\,000 \text{ W/m}^2}{0,60 \cdot (5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)} + (250 \text{ K})^4} = \underline{738,8 \text{ K}}$$

Temperaturen i brennpunktet som forstørrelsesglasset danner beregnes til å kunne oppnå 738,8 K, som er omtrent 465 °C.

iii) Hvor lang tid vil det ta før trekubben vil kunne spontanantenne?

Det tar tid å varme opp trekubben slik at temperaturen overstiger spontanantennelsestemperaturen, som i denne oppgaven antas å ligge rundt 573 K (300 °C). Trekubben regnes for å være et termisk tykt, også kalt semi-uendelig, materiale. Ettersom varmestrålingen er konstant og varmetap til omgivelsene er neglisjert, kan tiden til antennelse finnes ved å bruke Formel 6.

$$t_{\text{Spontanantennelse}} = \frac{\pi}{4} k\rho c \frac{(T_{\text{Spontanantennelse}} - T_0)^2}{\dot{Q}_R^2} \quad (6)$$

$$k\rho c_{\text{Tre}} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ W}^2\text{s/m}^4\text{K}^2 \quad [25]$$

$$t_{\text{Spontanantennelse}} = \frac{\pi}{4} \cdot 2,5 \cdot 10^5 \text{ W}^2\text{s/m}^4\text{K}^2 \frac{(573 \text{ K} - 250 \text{ K})^2}{(1000 \text{ W/m}^2)^2} = \underline{20485 \text{ s}}$$

Etter disse beregningene vil det ta omtrent 5 timer, 41 minutter og 24 sekunder før trekubben vil kunne spontanantenne ved eksponering for en konstant varmestråling på 10 kW/m² i brennpunktet, og uten noen form for varmetap til omgivelsene. Trekubben vil i virkeligheten ikke tatt fyr i en slik situasjon ettersom brennpunktet flytter kontinuerlig på seg med en fart på 0,5 mm/min (se Vedlegg D – Forsøk av forflytningshastighet til brennpunkt for å se hvordan denne hastigheten ble funnet). Det tar dermed for lang tid før trekubben kan spontanantenne som følge av dette.

Eksempel 2

Det dannes et brennpunkt gjennom en blomstervase som treffer en avis som også ligger oppå bordet i en stue. En vase er ikke en «perfekt» konveks linse på samme måte som et

⁴ Termisk treghet for gul furu [25]

forstørrelsesglass, så det er en mindre mengde stråling som samles i brennpunktet. På bakgrunn av dette regner man med en reduksjonsfaktor k i denne sammenheng. Den settes til å være 0,5 og energien som transporteres gjennom vassen antas å ligge rundt 5000 W/m^2 på grunn av denne faktoren ($10\,000 \text{ W/m}^2 \cdot 0,50 = 5000 \text{ W/m}^2$). Se Vedlegg B – Beregning av reduksjonsfaktor k for å se hvordan reduksjonsfaktoren ble funnet. Absorberingsevnen til papir for solstråling finnes i Tabell 3 og ligger rundt 0,3. T_0 i dette eksempelet settes til å være 293 K ($20 \text{ }^\circ\text{C}$), siden antennelsen starter inne i et rom.

i) Hva blir temperaturen i brennpunktet som dannes på avisen på bordet?

Benytter Formel 2, og verdien for T_1 er det samme som $T_{\text{Brennpunkt}}$ for temperaturen som oppnås i brennpunktet.

$$\dot{q}'' = \alpha\sigma(T_1^4 - T_0^4) \quad (2)$$

$$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \quad [25]$$

$$5000 \text{ W/m}^2 = \alpha\sigma(T_{\text{Brennpunkt}}^4 - T_0^4)$$

$$T_{\text{Brennpunkt}}^4 = \frac{5000 \text{ W/m}^2}{\alpha\sigma} + T_0^4$$

$$T_{\text{Brennpunkt}} = \sqrt[4]{\frac{5000 \text{ W/m}^2}{\alpha\sigma} + T_0^4}$$

$$T_{\text{Brennpunkt}} = \sqrt[4]{\frac{5000 \text{ W/m}^2}{0,3 \cdot (5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4)} + (293 \text{ K})^4} = \underline{740,9 \text{ K}}$$

Temperaturen i brennpunktet som vassen danner beregnes til å kunne oppnå $740,9 \text{ K}$, som er omtrent $468 \text{ }^\circ\text{C}$.

ii) Hvor lang tid vil det ta før avisen vil kunne spontanantenne?

Avisen er $0,5 \text{ cm}$ tykk. Spontanantennelsestemperaturen til avisen antas å ligge rundt 523 K ($250 \text{ }^\circ\text{C}$). Avisen må varmes opp før den får høy nok temperatur i brennpunktet til å kunne antenne. For å beregne tiden til at avisen spontanantenner i dette eksemplet, antas den å være et termisk tynt materiale og Formel 7 kan benyttes.

$$t_{\text{Spontanantennelse}} = \frac{\tau\rho c}{2h} \ln\left(\frac{T_\infty - T_0}{T_\infty - T_{\text{Spontanantennelse}}}\right) \quad (7)$$

$$\rho_{\text{Avispapir}} = 125 \text{ kg/m}^3 \quad [71]$$

$$c_{\text{Avispapir}} = 1600 \text{ J/kgK} \quad [72]$$

$$h = 10 \text{ W/m}^2\text{K} \quad [40]$$

$$t_{\text{spontanantennelse}} = \frac{0,005 \text{ m} \cdot 125 \text{ kg/m}^3 \cdot 1600 \text{ J/kgK}}{2 \cdot 10 \text{ W/m}^2\text{K}} \ln \left(\frac{740,9 \text{ K} - 293 \text{ K}}{740,9 \text{ K} - 523 \text{ K}} \right) = 36 \text{ s}$$

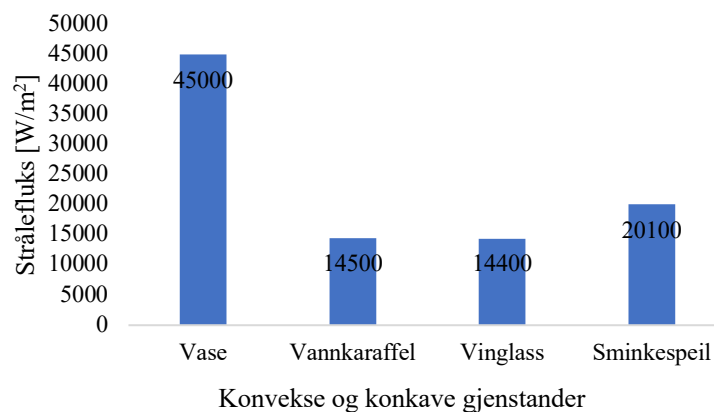
I dette eksempelet vil avisen kunne spontanantenne etter 36 sekunder ved eksponering for konstant varmestråling på 5 kW/m^2 i brennpunktet, og uten noe varmetap til omgivelsene.

4.2 Forsøk

Det har blitt gjennomført forsøk med hovedsakelig solen som strålingskilde, men noen forsøk med strålefluks som strålingskilde har også blitt utført. I dette kapitlet skal resultatene fra forsøkene bli presentert.

4.2.1 Praktiske forsøk med solstråling

Etter å ha satt opp utstyr ble forsøk gjennomført. Det ble målt en globalstråling på omtrent 420 W/m^2 inne i forsøksrommet denne dagen. Både målte verdier og bilder som ble tatt underveis i testingen kan finnes i Vedlegg E – Resultater og bilder fra forsøk med solstråling. Resultatene av målt strålefluks i brennpunkt er fremstilt i Figur 13.



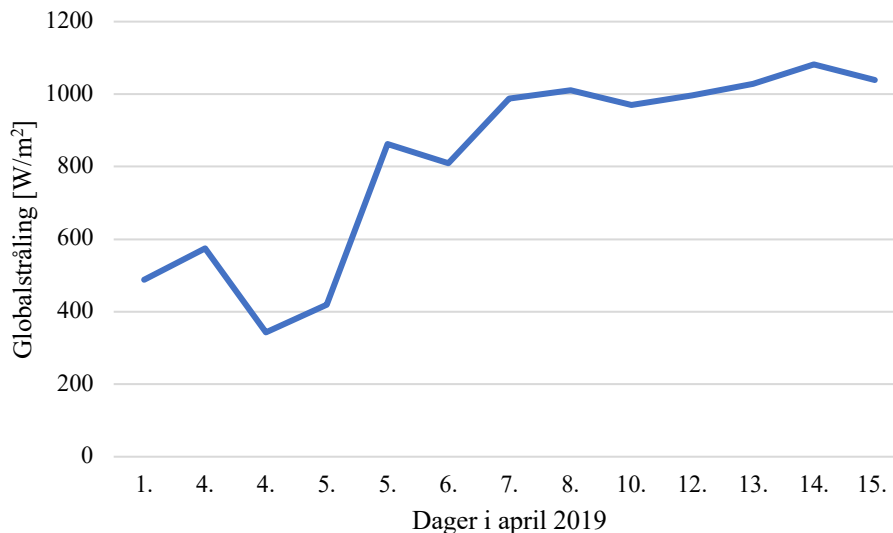
Figur 13 Resultater fra forsøk med strålefluksmåler i brennpunkt dannet av ulike gjenstander

4.2.2 Målinger av globalstråling og antennelse av avispapir

Etter å ha målt globalstråling ved ulike dager med sol i april 2019 og undersøkt om avispapir festet i en miniatyr parabollinse antenne, ble det laget en oversikt over verdiene. Verdiene som ble målt med multimeter Fluke 45, ble målt i $\mu\text{V/Wm}^2$ og disse ble konvertert til W/m^2 . Både

⁵ I følge J. P. Holman skal man bruke en varmeoverføringskoeffisient på $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ dersom man ikke har annen informasjon [40]

utregninger og bilde fra forsøket kan finnes i Vedlegg F – Målinger med pyranometer SP Lite2. Resultatene fra målingene er blitt presentert i Figur 14.



Figur 14 Målinger av globalstråling ved ulike dager i april 2019

4.2.3 Praktiske forsøk med strålefluks

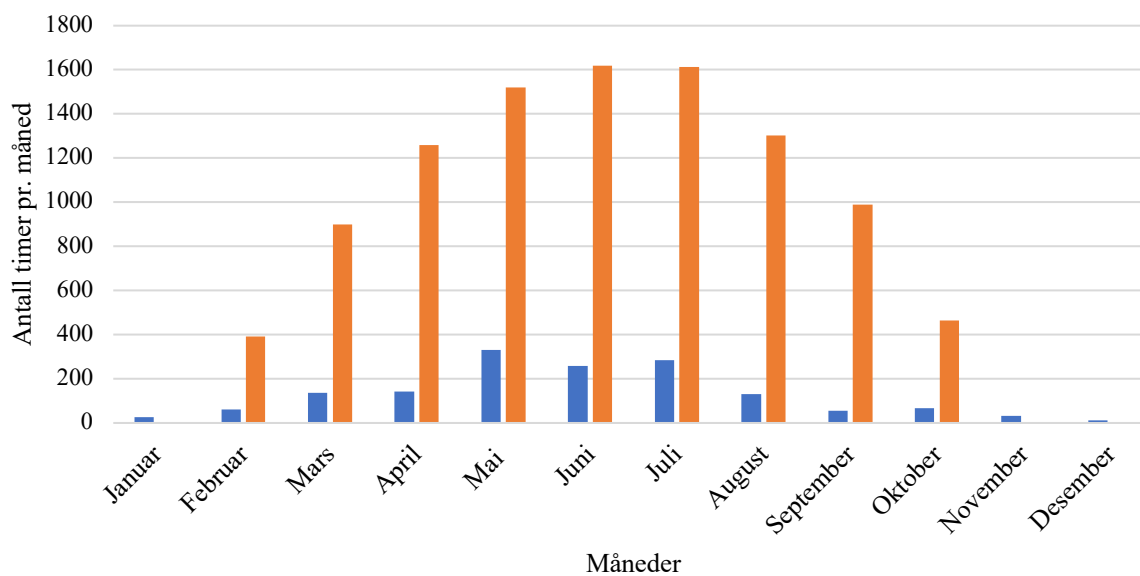
I Tabell 6 blir observerte effekter etter eksponering for konstant strålefluks på 45 kW/m^2 på de ulike prøvestykkene, presentert. Bilder fra forsøkene ligger i Vedlegg G – Bilder fra forsøk med strålefluks.

Tabell 6 Observerte effekter av prøvestykker som har blitt eksponert for konstant strålefluks på 45 kW/m^2

Materiale prøvestykke	Observert effekt
Laminatgulv	Ble misfarget etter 30 sekunder og begynte å avgi røyk etter 1 minutt
Papp	Begynte å avgi røyk etter 5 sekunder og antente etter 8-9 sekunder
Avispapir	Begynte å avgi røyk umiddelbart ved eksponering for strålefluks og antente etter 2-3 sekunder
Bomulltekstil	Begynte å avgi røyk etter 6 sekunder og antente etter 20 sekunder

4.3 Datamålinger og simulerte verdier

I følgende avsnitt blir verdier for antall timer med direkte solstråling, som er innhentet fra Florida, strålingsobservatoriet i Bergen, og fra PVGIS modell, presentert. Antall timer med direkte stråling begrenses til antall timer direkte solstråling som overskrider kritisk strålingsgrense på 120 W/m^2 [67]. Disse fremvises i Figur 15. Rådata til Figur 15 finnes i Vedlegg H – Antall timer over kritisk strålingsgrense.



- Data fra pyrheliometer ved strålingsobservatoriet i Universitetet i Bergen for 2018
- PVGIS modell basert på satelittmålinger over 10 år

Figur 15 Antall timer direkte stråling fra solen over grense for kritisk stråling på 120 W/m^2

5. Diskusjon og vurdering av resultater

I denne rapporten vil vurderingen av risiko for brann som følge av optisk fenomen ha sitt grunnlag i resultater fra håndberegninger, praktiske forsøk og datamålinger av solstyrke. Resultatene fra de forskjellige metodene vurderes og sammenlignes med hverandre, slik at man kan kartlegge risikoen for brann som følge av dette fenomenet i Norge.

5.1 Håndberegninger

Ved håndberegninger kom det frem at temperaturen både trekubbe og avispapir vil oppnå ved optisk fenomen i forstørrelsesglass eller blomstervase vil være lik, selv om blomstervasen i disse eksemplene vil samle halvparten så mye energi fra solen som forstørrelsesglasset. Ved stråling gjennom forstørrelsesglass på en trekubbe ble det estimert en temperatur på rundt 465 °C, mens ved stråling gjennom blomstervase på en avis ble det beregnet en temperatur på omtrent 468 °C. Dette vil nok være et realistisk resultat ettersom forstørrelsesglasset fungerer som en nærmest «perfekt» linse og konsentrerer all stråling i et brennpunkt, bortsett fra en liten strålemengde som reflekteres bort fra glassoverflaten. Verdiene som kom fram ved beregningene er antakeligvis noe forhøyet ettersom alt varmetap er neglisjert, i tillegg til at det er brukt svært konservative verdier ved utregningene.

Tiden til antennelse ble estimert til å være 5 timer, 41 minutter og 24 sekunder for eksempelet med forstørrelsesglass og trekubbe, mens det ble estimert at avispapiret ville antenne etter 36 sekunder ved brennpunkt som følge av solstråling på blomstervasen, i det andre eksempelet. Årsaken til at det er stor forskjell i resultatene er først og fremst at trekubben beregnes som et termisk tykt materiale, mens avispapiret beregnes som et termisk tynt materiale. Begge resultatene virker noe realistiske sammenlignet med hva som skjer i virkeligheten. I realiteten vil ikke trekubben kunne ta fyr under en slik situasjon, som ved det første eksempelet. Dette kommer av at brennpunktet beveger seg kontinuerlig med en hastighet på 0,5 mm/min, og vil da ikke holde seg i samme punkt i over 5 timer. Vedlegg D – Forsøk av forflytningshastighet til brennpunkt, viser hvordan denne hastigheten ble funnet. Det vil være annerledes om den konvekse linsen eller konkave flaten blir styrt slik at den står normalt mot solen. Da vil man kunne styre innstrålingen slik at brennpunktet ville blitt fokusert på samme sted over lengre tid.

I det andre eksempelet hvor en avis skal bli antent, beregnes tiden til spontanantennelse med grunnlag i at avisen antas for å være en solid papirgjenstand, uten luft mellom arkene. I realiteten består en avis av flere tynne ark stablet oppå hverandre, noe som sørger for at mer varme blir absorbert, og i en virkelig situasjon ville det derfor gjerne tatt enda kortere tid enn 36 sekunder, før avisen vil kunne spontanantenne. Resultater fra forsøk med blomstervasen vil man finne i Vedlegg E – Resultater og bilder fra forsøk med solstråling. Da vil man se at det brant hull i avisen ved eksponering for solstråling i omtrent 30 sekunder. Med tanke på trekubben vil treets fuktinnhold og tykkelse ha mye å si på hvor lang tid det vil ta før den vil kunne antenne. Tiden til antennelse i det første eksempelet vil dermed variere med størrelsen på trekubben. Samtidig har også solstyrke mye å si og det er ikke avgjort at solen stråler med like stor styrke hver dag. Begge eksempler har blitt utregnet med svært konservative verdier og med et «worst-case»-fokus. Om disse resultatene i det hele tatt vil være reelle i Norge vil være avhengig av om solen stråler med en styrke på rundt 1 kW/m². Dersom solen stråler med

en lavere styrke vil det således ta lenger tid før materialer kan ta fyr og faren for brann reduseres.

5.2 Forsøk

I forhold til verdier hentet fra litteraturen, hvor det er kjent at konvekse linser eller konkave flater kan skape brennpunkt som kan samle energimengder mellom 10 til 20 kW/m², vil verdiene fra forsøk med strålefluks og solstråling være noe forhøyet. Det er blitt nevnt at en feilkilde ved denne prøvetakingen vil være at fluksmåler som er koblet til kalorimeter, er kalibrert til en annen bølgelengde enn til solstråling. Mest antakeligvis er det dette som har skjedd under forsøkene, og samtlige målte verdier i Figur 13 vil være høyere enn hva de i teorien skulle vært. Videre kan man bemerke seg at målt strålemengde i brennpunkt ved kuleformet vase er mer enn dobbelt så stor som ved brennpunktet ved sminkespeil. Dette stemmer antakeligvis ikke helt da det var utfordrende å utføre forsøk med speilet på grunn av vinkelen til solen. Dette kan bekreftes ved å teste temperaturen i punktet ved å holde en hånd i brennpunktet som ble dannet ved refleksjon i sminkespeilet, når det pekte direkte mot solen. Det var umulig å holde hånden i punktet lenger enn 10 sekunder. Dette kom nok av at brennpunktet som ble dannet var mindre og mer konsentrert, når speilet pekte rett mot solen. Videre er det viktig å nevne at den ene siden av sminkespeilet har en dobbel forstørrelseseffekt, og det var denne siden som ble benyttet under forsøk. Man kunne derfor antatt at det ble mer stråling i brennpunktet som ble dannet ved speilet, i forhold til den kuleformede blomstervasen, på bakgrunn av dette.

Når det ble målt globalstråling ved flere solfylte dager i april 2019, ble det også undersøkt om avispapir koblet til en miniatyr parabollinse antente. Ved samtlige målinger av globalstråling som er presentert i Figur 14, tok avispapiret fyr. Verdiene ligger over den kritiske grenseverdien for stråling på 120 W/m², som ble anvendt ved utforming av statistikk basert på datamålinger i Figur 15, men grenseverdien gjelder egentlig for direkte solstråling. Globalstråling er alltid litt høyere enn den direkte strålingen. Dermed vil den kritiske verdien for globalstråling være høyere enn 120 W/m². Likevel er alle målinger såpass høye at de mest sannsynlig vil være høyere enn kritisk grenseverdi for globalstråling.

Ved målinger med konstant stråling på ulike typer prøvestykker i kalorimeteret, ble strålefluksen valgt til å være 45 kW/m². Årsaken til dette var at det var den høyeste målte verdien for strålefluks i brennpunkt ved tidligere forsøk. Også ved dette forsøket var det fokus på verst tenkelige scenario, dermed ble denne verdien valgt. Det var interessant å se hva som kunne skje ved konstant strålefluks på ulike typer materialer, for det er i prinsippet det samme som kan skje i et brennpunkt som dannes ved optisk fenomen, ved stråling gjennom en kuleformet vase. Alle prøvestykkene var 10x10 cm store og dermed ble et mye større areal av materialene eksponert for stråling ved konstant strålefluks, i forhold til i brennpunktet som dannes ved optisk fenomen. Med bakgrunn i ulike størrelser på områder på materialene som ble eksponert for stråling, var mest sannsynlig effekten av strålingen størst ved innstilt konstant strålefluks. Med dette menes det effekt i form av mengde røyk, størrelse på flamme og hastigheten på brannutviklingen. De observerte effektene av de ulike materialprøvene som ble konstant bestrålt med en effekt på 45 kW/m², var ulike. Dette kommer nok blant annet av at alle materialene har ulike typer varmeledningsevne, spesifikk varmekapasitet, absorberingsevne og ulik porøsitet. Laminatgulv antente ikke ved den bestemte strålemengden, mens avispapiret antente nesten umiddelbart ved eksponering for

strålefluksen. Både papp og tekstil av bomull antente litt senere enn avisepapir i eksponeringen for stråling, men vil likevel kunne bidra til en potensiell brannstart, dersom slike materialer ville blitt eksponert for stråling på 45 kW/m².

5.3 Datamålinger og simulerte verdier

Resultatene i Figur 15 viser to ganske forskjellige målinger. Forløpene til begge typer datamålinger er noenlunde like ved at antall timer solstråling over kritisk strålingsverdi stiger mot sommerstid, for så å synke ved høsten og vinterstid. De blå søylene representerer målte verdier for 2018 fra strålingsobservatoriet Florida, ved Geofysisk institutt, ved Universitetet i Bergen. De oransje søylene er baserte på satelittmålinger over 10 år fra PVGIS modell. En viktig ulikhet mellom de forskjellige datamålingene er dermed at den ene representerer kun ett år, mens den andre står for et estimat basert på gjennomsnittet av målinger fra over 10 år. Særlig i Norge kan både styrken på solstråling og antall soltimer variere fra år til år, og på grunn av dette vil gjerne ikke resultater fra kun ett år gi et optimalt bilde over hvordan solstyrke og antall soltimer omtrent vil ligge rundt, ved et tilfeldig år. Videre er det viktig å ta med i betraktningen at tracker på pyrheliometer, som måler direkte solstråling, ikke har fungert optimalt i 2018. Resultatene er derfor gjerne sterkt påvirket av dette, noe som vil si at antall soltimer over kritisk strålingsgrense kan derfor være sterkt redusert, i forhold til reelle målte verdier.

5.4 Vurdering av resultater

Etter å ha vurdert og diskutert resultater fra håndberegninger, praktiske forsøk og utforming av statistikk, vil risikoen bli estimert og kartlagt.

5.4.1. Risikovurdering

Basert på resultater fra de ulike metodene som er anvendt i denne rapporten, har det blitt utarbeidet en risikomatrix for å kartlegge risikoen for brann som følge av optisk fenomen. Dette ble gjort som en del av den kvantitative tilnærmingen til oppgaven. Matrisen presenterer uønskede hendelser som antennelse forårsaket av optisk fenomen ved ulike årstider. Årstidene er fordelt slik at våren består av mars, april og mai, sommeren av juni, juli og august, høsten av september, oktober og november, mens vinteren består av desember, januar og februar.

Uønskede hendelser i dette diagrammet er derfor valgt til å være:

- Antennelse oppstår i vårmåneder
- Antennelse oppstår i sommermåneder
- Antennelse oppstår i høstmåneder
- Antennelse oppstår i vintermåneder

Som en viktig del av å kartlegge risikoen må en fastsette sannsynlighet og frekvens. Tabell 7 viser hvordan de uønskede hendelsene har blitt vurdert i denne analysen.

Tabell 7 Klassifisering av sannsynlighet og frekvens [73]


Klasser	Sannsynlighet	Frekvens
1.	Svært lite sannsynlig	Mindre enn 1 gang pr. 1000 år
2.	Lite sannsynlig	1 gang pr. 100 – 1000 år
3.	Sannsynlig	1 gang pr. 10 – 100 år
4.	Ganske sannsynlig	1 gang pr. 1 – 10 år
5.	Svært sannsynlig	Mer enn 1 gang pr. år

Det neste man må gjøre som en del av risikokartleggingen er å bestemme alvorlighetsgrad av konsekvens. Konsekvensene ved de ulike uønskede hendelsene er vurdert opp mot verdier fra Tabell 8.

Tabell 8 Klassifisering av konsekvenser

Konsekvens	Antennelse som følge av optisk fenomen
1. Liten	Ingen brannutvikling
2. Middels	Svimerke på gjenstand
3. Stor	Brann
4. Svært stor	Fullt utviklet rombrann
5. Katastrofal	Brannutvikling til flere rom

Risikobildet av de uønskede hendelsene som blir vurdert i denne rapporten, blir fremstilt i Figur 16 og Figur 17. De er plassert i ulike risikoakseptkategorier som er grønt, gult og rødt område.

 = Grense for lav/akseptabel risiko

 = Grense for middels risiko

 = Grense for høy/uakseptabel risiko

5.4.1.1 Inne i rom

Sannsynligheter for antennelse som følge av optisk fenomen inne i rom, er vurdert til å være litt større på sommertid og på vintertid. Dette kommer blant annet av at det er større antall timer solstråling som er sterk nok til å starte en brann ved optisk fenomen om sommeren enn ved andre øvrige årstider. Som tidligere nevnt er luftfuktigheten lavere og treverk tørrere om vinteren. Dette skaper en større brannfare ettersom de fleste bygninger i Norge er laget som trekonstruksjoner. Sannsynligheten for antennelse som følge fenomenet blir dermed større på vinteren sammenlignet med andre årstider.

Konsekvensene er vurdert til å være like store for samtlige uønskede hendelser. Dette har sin bakgrunn i at dersom de faktisk hadde inntruffet, ville konsekvensen vært lik for alle hendelsene hvis brann hadde oppstått. Konservative verdier er valgt med tanke på verst tenkelige situasjoner som kan inntreffe. De ulike uønskede hendelsene er vurdert og presentert i Tabell 9.

Tabell 9 Kartlegging av risikoen inne i rom

Uønsket hendelse	Sannsynlighet	Konsekvens	Risiko
Antennelse oppstår i vårmåneder	3	3	6
Antennelse oppstår i sommermåneder	4	3	7
Antennelse oppstår i høstmåneder	2	3	5
Antennelse oppstår i vintermåneder	4	3	7

Sannsynlighet \ Konsekvens	1 Svært lite sannsynlig	2 Lite sannsynlig	3 Sannsynlig	4 Ganske sannsynlig	5 Svært sannsynlig
5 Katastrofal					
4 Svært stor					
3 Stor		Antennelse oppstår i høstmåneder	Antennelse oppstår i vårmåneder	Antennelse oppstår i sommermåneder Antennelse oppstår i vintermåneder	
2 Middels					
1 Liten					

Figur 16 Risikomatrix som presenterer risikoen for at antennelse oppstår ved ulike årstider inne i rom

5.4.1.2 Ute i det fri

I likhet med antennelse som følge av optisk fenomen inne i rom, vil sannsynligheten for antennelse ute i det fri være høyere på sommertid på grunn av større antall timer med sterk sol, i forhold til ved andre årstider. Lav luftfuktighet og tørre materialer på vinteren øker sannsynligheten for antennelse som følge av optisk fenomen, ute i det fri også. Videre vil også tilstand på planteveksten ha mye å si for sannsynligheten for antennelse. Ved sen vinter og tidlig vår har ikke planteveksten begynt å blomstre enda, og det er mye tørre elementer i naturen. Sannsynligheten for antennelse ved dette årstidskiftet vil dermed være større enn for

andre, med tanke på materialtilstander. Det er også viktig å nevne at værforhold har mye å si på sannsynligheten for antennelse ute i det fri. Dette kan eksempelvis være faktorer som vind og omgivelsestemperatur.

Konsekvenser er valgt til å være like for alle uønskede hendelser. Disse konsekvensene er svært konservative og er bestemt med fokus på verst tenkelige hendelser som kan inntreffe. De uønskede hendelsene er vurdert og presentert i Tabell 10.

Tabell 10 Kartlegging av risikoen ute i det fri

Uønsket hendelse	Sannsynlighet	Konsekvens	Risiko
Antennelse oppstår i vårmåneder	4	3	7
Antennelse oppstår i sommermåneder	4	3	7
Antennelse oppstår i høstmåneder	2	3	5
Antennelse oppstår i vintermåneder	4	3	7

Sannsynlighet \ Konsekvens	1 Svært lite sannsynlig	2 Lite sannsynlig	3 Sannsynlig	4 Ganske sannsynlig	5 Svært sannsynlig
5 Katastrofal					
4 Svært stor					
3 Stor		Antennelse oppstår i høstmåneder		Antennelse oppstår i vårmåneder Antennelse oppstår i sommermåneder Antennelse oppstår i vintermåneder	
2 Middels					
1 Liten					

Figur 17 Risikomatrix som presenterer risikoen for at antennelse oppstår ved ulike årstider ute i det fri

6. Konklusjon

Etter å ha utført forsøk med glassgjenstander av ulike former fylt med vann, kan det konkluderes med at det blir sterkere stråling og mer temperaturøkning i brennpunktet som dannes ved solstråling gjennom kuleformede gjenstander, enn ikke-kuleformede gjenstander. Med andre ord; jo mer sfærisk utformet linsen er, jo mer stråling blir konsentrert i et punkt. Det kan også konkluderes med at brennpunkt dannes kun ved stråling på kuleformede gjenstander hvis de er fylt med vann og ikke er tomme. Det har også vist seg at mye av strålingen som reflekteres i en konkav flate samles i brennpunktet og skaper stor temperaturøkning.

Dersom materialer utsettes for stråling på 45 kW/m^2 , slik som det er bevist med praktiske forsøk kan skje ved optisk fenomen, vil dette ha stor påvirkning på materialet. Det er blitt bevist ved forsøk at denne styrken på stråling vil være nok til å kunne antenne ulike typer materialer. Hvilken grad et materiale kan bli påvirket av strålingen og hvor stor faren for utvikling av brann som en konsekvens av strålingen, vil være meget avhengig av hvilken type materiale som bestråles, tilgang på oksygen og brennbare materialer i nærheten. Disse faktorene er også viktige med tanke på brannspredning. Det er stor forskjell på hvor brennbart et materiale er, og dette er derfor direkte koblet til faren for utvikling av brann som følge av optisk fenomen.

Utformingen av statistiske målinger har blitt basert på to ulike typer målinger. Det oppsummeres med at det vil være gunstigere å kartlegge risiko for brann som følge av optisk fenomen i Norge, ved å bruke datamålinger fra en tidsperiode på over flere år. Dette kommer av at værforhold i Norge er varierende fra år til år. I tillegg burde det vært plassert flere pyrholiometre rundt om i landet slik at en generell risiko som angår hele landet, ville vært mer reell.

Etter å ha kartlagt risikoen for antennelse som følge av optisk fenomen ved å utføre håndberegninger, praktiske forsøk og utforme statistikker, konkluderes det med at risikoen for at brann kan oppstå som følge av optisk fenomen i Norge absolutt finnes, men det gjelder kun ved bestemte forhold. Dette er forhold eller faktorer som blant annet sterkere direkte solstråling enn 120 W/m^2 , sfæriske konvekse linser eller konkave speil, brennbart materiale, og plassering og posisjon i forhold til solen. Dette vil si at brann forårsaket av optisk fenomen i ulike linser eller flater kan inntreffe, men det er svært situasjonsbetinget. I Figur 16 og Figur 17 har risikoen for brann blitt delt opp i årstider, vurdert og presentert i form av en risikomatrix. Med grunnlag i disse matrisene vurderes risikoen for at antennelse oppstår inne i rom til å være høyest på sommeren og vinteren. Ute i det fri er risikoen for at antennelse oppstår som følge av optisk fenomen også høy på sommeren, i tillegg til å være høy sent på vinteren og tidlig vår.

7. Forslag til videre arbeid

Noen forslag og anbefalinger til videre arbeid innen brannetterforskning av brann som følge av optisk fenomen er:

- Gjennomføre forsøk i større kvantitet ved ulike årstider, med flere gjenstander av ulike former, ulike typer tekstiler som gardinstoff, tepper, møbeltrekk med mer. Et forslag er å sammenligne effekt i brennpunkt som dannes av glasskuler, med effekt i brennpunkt som dannes av vaser fylt med vann.
- Undersøke om geografisk beliggenhet har en betydning på risikoen for antennelse på grunn av solstråling, og da vurdere om det bør settes opp flere pyrhelioetre i Norge.
- Kartlegge faren for skogbrann som følge av optisk fenomen, ved forsøk med ulike typer gjenstander.

8. Referanser

- [1] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «Faguttrykk - Absorpsjon,» KBT, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Utrykk=absorpsjon>. [Funnet 16 April 2019].
- [2] T. K. Adolfsen, «Etterforskning av Branner med Optiske Fenomen som Årsak,» Norsk brannvernforening, Oslo, 2018.
- [3] N. H. Fløttre, K. Bøhle og R. Kyllesdal, «Innledning - elektromagnetisk stråling,» NDLA, 3 Mars 2017. [Internett]. Available: <https://ndla.no/nb/node/27230?fag=7>.
- [4] UiO: Institutt for biovitenskap, «Solstråling,» Universitetet i Oslo, 15 Februar 2019. [Internett]. Available: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/s/solstraaling.html>.
- [5] L. F. Sidselrud, «Pyrheliometer,» Store norske leksikon, 1 September 2017. [Internett]. Available: <https://snl.no/pyrheliometer>.
- [6] J. Sandstad, «Elektromagnetisk stråling,» Store norske leksikon, 13 November 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/elektromagnetisk_stråling.
- [7] B. C. Hagen, Grunnleggende brannteknikk, Haugesund: Hagens forlag, 2004.
- [8] Store norske leksikon, «Konkav,» Store norske leksikon, 20 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/konkav>.
- [9] Store norske leksikon, «Konveks,» Store norske leksikon, 20 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/konveks>.
- [10] Store norske leksikon, «Elektriske måleinstrumenter,» Store norske leksikon, 26 Januar 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/elektriske_måleinstrumenter.
- [11] T. Sandstad, «Et optisk fenomen på himmelen,» Hitra-Frøya, 10 August 2016. [Internett]. Available: <https://www.hitra-froya.no/nyheter/2016/08/09/Et-optisk-fenomen-på-himmelen-13154347.ece>.
- [12] T. Risberg, «Brannfellene mange ikke tenker på,» NRK, 21 September 2015. [Internett]. Available: <https://www.nrk.no/livsstil/brannfellene-mange-ikke-tenker-pa-1.12556611>.
- [13] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «Faguttrykk - Overtenning,» KBT, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Utrykk=overtenning>. [Funnet 16 April 2019].
- [14] Store norske leksikon, «Porøs,» Store norske leksikon, 8 Mai 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/poros>.
- [15] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «Faguttrykk - Pyrolyse,» KBT, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Utrykk=pyrolyse>. [Funnet 16 April 2019].
- [16] T. Holtebekk, «Refleksjon - fysikk,» Store norske leksikon, 9 Januar 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/refleksjon_-_fysikk.
- [17] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «Faguttrykk - Selvantennelse,» KBT, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Utrykk=selvantennelse>. [Funnet 16 April 2019].

- [18] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «Faguttrykk - Spontanantennelse,» KBT, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=spontanantennelse>. [Funnet 16 April 2019].
- [19] O. P. Talgø og M. Drangfelt, «Synkrotronstråling fra Magnetarer,» NTNU, 2004. [Internett]. Available: <http://web.phys.ntnu.no/~stovneng/FY1303/prosjekt/magnetarer.pdf>.
- [20] B. Pedersen, «Varmestråling,» Store norske leksikon, 30 November 2017. [Internett]. Available: <https://snl.no/varmestråling>.
- [21] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «Faguttrykk - Varmeopptaksevne,» KBT, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=varmeopptaksevne>. [Funnet 16 April 2019].
- [22] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «Faguttrykk - Termisk tykt materiale,» KBT, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=termisk%20tykt%20materiale>. [Funnet 16 April 2019].
- [23] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «Faguttrykk - Termisk tynt materiale,» KBT, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=termisk%20tynt%20materiale>. [Funnet 16 April 2019].
- [24] Kollegiet for brannfaglig terminologi, «Antennelse,» 2007. [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/filer/skisse/antennelse.pdf>.
- [25] D. Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, Edinburgh: John Wiley & Sons, 2011.
- [26] brannteori.no, «Brannteori,» [Internett]. Available: <http://www.brannteori.no/page.pdf>. [Funnet 4 Mars 2019].
- [27] U. Fuskeland, «Solen,» astronomi.no, 28 mars 2007. [Internett]. Available: <http://www.astronomi.no/DNP/nineplanets/sol.html>.
- [28] J. D. DeHaan og D. J. Icove, Kirk's Fire Investigation, New Jersey: Pearson Education , 2012.
- [29] T. Henriksen, Solstråling - Sol - ozon - helse, Oslo: Gyldendal Norsk Forlag, 2002.
- [30] K. Grønli Straumsheim, «Jordkloden som et drivhus,» forskning.no, 14 November 2003. [Internett]. Available: <https://forskning.no/forurensning-klima-vaer-og-vind/2008/02/jordkloden-som-et-drivhus>.
- [31] Narom, «Drivhuseffekten,» NDLA: Nasjonal Digital Læringsarena , 23 November 2017. [Internett]. Available: <https://ndla.no/nb/node/60044?fag=2600>.
- [32] Ø. Grøn, «Gustav Robert Kirchhoff,» Store norske leksikon, 21 Oktober 2014. [Internett]. Available: https://snl.no/Gustav_Robert_Kirchhoff.
- [33] J. A. Duffie og W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. , 2013.
- [34] K. A. Rosvold og K. Hofstad, «Solenergi,» Store Norske Leksikon , 12 desember 2017. [Internett]. Available: <https://snl.no/solenergi>.
- [35] Universitetet i Oslo, «Løsningsforslag, kapittel 2, geofag,» [Internett]. Available: <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/geofag/nedlagte-emner/GEO1030/h13/beskjeder/losningoppkap2.pdf>. [Funnet 11 februar 2019].

- [36] UiO: Institutt for biovitenskap, «Lysmåling,» Universitetet i Oslo , 6 Desember 2018. [Internett]. Available: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/l/lysmaaling.html>.
- [37] N. H. (. F. Fløttre, M. H. Mikalsen og Å. Guddingsmo, «Hvor mye solenergi treffer Norge?,» NDLA - Nasjonal Digital Næringsarena, 3 mars 2017. [Internett]. Available: <https://ndla.no/nb/node/8257?fag=7>.
- [38] K. Rostad, «Ikke uvanlig med brann vinterstid,» NRK, 28 Januar 2014. [Internett]. Available: <https://www.nrk.no/ho/--ikke-uvanlig-med-brann-vinterstid-1.11502372>.
- [39] B. Karlsson og J. Quintiere, «Enclosure Fire Dynamics,» CRC Press Inc , Boca Raton, 1999.
- [40] J. P. Holman, Heat Transfer, Boston, Mass: McGraw-Hill, 2010.
- [41] Institutt for husbyggingsteknikk NTH, Husbyggingsteknikk 1, 1991.
- [42] lejetvarmekamera.dk, «Emissions tabel,» [Internett]. Available: <http://lejetvarmekamera.dk/emmissions-tabel/>. [Funnet 11 Mars 2019].
- [43] UiO: Universitet i Oslo , «Sorte legemer, stråling, fluks og luminositet,» Universitetet i Oslo, 15 Oktober 2017. [Internett]. Available: <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/astro/AST2000/h17/elines-blogg/planlegging-av-reisen/sorte-legemer-straling-fluks-og-luminositet.html>.
- [44] I. Martinez, «Thermo-optical Properties,» [Internett]. Available: <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/dat1/ThermoOptical.pdf>. [Funnet 29 Mars 2019].
- [45] A. Srividya, T. Log og A. Kraaijeveld, «Fire Safety Experimental Investigations of Time to Flashover as a Function of Humidity in Wood,» Stord/Haugesund University College, Haugesund, 2017.
- [46] MARKOS FS, «Teori grunnlag,» MARKOS FS, [Internett]. Available: <http://www.marfag.no/k08/1-teori-grunnlag>. [Funnet 3 Mars 2019].
- [47] BoligVurdering, «Emissivitet,» [Internett]. Available: http://www.boligvurdering.no/index.php?option=com_content&view=article&id=31:e-missivitet&catid=1:forklaringer&Itemid=4. [Funnet 3 Mars 2019].
- [48] B. Pedersen, «Varmekapasitet,» Store norske leksikon, 8 Juni 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/varmekapasitet>.
- [49] B. Pedersen og H. Ormestad, «Varmeledning,» Store norske leksikon, 10 September 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/varmeledning>.
- [50] B. Pedersen, «Konveksjon - fysikk,» Store norske leksikon, 21 Juni 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/konveksjon_-_fysikk.
- [51] B. Pedersen, «Varmeoverføringskoeffisient,» Store norske leksikon, 24 Mars 2017. [Internett]. Available: [https://snl.no/varmeoverføringskoeffisient](https://snl.no/varmeoverforingskoeffisient).
- [52] K. Sandvig, «Brennpunkt,» 28 September 2014. [Internett]. Available: <https://sml.snl.no/brennpunkt>.
- [53] K. Fiskum, E. Steineger og R. Åsbø, Natur og Univers 3, Oslo: Cappelen Damm , 2009.
- [54] T. Holtmark, «Linse - Optikk,» Store norske leksikon, 20 Februar 2018 . [Internett]. Available: https://snl.no/linse_-_optikk.
- [55] J. Skaar og T. Holtmark, «Brytning - Optikk,» Store norske leksikon, 12 Juni 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/brytning_-_optikk.

- [56] J. Skaar og T. Holtmark, «Snells lov,» Store norske leksikon, 24 April 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/Snells_lov.
- [57] Voldaskulen, «Refleksjon,» [Internett]. Available: <http://www.voldaskulen.no/web/NettskoleRessurs.axd?id=6d71dc72-320e-453a-9c61-e3908245e660>. [Funnet 14 Februar 2019].
- [58] E. Skaar, «Lys og optikk,» 15 Oktober 2003. [Internett]. Available: <http://understandall.net/eduHVO/wa03/N103F07lys.htm#12%20Refleksjon>.
- [59] J. P. Stensaas, m. f. Kripos, T. politikammer og S. NBL, «Bestemmelse av branntekniske spor på golv etter bruk av brennbar væske,» Sintef, Kripos, Trondheim, 1999.
- [60] V. Babrauskas, SFPE Ignition Handbook, Washington: Fire Science Publishers, 2003.
- [61] M. J. Hurley, D. T. Gottuk, J. R. Hall Jr., K. Harada, E. D. Kuligowski og M. P. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, New York: NY: Springer New York, 2016.
- [62] Bygg Fakta Bolig, «Ta ansvar for brannforebyggingen - inne og ute!,» Bygg Fakta Bolig, 6 Juni 2018. [Internett]. Available: <https://byggfaktabolig.no/ta-ansvar-for-brannforebyggingen-inne-og-ute-124074/nyhet.html>.
- [63] O. Dalland, Metode og oppgaveskriving, Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS, 2013.
- [64] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «Faguttrykk - Kalorimeter,» KBT, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=kalorimeter>. [Funnet 8 April 2019].
- [65] J. Lindholm, A. Brink og M. Hupa, «Cone calorimeter - A tool for measuring heat release rate,» Åbo Akademi Process Chemistry Centre, Åbo.
- [66] KIPP & ZONEN, «Brochure - Pyranometers - SP Lite2 - English,» [Internett]. Available: <https://www.kippzonen.com/Search?query=SP+Lite2>. [Funnet 4 April 2019].
- [67] D. Matuszko, «A comparison of sunshine duration records from the Campbell-Stokes sunshine recorder and CSD3 sunshine duration sensor,» Springerlink.com, 2014.
- [68] Geofysisk Institutt, «Instrument ved strålingsobservatoriet,» Universitetet i Bergen, 19 Februar 2014. [Internett]. Available: <https://www.uib.no/gfi/56714/instrument-ved-stralingsobservatoriet>.
- [69] European Commission, «Overview of PVGIS data sources and calculation methods,» European Commission, 22 September 2017. [Internett]. Available: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/methods.html.
- [70] E. Lillestøl, O. Hunderi og J. R. Lien, Generell fysikk for universiteter og høyskoler. Bd. 2, Oslo: Universitetsforl., 2016.
- [71] Norsk Gjenvinning, «Volum- og vektinformasjon,» Norsk Gjenvinning, [Internett]. Available: <https://www.norskgjenvinning.no/tjenester/avfallstyper/volum-og-vektinformasjon/>. [Funnet 14 Mars 2019].
- [72] SINTEF Byggforsk, «Blad 573.344 Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper,» SINTEF Byggforsk, 2004.
- [73] M. Rausand, Risikoanalyse: teori og metoder, Trondheim: Tapir akademisk forl., 2009.

Vedlegg A – Saker i media

Video fra TV2 hjelper deg
Publisert: Oktober 2018



Mysterium i Drøbak – plutselig skjedde det noe rart med trampolinen

Mysterium i Drøbak – plutselig skjedde det noe rart med trampolinen


 Del  Twitre  TV 2 hjelper deg på Sumo

Når putene på hagemøblene og trampolinen smelter, forstår ikke familien fra Drøbak hvorfor. Og det tar tid å oppklare mysteriet.

Sjekkliste: Dette må du for all del ikke glemme nå

tv 2 hjelper deg

Se mer fra **TV 2 hjelper deg**

 **15 558** - publisert 7 mnd siden

Link til videoen: <https://www.tv2.no/v/1382154/>

Artikkel fra VG
Publisert: 02.07.2018
Journalist: Marthe S. Lien



(Link til videoen: <https://www.vg.no/nyheter/innenriks/i/WLABKL/blomstervasen-kan-vaere-en-potensiell-brannfelle>)

Blomstervasen kan være en potensiell brannfelle

Kristoffer Skjønhaug Reinertsen fikk seg en overraskelse da han skulle pynte opp med blomster på bordet i finværet.

Inne hos seg selv i Gressvik utenfor Fredrikstad, plasserte Skjønhaug Reinertsen en vase med blomster på bordet. Han ble mildt sagt overrasket over det som hendte sekunder etter.

- Det begynte å ryke i bordet, forteller Kristoffer Skjønhaug Reinertsen til [Fredriksstad Blad](#).

I videoen han har delt på Facebook, og som er tilgjengelig øverst i saken, kan man tydelig se solen svi merke i bordet gjennom vasen. I skrivende stund er videoen sett mer enn 362.000 ganger og delt av mer enn 4.000.

Skjønte ikke hvor svimerkene kom fra

Til VG forteller han at han fjernet vasen straks han så røyken, men syntes det hele var så spesielt at han måtte sjekke om det skjedde en gang til. Sekunder etter at vasen ble plassert i solen på bordet skjedde det samme igjen.

- Det ble et svimerke. Den varmen som var der klarte man ikke å holde fingeren foran en gang. Om det hadde vært noe annet lettantennelig der, så hadde det nok tatt fyr, forteller Skjønhaug Reinertsen.

Han forteller at de har hatt svimerker på duken tidligere, uten å skjønne hva det kom av.

- Det skjønner vi nå, sier han.

Kan starte branner

Sigurd Folgerø Dalen, branninspektør i Oslo brann- og redningsetat, forklarer at årsaken til at det blir så varmt er at glasset får en slags forstørrelsesglass-effekt eller optisk fenomen.

- Jeg er sikker på at folk kan finne svimerker, for eksempel på balkongene sine, som de lurer på hvor kommer fra, og her har du svaret. Dette er en av de tingene som i verste fall kan starte branner, forteller Folgerø Dalen.

Han sier brannvesenet har sett tilfeller av brann som følge av dette både innvendig og utvendig, og at det er noe som bør tas hensyn til.

- Folk bør hindre at sollyset får tilgang på gjenstander innendørs, og samtidig tenke på det de setter igjen utendørs. Solen kan skape mye glede, men også mange bekymringer, sier Folgerø Dalen.

Hjemme i stuen i Gressvik har nå vasen blitt plassert et annet sted en midt i solsteken på bordet.

- Vasen står fortsatt i huset, men ikke midt på bordet. Den får ikke slippe til i solen uten oppsyn mer, sier Skjønhaug Reinertsen.

Artikkel fra NRK
Publisert: 21.09.2015
Journalist: Tor Risberg

Brannfellene mange ikke tenker på

Høstsola kan være skummel. Se hva som skjedde med vannmugga og sminkespeilet.



Solstråler gjennom vannmugga gjorde at dette bordet nesten tok fyr. I bildet til høyre har solreflekser fra et sminkespeil svidd brennmerker i vinduskarmen.

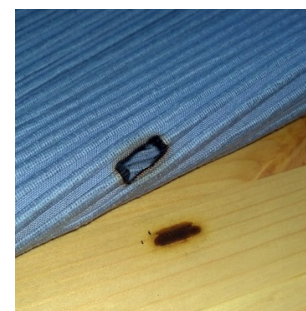
FOTO: PRIVAT / MONTASJE NRK

Solstråler som brytes av glass og vann er en skjult brannfelle.

– Fenomenet er mest vanlig nå om høsten, når sola står lavere på himmelen og oftere finner veien gjennom vinduene, sier seksjonsleder Håvard Arntzen i brann- og kjemiseksjonen hos Kripos.

Kjøkkenbordet til Robert Haukanes i Austevoll tok nesten fyr forrige helg.

– Da vi kjente brent lukt, trodde vi først at noen hadde tent bål utenfor huset. Deretter sjekket vi om spotlightene i taket var overopphetet, forteller han til NRK.no.



Svimerket gikk tvers gjennom duken og inn i bordplata.

FOTO: ROBERT HAUKANES

Men så oppdaget familien at det kom røyk fra bordet, som var blitt glovarmt. Gjennom en mugge med vann hadde sollyset svidd hull gjennom den tykke duken og ned i bordplata.

– En ekkel og skremmende opplevelse, sier Haukanes. I sommer har han ofte hatt mugga stående på kjøkkenbordet, uten å oppleve noe dramatisk.

– På skolen lærte jeg at glass kan antenne skogbrann. Men at det samme fenomenet kan inntreffe i hjemmet har jeg aldri tenkt på. Dette var tankevekkende, sier han.

– **Fenomenet er jo nesten utenkelig, og vanskelig å gardere seg mot. Men brennglasseffekten kan oppstå når man minst venter det, sier administrerende direktør Dagfinn Kalheim i Brannvernforeningen til NRK.no.**

– Under gitte forhold blir solstrålene så sterkt fokusert på en gjenstand at den varmes opp. I verste fall får man en brann. Haukanes kan være glad for at dette ikke endte verre, sier Kalheim.



Denne vannmugga laget nesten-brann på bordet.

FOTO: ROBERT HAUKANES

Røyk i vinduskarmen



Slik så det ut i vinduskarmen da familien kom hjem om kvelden. Fordi sola hadde beveget seg fikk også den andre siden av karmen et tilsvarende svimerke.

FOTO: JAN EINAR INGIER

Også Jan Einar Ingier i Aurskog hadde nylig en tilsvarende lite hyggelig opplevelse. Datteren hans hadde stående et sminkespeil i vinduskarmen, men tenkte ikke på at speilet også kan fungere som en linse.

– Da vi kom hjem om kvelden luktet det svidd, og det var røyk i vinduskarmen, forteller han.

Den ene siden av speilet var et forstørrelsesglass. I løpet av ettermiddagen hadde solrefleksene svidd to dype merker på totalt 14 centimeter i vinduskarmen. Brannalarmen ble ikke utløst.

– Vi bor i et tømmerhus fra 1705. Hadde vinduet tatt fyr ville nok huset ha brent ned. Så vi slet med å sovne den kvelden, sier Ingier til NRK.no.

Hvis resultatet hadde blitt husbrann, tror han årsaken ville vært vanskelig å avdekke.

– I naborommet har jeg mye elektronisk utstyr. Mistanken ville ganske sikkert vært rettet dit, sier han.

Vanskelig å etterforske

244 av husbrannene i fjor hadde såkalt "ukjent årsak", ifølge statistikk fra [DSB](#). Men etterforskerne regner med at noen kan ha oppstått på grunn av brennglasseffekten.

– Vi har flere eksempler på slike branner. De kan være vanskelig å nøste opp i, sier Håvard Arntzen i Kripos.

– Den beste forebyggingen er bevissthet om at dette faktisk kan skje, slik at man ikke plasserer forstørrelsesglass eller forstørrelsesspeil på steder hvor solstrålene treffer, sier han.

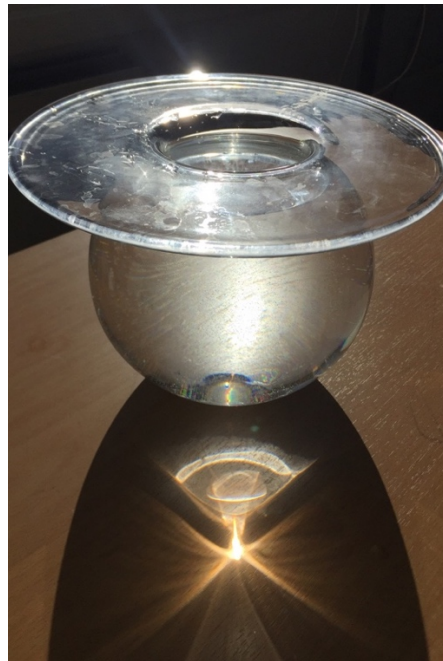


Denne esken er i ferd med å bli antent av refleksene fra sminkespeilet. Bildet er nylig tatt av etterforskere i forbindelse med en rekonstruksjon etter brann.

FOTO: KRIPOS

Vedlegg B – Beregning av reduksjonsfaktor k

For å kunne beregne reduksjonsfaktor k måtte verdiene for strålefluks i brennpunktet som ble dannet ved solstråling på vasen og forstørrelsesglasset, bli funnet.



I brennpunkt som ble dannet gjennom vasen ble det målt en strålefluks på omtrent 45,0 kW/m².

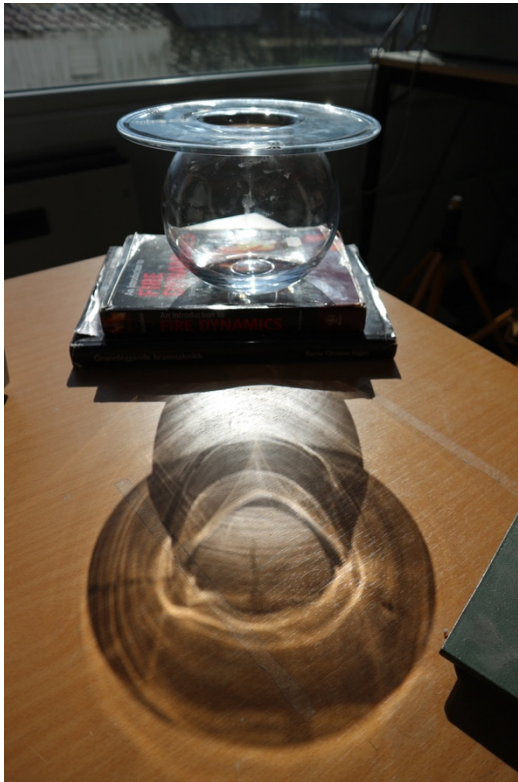


I brennpunkt som ble dannet gjennom et 10x forstørrelsesglass ble det målt en strålefluks på omtrent 90,0 kW/m².

Forholdet mellom verdiene for strålefluks for vasen og forstørrelsesglass ble funnet og reduksjonsfaktor k vil da bli:

$$k = \frac{45,0 \text{ kW/m}^2}{90,0 \text{ kW/m}^2} = 0,50$$

Vedlegg C – Konsentrering av solstråling i konveks linse



Kuleformet «Boblen»-vase av Finn Schjøll uten vann. Brennpunkt dannes ikke.



Kuleformet «Boblen»-vase av Finn Schjøll med vann. Brennpunkt dannes på bordoverflaten.



Her ser man tydelig at brennpunkt treffer håndflaten. Det var umulig å holde hånden i brennpunktet i lenger enn 6-7 sekunder!

Vedlegg D – Forsøk av forflytningshastighet til brennpunkt

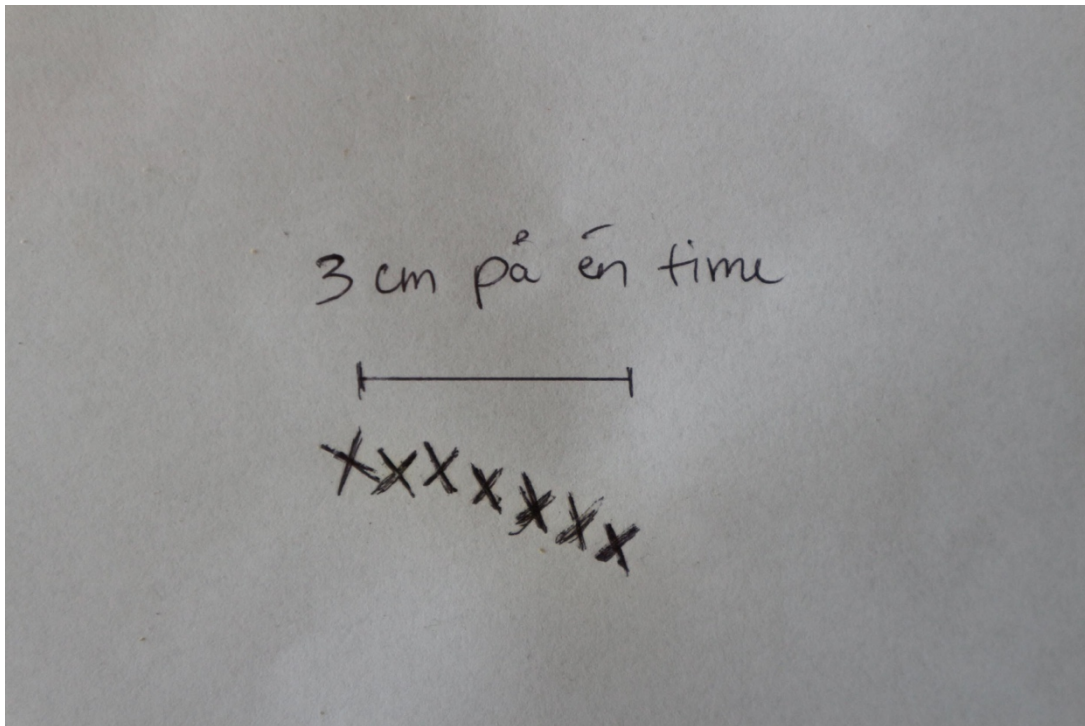
Hensikten med dette forsøket var å beregne forflytningshastigheten til brennpunktet, som ble dannet ved optisk fenomen forårsaket av solstråling på kuleformet blomstervase.



Brennpunkt ble dannet på det hvite arket.



Det ble skrevet kryss midt i brennpunkt hvert 10. minutt i én time.



Her ser man at etter én time har brennpunkt flyttet seg 3 cm mot høyre på arket. Denne verdien ble konvertert til en verdi i mm/min ved følgende beregning:

$$\text{Forflytningshastighet} = \frac{3 \text{ cm/t}}{60 \text{ min}} \cdot 10 \text{ mm} = 0,5 \text{ mm/min}$$

Vedlegg E – Resultater og bilder fra forsøk med solstråling

Alle resultater fra målingene med forskjellige gjenstander er notert i tabellen under.

Gjenstander	Strålefluks [W/m^2]	Temperatur [$^{\circ}C$]
Kuleformet vase	45000	50-60 $^{\circ}C$ i løpet av 10 sekunder
Rund vannkaraffel	14500	25-30 $^{\circ}C$ i løpet av 20 sekunder
Sfærisk vannglass	14400	30-40 $^{\circ}C$ i løpet av 20 sekunder
Sminkespeil	20100	30-60 $^{\circ}C$ i løpet av 20 sekunder

Testing med kuleformet vase



Strålefluksmåler plassert i brennpunkt gjennom vassen.



Temperaturmåler plassert i brennpunkt gjennom vassen. Her har avispapiret tatt fyr.

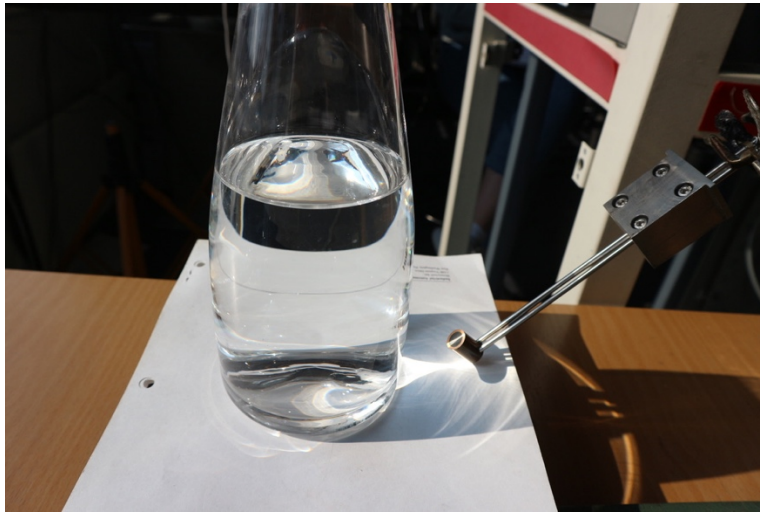


Temperaturøkningen i brennpunktet på avispapiret var sterk nok til å brenne hull. Dette skjedde etter eksponering for solstråling i rundt 30 sekunder.

Testing med vannkaraffel



Strålefluksmåler plassert i brennpunkt gjennom vannkaraffelen.

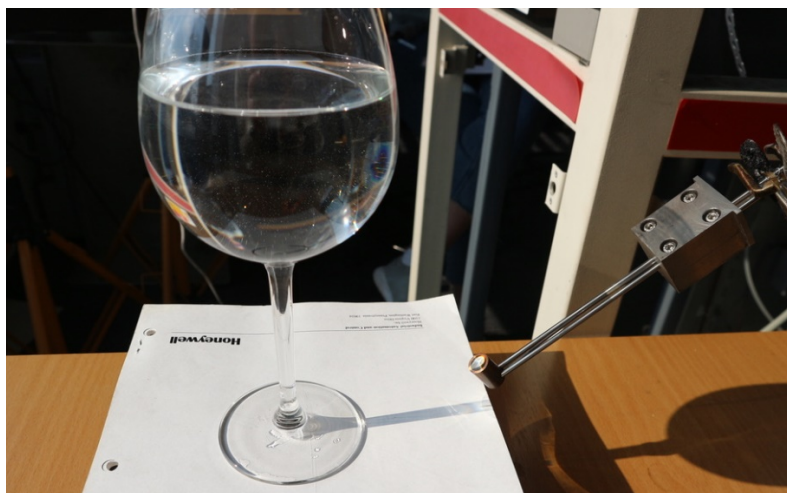


Strålefluksmåler plassert i brennpunkt gjennom vannkaraffelen.

Testing med vinglass

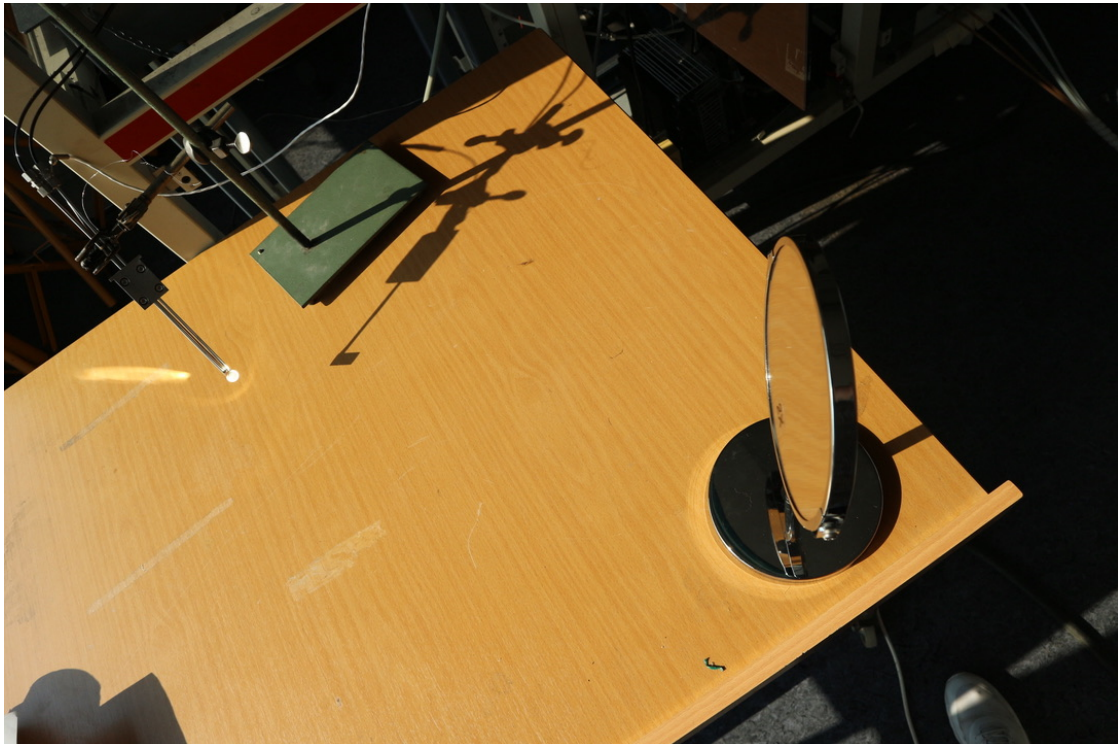


Strålefluksmåler plassert i brennpunkt gjennom vinglasset.



Strålefluksmåler plassert i brennpunkt gjennom vinglasset.

Testing med sminkespeil



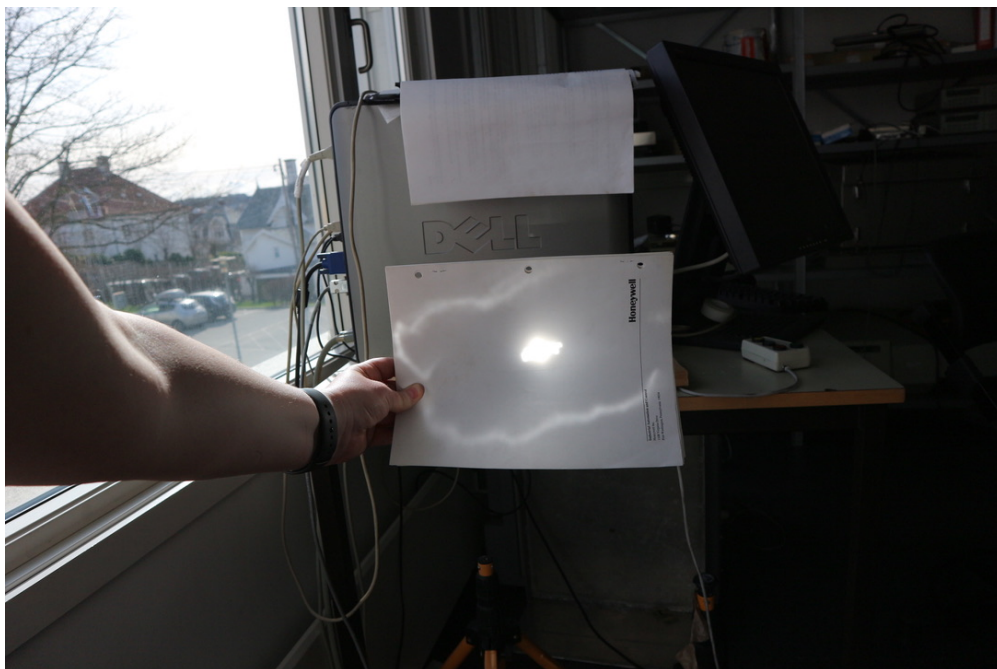
Strålefluksmåler plassert i brennpunkt som dannes ved refleksjon i speilet.



Strålefluksmåler plassert i brennpunkt som dannes ved refleksjon i speilet. Her med et hvitt A4-ark under slik at brennpunktet ble mer synlig.

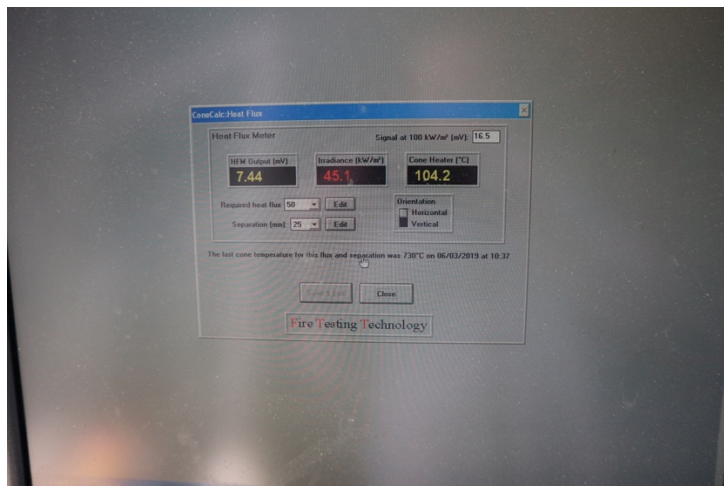


Brennpunkt som dannes ved refleksjon i sminkepeil vises på A4-arket. Man kan se noe av strålingen faller utenfor samlepunktet. Når sminkepeil stod plassert vinkelrett på solstrålingen ble temperaturøkningen størst. Dette kunne kjøles med hånda da det var umulig å holde den i brennpunktet i lenger enn 10 sekunder!



Brennpunkt som dannes ved refleksjon i sminkepeil vises på A4-arket. Her fra en annen vinkel enn forrige bilde.

Diverse bilder



Målt verdi på strålefluks i brennpunkt gjennom kulevasen.



Temperaturmåling i brennpunkt gjennom kulevasen.



Temperaturmåling på 121 °C kort tid (omtrent 15-20 sekunder) etter termoelement var plassert i brennpunkt. Temperaturen økte hele tiden.

Vedlegg F – Målinger med pyranometer SP Lite2

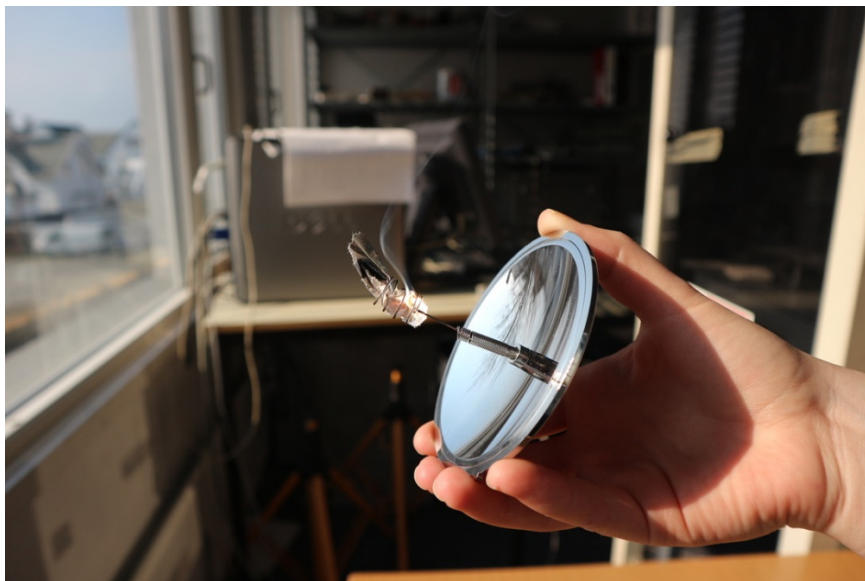
Ved å jevnlig måle globalstråling var hensikten å se om solstrålingen var sterk nok til at avispapiret, som var krøllet sammen og festet ved parabollinsen, ville ta fyr. Parabollinsen blir også kalt en «solar lighter». April 2019 var en måned med mange dager med fint vær, blå himmel og sol, så det ble tatt målinger av globalstrålingen denne måneden.

Verdier målt med pyranometer gjøres om til W/m^2 ved å benytte følgende formel:

$$\text{Globalstråling} = \frac{X \text{ mV} \cdot 10^3}{72,3 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}}$$

Hvor X står for målte verdier med multimeter Fluke 45.

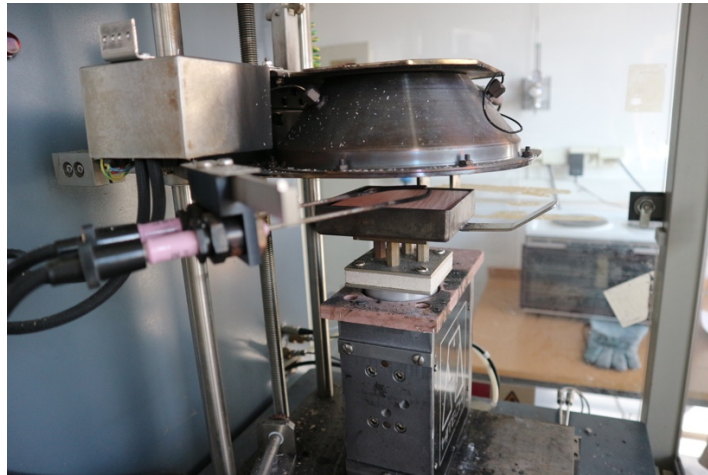
Dato og tid	Målt med Fluke 45 [mV]	W/m^2	Tok avispapiret i parabollinsen fyr innen 1 minutt? [Ja/Nei]
01.04.19 kl. 13:00	35,30	488	Ja
04.04.19 kl. 12:20	41,50	574	Ja
04.04.19 kl. 16:40	24,80	343	Ja
05.04.19 kl. 11:20	30,40	420	Ja
05.04.19 kl. 14:40	62,40	863	Ja
06.04.19 kl. 12:45	58,50	809	Ja
07.04.19 kl. 14:40	71,40	988	Ja
08.04.19 kl. 16:10	73,10	1011	Ja
10.04.19 kl. 11:20	70,10	970	Ja
12.04.19 kl. 11:10	72,00	996	Ja
13.04.19 kl. 13:00	74,30	1028	Ja
14.04.19 kl. 13:45	78,20	1082	Ja
15.04.19 kl. 12:15	75,10	1039	Ja



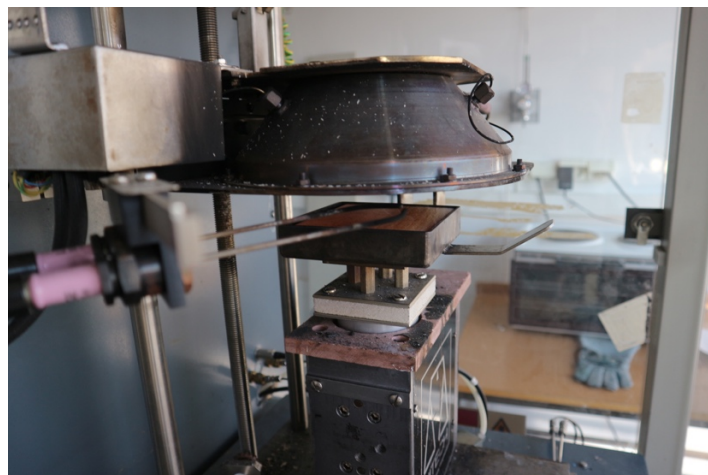
Her ser man en «solar lighter» som er en konkav miniatyr parabollinse. Dette er et eksempel på et forsøk utført i april 2019.

Vedlegg G – Bilder fra forsøk med strålefluks

Testing av laminatgulv



Prøvestykket plassert inne i apparatet.



Prøvestykket begynte å bli misfarget etter 30 sekunder.



Prøvestykket begynte å ryke etter omtrent 1 minutt. Ble aldri antent.

Testing av papp



Prøvestykket begynte å ryke etter 5 sekunder (noe uklart bilde).



Prøvestykket antente etter 8-9 sekunder.

Testing av avispir



Prøvestykket begynte å ryke umiddelbart ved eksponering for strålefluks.



Prøvestykket antente etter 2-3 sekunder.

Testing av bomullstekstil



Prøvestykket plassert inne i apparatet.



Prøvestykket begynte å ryke etter 6 sekunder.



Prøvestykket antente etter 20 sekunder.

Vedlegg H – Antall timer over kritisk strålingsgrense

Etter å ha mottatt datamålinger fra strålingsobservatoriet i Bergen og hentet ut simulerte verdier fra PVGIS, ble alle verdier samlet i et Excel-dokument. Det ble veldig mange verdier totalt siden det var timeverdier per døgn målingene gjaldt, og på grunn av omfanget av målingene ble ikke alle verdier tatt med i dette vedlegget.

Verdiene i figurene under er utarbeidet med HVIS-setninger, som baserer seg på en grenseverdi på 120 W/m^2 . Det vil si at antall timer per måned som overskrider denne grenseverdien ble registrert som '1', mens de timeverdiene som var lavere enn grensekriteriet ble registrert som '0'. Etter dette ble gjort ble alle timer summert opp per måned og presentert i egne kolonner, se figurene under.

Verdier fra 2018 hentet fra strålingsobservatoriet Florida, ved Universitetet i Bergen:

Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember	Totalt antall timer pr. år over kritisk stråling
25	62	138	143	331	257	284	132	54	68	33	13	1540

Verdier hentet fra simuleringsverktøyet PVGIS, en estimeringsmodell som baserer seg på satelittmålinger over 10 år:

Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember	Totalt antall timer pr. år over kritisk stråling
0	392	899	1260	1519	1620	1612	1302	990	465	0	0	10059