

Evaluering av energieffektive tørkesystem i solrike område

Olav Øygarden

Master i energi og miljø
Oppgåva levert: Juni 2011
Hovudrettleiar: Trygve Magne Eikevik, EPT
Medrettleiar(ar): Odilio Alves-Filho, EPT

EPT-M-2011-49

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Olav Øygarden

Våren 2011

Evaluering av energieffektive tørkesystemer i solrike områder*Evaluation of energy efficient drying systems in sunny areas***Bakgrunn**

Tørking er en av de viktigste måtene å konservere mat i varme og solrike områder. Produktene tørkes vanligvis i aktive eller passive tørkesystemer med sol som varmekulde. I disse tørkene kan varmetilførselen være både direkte og indirekte gjennom paneler. Kvalitet på produktene påvirkes i høy grad av temperatur og fuktighet. Dette gjør at produktene oppnår en sterkt redusert kvalitet, og som en følge av dette oppnår produktene en redusert pris.

Ved å bruke varmepumpetørker kan temperaturnivået styres og derigjennom oppnå en betydelig bedre kvalitet. Varmepumpetørker er blitt utviklet i områder hvor det har vært behov for å sikre jevn kvalitet på produktene over året, uten at de klimatiske forhold har påvirket tørkebetingelsene. Det har også vært et ønske å redusere energikostnadene for tørkingen. Det skal i denne oppgaven gjøres en gjennomgang av ulike prinsipper for tørking og evaluere energibruk, investeringer og effektivitet. Utgangspunktet er en lukket tørke hvor en avfukter tørkeluften med en kald flate (luftkjøler/fordamer) hvor luftfuktighet kondenseres ut og fjernes før deretter å varmes opp til riktig tørketemperatur. De ulike prinsipper som skal vurderes i denne oppgaven skal være; 1: Solcelle dreven elektrisk varmepumpe, 2: Ejector system med CO₂ som arbeidsmedium, 3: Absorpsjonsvarmepumpe. Alle systemene vil bruke solen som energikilde for prosessen. Oppgaven vil dekke systemevaluering av ulike driftsmønstre for energitilgang til tørken, samt konsekvenser for tørkehastighet og -kapasitet for tørken.

Mål

Målsettingen med oppgaven er å vurdere muligheten for de ulike konseptene med sine fordeler og ulemper, samt investeringsbehov.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Litteraturstudie av de ulike tørkekonsepter, dagens og de 3 ulike løsninger
2. Beskrive de ulike systemer, virkemåte og fordeler / ulemper, inklusive integrering av adsorber system i tørkekretsen.
3. Planlegge og gjennomføre tørkeforsøk med fisk, hvor driftstiden er begrenset til tilgang på energi på dagtid og hvor tørken står stille nattetid.

4. Utrede ulike måter for å konsentrere system for energiopptak, samt å lagre energi over dagtid og over døgnet
5. Lage en enkel modell i Excel for beregning av tørkekapasitet og energibruk
6. Utarbeide kostnadsoverslag og arealbruk for de ulike systemer
7. Utarbeide er utkast til artikkel
8. Utarbeide forslag til videreføring

” - ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosessteknikk.

I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

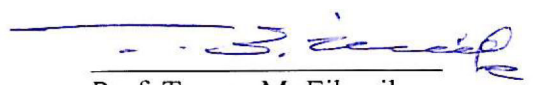
Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maksimalt én maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

Til Instituttet innleveres to - 2 komplette kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til eventuelle medveiledere/oppgavegivere skal avtales med, og eventuelt leveres direkte til de respektive. Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag), samt alle relevante dokumenter og data som er brukt i oppgaven på en CD-ROM.

NTNU, Institutt for energi- og prosessteknikk, 14. januar 2011



Prof. Olav Bolland
Instituttleder



Prof. Trygve M. Eikevik
Faglig ansvarlig/veileder
e-mail: trygve.m.eikevik@ntnu.no

Medveileder(e)
Odilio Alves-Filho, NTNU, odilio.alves@ntnu.no

Avgrensing av oppgåva

I samråd med rettleiar er det gjort følgjande avgrensingar i oppgåva:

- Integrering av adsorbersystem i tørkekretsen fell bort
- Utarbeiding av utkast til artikkel fell bort
- Det vert ikkje gjort berekningar for energilagring, men heller anteke tapsfri lagring over døgnet

Forord

Denne rapporten er resultatet av masteroppgåva mi ved studieprogrammet energi og miljø ved NTNU. I arbeidet med rapporten har eg lært mykje om mykje, og eg vil takka hovudrettleiar professor Trygve Magne Eikevik og medrettleiar fyrsteamanuensis Odilio Alves-Filho for god hjelp og rettleiing. Eg vil også takka Ignat Tolstorebrov for god hjelp i laboratoriet.

Trondheim, 13.juni 2011



Olav Øygarden

Samandrag

Hovudmålet med denne rapporten har vore å evaluera moglege løysingar for energieffektive tørkesystem basert på solenergi. Gjennom litteraturstudiet vert det funne at opne system for soltørking har ei rekkje generelle problem: Store avlingstap kjem som følgje av utilstrekkeleg tørking, sopp, insekt, fuglar, gnagarar, støv og søppel, samt uventa nedbør og andre uforutsette værforhold. Lukka soltørker kan eliminera eller redusera mange av desse problema, men dei har alle det til felles at dei baserer seg på tørketemperaturar over omgjevnadstemperatur. Tørking ved relativt låge temperaturar kan vera med å bevare ei rekkje ønska kvalitetar til fersk mat. Lukka varmpumpetørker kan operera uavhengig av værforhold, gjeva tørketemperaturar under omgjevnadstemperatur, og tilbyr slik ein attraktiv moglegheit for å auka produktkvalitet og redusera øydelegging gjennom god kontroll over, og regulering av tørkebetingelsane. For å levera tørkeluft med tilstrekkeleg låg luftfuktighet, og ved temperaturar under omgjevnadstemperatur trengst det kjøling. Eit litteraturstudium er gjort kring solkjølingsteknologiar.

For ei tørke med solbasert energiforsyning, vil ein naturleg konsekvens vera tidsvarierende energitilgang, og dermed tidsvarierende drift. Eit tenkt tørkesystem er difor planlagt slik at tørka går om dagen, og står stille om natta. Det er utført eksperiment med tørking av fisk, med mål om å kartlegga korleis ein slik døgnsyklus vil påverka tørkeforløpet. Hovudkonklusjonen er at ein slik syklus vil vera energisparande, men meir tidkrevjande enn tilsvarande tørking med kontinuerlig drift. Det vert også vist at tørkeprosessen går fortare ved 20°C/26%RH enn ved 10°C/50%RH.

Ei tørke basert på ein standard 40-fots isolert ISO-container vert dimensjonert til å kunna tørka 122 tonn fisk (fersk vekt) årleg ved tørketemperatur 15°C, relativ fuktighet 40%, og 10 timars dagleg drift. Tørka krev 56,2kW kjøleeffekt ved 0°C, og vifteeffekt 16,3kW. Med effektbehovet kartlagt vert ulike solbaserte energiforsyningssystem vurdert.

Litteraturstudiet resulterer i at ein del solkjølingsteknologiar, blant anna ejektorkjøling med CO₂ som arbeidsmedium, vert vurdert som lite aktuelle for det tenkte systemet. Dei gjenverande kjøleteknologiane som vert grundigare undersøkt er dei termisk drivne teknologiane ejektorkjøling (med arbeidsmedium R134a/R11/H₂O) og absorpsjonskjøling (med LiBr-vatn som arbeidspar), samt konvensjonell elektrisk driven dampkompresjon med R717-ammoniakk som arbeidsmedium. For anskaffelse av naudsynt termisk energi vert uisolerte flatplatesolfangarar, isolerte flatplatesolfangarar og vakuummørørsolfangarar vurdert. For anskaffelse av elektrisk energi vert solcellepanel vurdert mot termisk solfangar + varmemotor og generator. Ulike systemløysingar for å levera kjøleenergi til tørka vert så samanlikna på grunnlag av naudsynt solfangareal,

solfangarkostnad, og kjølkostnad. Solfangarkostnaden er om lag 10 gongar høgare enn kjølkostnaden for alle systemløysingar.

Av dei undersøkte løysingane vert solcelledriven dampkompresjonskjøling funne å vera den minst kostbare og minst arealkrevjande løysinga. Ved 10 timars drift i døgnet, kan tørka drivast utelukkande frå solenergi frå 512 m² solcellepanel til ein estimert kostnad €255.800. Vifta i tørka står for over halvparten av energibruken. Alle andre systemløysingar innebar høgare solfangarkostnader og større solfangarareal. Nest etter solcelledriven dampkompresjon ser eitt- eller to-trinns absorpsjonskjøling, driven av vakuummørersolfangarar, ut til å vera det mest interessante alternativet. To-trinnsløysinga inneber litt mindre solfangarareal og –kostnader, men krev til gjengjeld eit system som tåler 145°C i forhold til eitt-trinnsystemet som går ved 90°C. Høgare temperaturar kan gjere det meir komplisert med termisk energilagring. Ved nytting av konsentrerende solfangerar kan solfangararealet i fleire av systemløysingane meir enn halverast.

For klimatiske forhold og tilgjengeleg solinnstråling er det teke utgangspunkt i Mumbai, India.

Innhaldsliste

1	Innleiing.....	1
2	Litteraturstudie	3
2.1	Fukt i matvarer	4
2.2	Tørking og temperatur	7
2.3	Tørking av fisk og sjømat.....	8
2.3.1	Salting og konservering	9
2.3.2	Tørkebetingelsar	10
2.3.3	Kvalitetsendringar i fisk under tørking	12
2.4	Tørkesystem.....	17
2.4.1	Solbasert tørking	17
2.4.2	Varmepumpetørke	21
2.5	Solkjøling.....	29
2.5.1	Elektrisk solkjøling.....	29
2.5.2	Termisk solfangar, varmemotor og dampkompresjon.....	31
2.5.3	Konsentrerende solkraft.....	33
2.5.4	Termisk drivne solkjølingssystem.....	37
2.5.5	Utvalde teknologiar	40
3	Teori og virkemåte	41
3.1	Generell tørkekurve for mat med høgt fuktinnhald.....	41
3.2	Tørka	42
3.2.1	Fuktig luft – tørkelufta.....	42
3.2.2	Varmepumpa.....	43
3.2.3	Vifteenergi.....	56
3.2.4	Samanheng kjølekrets - tørkeluft	56
3.3	Solenergi	57
3.3.1	Tilgjengeleg solenergi.....	57
3.3.2	Månedleg gjennomsnittleg døgninstråling på ei tilta flate	57
3.3.3	Stråling på ei horisontal flate time for time	58
3.3.4	Stråling på tilta flate time for time: Isotropisk himmel	60
3.3.5	Å fanga sola	61
3.3.6	Elektrisk solenergi	62
3.3.7	Termisk solenergi, solfangarkarakteristikkar og virkningsgrad	63
4	Eksperiment	67

4.1	Utstyr, materiale og metode	67
4.1.1	System oppsett.....	67
4.1.2	Tørkekammer oppsett.....	67
4.1.3	Fisk	69
4.2	Tørkebetingelsar	70
4.2.1	Driftsplan.....	70
4.2.2	Temperatur, relativ luftfuktighet og lufthastighet	72
4.2.3	Tørkebetingelsar oppsummering	73
4.3	Målinger	74
4.3.1	Før og etter tørking	74
4.3.2	Under tørking	77
4.4	Resultat frå eksperiment.....	79
4.4.1	Eksperiment 1	79
4.4.2	Eksperiment 2	82
4.4.3	Eksperiment 3	87
4.4.4	Samanlikning av kontinuerlig tørking og av/på tørking.....	92
4.4.5	Eksperimentell måling av endeleg fuktinnhald	96
4.4.6	Fargeendring	99
4.4.7	Oppsummering.....	100
4.4.8	Konklusjon.....	104
5	System for varmpumpetørking drive av solenergi	105
5.1	Tørka	106
5.1.1	Fysiske mål og lastekapasitet	106
5.1.2	Tørkelufta	107
5.2	Energibehov	110
5.2.1	Vifteenergi.....	110
5.2.2	Dampkompresjon med R717-amoniakk.....	110
5.2.3	Ejektorkrets	111
5.2.4	LiBr-H ₂ O Absorpsjonsvarmpumpe.....	112
5.3	Energiforsyning	113
5.3.1	Meteorologiske data for Mumbai	113
5.3.2	Tilgjengeleg solenergi.....	115
5.3.3	Tilgjengeleg solenergi: time for time.....	117
5.3.4	Årsvirkningsgrad for solfangarar	118

5.3.5	Elektrisitet frå solceller.....	119
5.3.6	Termisk energi frå solfangarar	119
5.3.7	Varmemotor.....	122
5.4	Samanlikning av systemløysingane på grunnlag av solfangarareal og solfangarkostnader	123
5.4.1	Systemvirkningsgrad	124
5.4.2	Solfangarareal, solfangarkostnader, og kjølkostnad for dei ulike systemløysingane	125
5.5	Diskusjon.....	130
5.6	Konklusjon.....	133
5.7	Forslag til vidareføring av arbeid.....	134
6	Referanseliste #1.....	136
7	Referanseliste #2.....	140
	Vedlegg A - Rb som funksjon av $(\Phi-\beta)$ for $\phi=20$	142
	Vedlegg B – Månadleg gjennomsnittleg kosmisk døgninnstråling.....	143
	Vedlegg C – Tilstand tørkeluft.....	144
	Vedlegg D – Lufttilstand i kvileperiodar	146
	Vedlegg E – Luftstrauming i tørkekammer.....	147
	Vedlegg F – Vatn i pose	149
	Vedlegg G – Måling av saltinnhald	150
	Vedlegg H – Målingar av vekt og breidde gjennom eksperimenta	152
	Vedlegg I – Gjennomsnittsdag for kvar av årets månader	155
	Vedlegg J – Sertifiseringskriv solfangarar	156
	Vedlegg K – Konsentrerende solfangarar.....	159

Figurliste

Figur 2-1	Isotermar for eit utval matvarer - datapunkt og tilpasningar (Stavros Yanniotis, 2009)	5
Figur 2-2	Sorpsjonshysterese (A.H. Al-Muhtaseb, 2002)	6
Figur 2-3	Kvalitetsendrande prosessar i matvarer som funksjon av vannaktivitet (Hendman and Lund 2007)	7
Figur 2-4	Typiske soltørker. Basert på (Ekechukwu and Norton).....	19
Figur 2-5	Tørkekurve - periodisk tørking av potetskiver	27
Figur 2-6	Overflatefuktighet - periodisk tørking av potetskiver (Chou, Chua et al. 2000)	27
Figur 2-7	Moglege teknologiar for solkjøling	29

Figur 2-8 Parabolisk disksolfangarar. 6 stk 9kWe disk/stirling einingar under kontinuerlig driftssikkerhetstesting ved PSA-laboratoriet i Spania (Becker, Meinecke et al. 2000)	33
Figur 2-9 Parabolisk trausolfangar (Brakmann 2003)	35
Figur 2-10 Utvalde teknologiar for solkjøling	40
Figur 3-1 Tørkekurve for matvare med høgt fuktinnhald (Sokhansanj and Jayas 2007)	41
Figur 3-2 Mollierdiagram - fuktig luft	42
Figur 3-3 Skjematisk illustrasjon av system for elektrisk solkjøling (Kim and Infante Ferreira 2008) ...	43
Figur 3-4 Varmepumpekrets	44
Figur 3-5 ph-diagram – konvensjonell dampkompresjonssyklus	45
Figur 3-6 Ejektor-kjølelrets	47
Figur 3-7 ph-diagram ejektor-kjølekrets	47
Figur 3-8 Grunnleggjande termodynamisk skisse over termisk driven varmpumpe/kjølar (Henning 2007)	48
Figur 3-9 Kjølevirkningsgrad for sorpsjonskjølarar og øvre termodynamisk grense (Henning 2007) ...	49
Figur 3-10 Absorpsjonsvarmpumpe - fundamentale prosessar: Absorpsjon og separasjon (Srikhirin, Aphornratana et al. 2001)	50
Figur 3-11 Absorpsjonsvarmpumpe - fundamental virkemåte (Srikhirin, Aphornratana et al. 2001)	51
Figur 3-12 Solkjøling med absorpsjonsvarmpumpe (Kim and Infante Ferreira 2008)	52
Figur 3-13 Skjematisk illustrasjon av eitt-trinns absorpsjonskjølar (Gomri 2009)	53
Figur 3-14 Skjematisk illustrasjon av to-trinns absorpsjonsvarmpumpe (Gomri 2009)	54
Figur 3-15 Virkningsgrad for LiBr-vatn absorpsjonskjølar med kondensatortemperatur 39°C (Gomri 2009)	55
Figur 3-16 Samanheng tørke kjølekrets. Basert på Colak og Hepabsli (2009)	56
Figur 3-17 Frittstående solcellebasert energiforsyning	62
Figur 3-18 Typiske solfangarkarakteristikkar	65
Figur 4-1 Prinsippskisse av tørka	67
Figur 4-2 Prinsippskisse av tørkekammeret	68
Figur 4-3 Fuktinnhald som funksjon av tid - eksperiment 1.	79
Figur 4-4 Samla tørkerate for heilt tørkelasta som funksjon av tid - eksperiment 1.	80
Figur 4-5 Breidde som funksjon av tid - eksperiment 1.	81
Figur 4-6 Fuktinnhald som funksjon av tid - eksperiment 2.	82
Figur 4-7 Samla tørkerate for heile tørkelasta - eksperiment 2.	83
Figur 4-8 Breidde som funksjon av tid - eksperiment 2.	84
Figur 4-9 Fuktinnhald som funksjon av tid - eksperiment 3.	87
Figur 4-10 Samla tørkerate for heile tørkelasta - eksperiment 3.	88
Figur 4-11 Breidde som funksjon av tid - eksperiment 3.	89
Figur 4-12 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, fuktinnhald som funksjon av tid, lik totaltid.	92
Figur 4-13 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, tørkeratar som funksjon av tid	94
Figur 4-14 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, fuktinnhald som funksjon av tid, lik energibruk	95
Figur 5-1 Tørkecontaineren	106
Figur 5-2 Fisk på brett, stabla på vogner	107
Figur 5-3 Mollierdiagram fuktig luft - tørkeluftkretsen	108
Figur 5-4 ph diagram – dampkompresjon med R717-ammoniakk	111

Figur 5-5 Virkningsgradar for eitt-trinns og to-trinns LiBr/vatn-absorpsjonsvarmepumpe med fordampartemperatur 4°C og kondensatortemperatur 39°C	113
Figur 5-6 Månadleg gjennomsnittleg total døginnstråling - Mumbai	114
Figur 5-7 Algoritme for å finna H_t for alle månader	115
Figur 5-8 H_t for Mumbai ved ulike program for justering av flatehelninga β	116
Figur 5-9 Årleg total innstråling på ved ulike program for justering av flatehelninga β	116
Figur 5-10 Algoritme for å estimera I_t	117
Figur 5-11 Innstrålt effekt over døgnet på ei flate med helning 19° mot sør i Mumbai	118
Figur 5-12 Momentan sol-varme-virkningsgrad for ulike typar solfangarar som funksjon av fluidtemperatur.....	120
Figur 5-13 Algoritme for å estimera produsert nyttbar termisk energi på grunnlag av innstrålt effekt	121
Figur 5-14 Årsvirkningsgrad for ulike typar termiske solfangarar med fast helning 19° mot sør i Mumbai.....	121
Figur 5-15 Virkningsgrad for varmemotor med varmesluk 40°C som funksjon av drivtemperatur	122
Figur 5-16 Total sol-kjøling-årsvirkningsgrad for ulike systemløyningar	124

Tabelliste

Tabell 2-1 Kvalitetskriterium for tørka mat. Basert på Rahman (2007)	12
Tabell 4-1 Oversikt over råmaterialet som vart tørka i dei ulike eksperimenta.....	69
Tabell 4-2 Driftsplan eksperiment 1	70
Tabell 4-3 Driftsplan eksperiment 2	71
Tabell 4-4 Driftsplan eksperiment 3	71
Tabell 4-5 Tørkebetingelsar for dei ulike eksperimenta	73
Tabell 4-6 Nøkkeltal - eksperiment 1	82
Tabell 4-7 Nøkkeltal - eksperiment 2	85
Tabell 4-8 Nøkkeltal eksperiment 3	90
Tabell 4-9 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, tørkeratar relativt til totaltid og driftstid..	93
Tabell 4-10 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, initielt og endeleg fuktinnhald med same driftstid.....	96
Tabell 4-11 Endeleg fuktinnhald – målte verdiar og verdiar kalkulert på grunnlag av initielt fuktinnhald og vekttap	97
Tabell 4-12 Fargemålingar før og etter tørking for alle eksperiment.....	99
Tabell 4-13 Nøkkeltal for alle eksperiment	101
Tabell 5-1 Tørkeluft tilstandstabell	108
Tabell 5-2 Nøkkeldata for tørka	109
Tabell 5-3 Dampkompresjon med R717-ammoniakk - tilstandstabell.....	111
Tabell 5-4 Kostnader for solfangarar og kjølemaskiner	125
Tabell 5-5 Oppsummering av solfangarareal, solfangarkostnad og kjølkostnad for ulike systemløyningar. Skuggelagde celler representerer konsentrerende solfangarar (+ varmemotor i tilefellet med dampkompresjon)	126
Tabell 5-6 Årsvirkningsgrad for konsentrerende solkraft i Mumbai	129

1 Innleiing

Tørking av mat har vorte omtala som ei av dei største bragdene til mennesket, då det gjer oss mindre avhengig av dagleg mattilgang, særskild under uheldige omstende. Mesopotamiarane laga salta og tørka fisk så langt tilbak som 3500 f.kr, soltørking av kjøt og fisk har vorte praktisert sidan 2000 f.kr, tørka grønnsaker har vorte seld i om lag eit århundre medan tørka supper har vore på marknaden mykje lengre. Også frå eit energibruksperspektiv fortjener tørkeprosessar stor merksemd, då den mest nytta preserveringsmetoden nytta av mennesket, også er av notidas mest energiintensive einingsprosessar. Tørkeprosessar står for opp til 15% av industrielt energibruk.

openbare fordelar som låge investerings- og driftskostnader, samt uavhengighet av brenseltilgang, gjer soltørking til ein populær tørkemetode i heile verda. Til tross for stor variasjon i teknikkar finst det ei rekkje generelle problem: Store avlingstap kjem som følge av utilstrekkeleg tørking, sopp, insekt, fuglar, gnagarar, støv og søppel, samt uventa nedbør og andre uforutsette værforold. Dersom klimaet er varmt og tørt skulle forholda ligga til rette, men værdata sjølv frå dei mest eigna stadene syner at gode nok værforhold ikkje alltid er tilstades. Tropiske område er kjenneteikna av varmt og fuktig klima, og desse områda vil altså krevja meir effektive tørkesystem.

Varmepumpetørker har mange fortrinn framfor varmluftstørker når det kjem til tørking av mat; Høg energieffektivitet, produktkvalitet, og moglegheiten til å operera uavhengig av utemiljø er blant dei, men i motsetnings til soltørking krevst det mekanisk eller termisk energi i kontrollerte former.

Hovudmålet med denne rapporten er å kartlegga og evaluera moglege systemløysingar for varmpumpetørking som kun er avhengige av sola som energikjelde. I tillegg til sjølve tørka vil ei systemløysing bestå av eit kjøleanlegg til luftavfukting, samt eit system for energiforsyning.

I litteraturstudiet vert det fyrst gjeve ei rask innføring i sentrale samanhengar kring fukt i matvarer, før det vert fokusert på korleis tørkebetingelsar påverkar tørkeforløp og kvalitetar ved ferdig tørka produkt. Det vert særleg fokusert på kvalitetsendringar under tørking av fisk og sjømat. Vidare i litteraturstudiet vert det fokusert på systemsida av tørkeprosessen; Ulike system for soltørking vert oppsummert før litteratur kring varmpumpetørking vert gjennomgått. Solbasert varmpumpetørking inneber solbasert kjøling, og siste del av litteraturstudiet er difor via ein gjennomgang av aktuelle solkjølingsteknologiar.

For å kunna vurdera dei ulike systemløysingane må det gjerast berekningar både på tørkesystemet og på energiforsyningssystemet. I teoridelen vert naudsynt teoristoff for desse berekningane

gjennomgått. Sentrale punkt i teoridelen er virkemåte og virkningsgradar for kjølerar og solfangarar. Det vert særskild fokusert på korleis ein kan berekna kor mykje solenergi som er tilgjengeleg for ein solfangar, time for time gjennom året.

Ein konsekvens av å basera ein tørkeprosess på solenergi, er tidsvarierende energiforsyning, og dermed tidsvarierende drift. Tørka kan gå om dagen når sola står høgt og, og må stå om natta. I kapittel 4 vert det difor gjennomført eksperiment for å kartlegga korleis ein slik tørkeprosess vil påverka tørkeforløpet. Eksperimenta vert gjennomført med torskefilet som produkt.

I kapittel 5 vert det, med utgangspunkt i ein standard 40-fots isolert ISO-container, dimensjonert ei varmepumpe-tørke med kapasitet til å tørka 122 tonn fisk (fersk vekt) årleg. Ulike systemløyningar for å levera naudsynt kjøle- og vifteenergi, med sola som einaste energikjelde, vert vurdert på grunnlag av arealbruk og investeringskostnader.

2 Litteraturstudie

Generelt om tørking

Det essensielle ved tørking er å redusera fuktinnhaldet til eit ønskeleg nivå. Tørking er ein todelt simultan prosess som består av 1: Varmetransport til produktet frå ei varmekjelde og 2:

Massetransport av fukt frå kjernen av produktet til overflata av produktet, og vidare frå overflata til omgjevnadane ved fordamping (Ekechukwu and Norton 1999). Ein fjernar fukt frå produktet ved oppvarming og fordamping, og fukta vert så transportert bort ved å la luft strauma forbi produktet (Ekechukwu and Norton 1999). Desse prosessane vil halda fram til damptrykket i produktet er det same som damptrykket i omgjevnadane, og likevekt er oppnådd (Ekechukwu and Norton 1999).

Massetransport av fukt frå kjernen til overflata er dominert av diffusjon, og denne prosessen er avhengig av fuktinnhald og produktets eigenskapar. Dersom den interne fukttransporten går seint vil det vera den avgrensande faktoren for tørkinga. Dersom den går tilstrekkeleg fort, vil fordampinga ved overflata vera den avgrensande faktoren (Ekechukwu and Norton 1999).

Tørking av mat

Fjerning av vatn frå faststoff er ein sentral del av matprosessering. Nesten alle matprodukt vert tørka minst ein gong, som del av tilberedinga (Sokhansanj and Jayas 2007). Tørking er ein tradisjonell prosess som har vorte brukt i mange hundre år, og det vert ansett som den eldste teknikken for konservering av mat (Kilic 2009; Vega-Gálvez, Miranda et al. 2011). Avfuktinga av produktet minkar vekst og reproduksjon av mikroorganismar som bidreg til nedbryting og forråtnelse av produktet, og målet er ein reduksjon av fuktinnhaldet til eit nivå der mikrobiell øydelegging og fuktrelaterte forringingsreaksjonar er minimerte, og ein kan lagra produktet over eit tidsrom (Kilic 2009; Vega-Gálvez, Miranda et al. 2011). Aktiviteten til mange mikroorganismar og insekt vert hindra i eit miljø der likevekts relativ fuktighet er under 70%. Tørking kan også minimera risikoen for uønska oksidative og enzymatiske reaksjonar som kan forkorta lagringstida til matvara (Sokhansanj and Jayas 2007). Reduksjon i vekt og volum som følgje av tørking vil igjen redusera kostnader for emballasje, pakking, lagring og transport (Fudholi, Sopian et al. 2010; Vega-Gálvez, Miranda et al. 2011). For utan mindre vekt og volum, vil ein for nokre produkt også oppnå generell lettare handtering, då eit tørt produkt "flyt" lettare enn eit vått produkt, og gravitasjonskrefter kan nyttast effektivt for lasting, lossing og kortdistanse transport. Tørking av mat kan også gjeva føremoner for vidare prosessering, som forbetra maling, miksing eller separering. Det krevst mykje mindre energi å mala eit tørt

produkt, det miksar seg jevnare med andre materiale, og er mindre klissete enn eit vått produkt (Sokhansanj and Jayas 2007).

Tørking har også vorte brukt som matsaneringstiltak, då insekt og mikroorganismar dør ved varmetilførsel og fuktdiffusjon. Saneringsaspektet av tørking er eit tid-temperatur fenomen, og temperaturen må i utgangspunktet vera over 60°C i eit tidsrom mellom 3 og 5 minutt. Lågare temperaturar ned til 48°C kan nyttast, men då bør varigheten vera 24 timar eller meir (Sokhansanj and Jayas 2007).

Tørking er ein viktig etterbehandling av avlingar då det kan forlenga holdbarheten, forbetra kvaliteten og redusera avlingstap. Mange ønska kvalitetsindikatorar og ernæringsmessige verdiar kan og aukast gjennom tørking. Smak kan forbetrast, og fordøyelegheit og metaboliske overgangar aukar. Endring av farge, smak og utsjånaden til produktet kan vera positivt eller negativt, alt etter sluttbrukaren (Sokhansanj and Jayas 2007). Eit anna viktig aspekt ved auka holdbarheit er ein forbetring av produsenten sin forhandlingsposisjon for å halda prisen relativt stabil (Fudholi, Sopian et al. 2010).

2.1 Fukt i matvarer

Det er vanleg at material inneheld eit mangfald av kappilærar, mikro- og makroporar, celler og miceller av varierende dimensjonar og formar. I slike material vil dei potensielle stadene som kan halda fukt vera avhengig av strukturell oppbygning. Eigenskapen eit material har til å binda fukt er avhengig av den innvendige strukturelle oppbygninga (Molnár 2007).

Den flyktige delen av eit matprodukt kan betegnast som fukt. Fukt, i form av vassmolekyl, er bunde til ulike delar av produktet på følgjande måtar:

- a) Ione-grupper, slik som karboksyl og aminosyrer
- b) Hydrogengrupper, slik som hydroksyl og amidar.

og i produkt med fuktinnhald over 50% (våt basis) finst det også

- c) ubunde vatn i porer og rom mellom cellene

Vanskelegheiten med å fjerna vatnet følgjer same rekkefylgje som over, slik at fukt i ione-grupper er vanskelegast å fjerna, og ubunde vatn er lettast å fjerna (Sokhansanj and Jayas 2007).

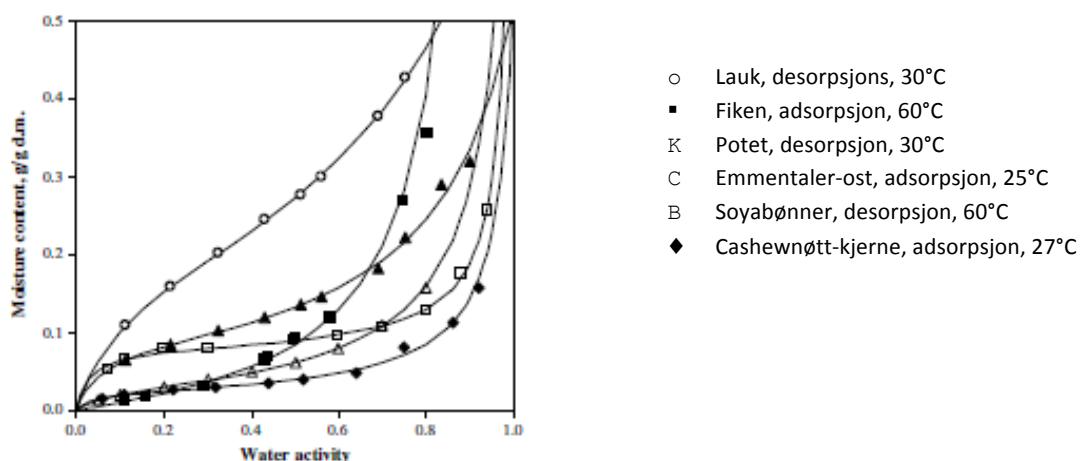
Likevekts fuktinnhald i eit materiale framkjem frå gjensidig påvirkning mellom materialet og omgjevnadane. Endringar i fuktinnhaldet til eit material kjem som konsekvens av betingelsane p_v og T , damptrykk og temperatur, ved overflata. Ved konstante betingelsar ved overflata vil den interne fuktdiffusjonen føregå til det interne damptrykket er i likevekt med damptrykket i omgjevnadane. Då er den interne fuktdistribusjonen stabil, og produktet har oppnådd det ein kallar likevekts fuktinnhald. I teorien tek det uendeleg lang tid å oppnå likevekts fuktinnhald, men det finst fleire metodar for å oppnå praktisk akseptable tilnærmingar innanfor begrensa tidsrom (Molnár 2007).

Det tilsvarande damptrykket i omgjevnadane ved same temperatur vert kalla likevekts damptrykk. Forholdet mellom likevekts damptrykk og metningstrykket er kjent som likevekts relativ fuktighet, eller vannaktivitet.

Karakteristisk funksjon av sorpsjons-likevekt

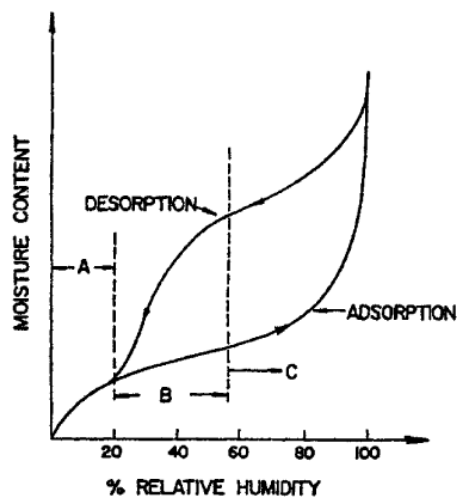
Likevekts fuktinnhald er i tillegg til materialeegenskapar avhengig av temperatur og damptrykk. Ved å setja temperatur, fuktinnhald, eller damptrykk konstant kan ein finna sorpsjons-isotermar (konstant temperatur), sorpsjons-isobarar (konstant damptrykk), og sorpsjons-isosterar (konstant fuktinnhald). Sorpsjons-isotermar er viktig informasjon for tørkeprosessar (Molnár 2007). Likevekts fuktinnhald for mat vert generelt funne eksperimentelt, så vert isotermar plotta ved å nytta dei eksperimentelle resultatata som inngangsvariablar i formalar tilpassa ulike typar material (Sokhansanj and Jayas 2007).

Figur 2-1 syner sorpsjons-isotermar for eit utval matvarer. Markeringane er eksperimentelle datapunkt, medan dei glatte kurvene er funksjonar tilpassa datapunkta. For kvart material er det oppgjeve kva temperatur isotermene gjeld for, og om dei er funne frå desorpsjon eller adsorpsjon.



Figur 2-1 Isotermar for eit utval matvarer - datapunkt og tilpassingar (Stavros Yanniotis, 2009)

Eit material kan nærma seg likevekts fuktinnhald frå to retningar. Gjennom tørking (desorpsjon) eller oppfukting (adsorpsjon). Verdien av likevekts damptrykk vil for kapillar-porøse material generelt vera avhengig av kva retning tilnærminga kjem frå. Dette fenomenet vert kalla sorpsjons-hysterese, og er illustrert i figur 2-2 ved typisk desorpsjon- og adsorpsjonsisoterm for same material.



Figur 2-2 Sorpsjonshysterese (A.H. Al-Muhtaseb, 2002)

for mange matvarer vil likevekts fuktinnhald variera med 2% avhengig av sorpsjonsretninga. Dette er grunnen til at det er viktig å skilja adsorpsjons-likevekt fuktinnhald frå desorpsjons-likevekt fuktinnhald (Molnár 2007; Sokhansanj and Jayas 2007).

Sorpsjonsisotermar er som oftast S-forma. Grunnen til dette er at tiltrekkinga mellom faststoffet og fukta, samt letteheten av fuktadsorpsjon/-desorpsjon er avhengig av måten fuktigheten bind seg til faststoffet. Dersom ein startar med eit knusktørt faststoff utstatt for fuktige omgjevnader, så vil det i området 5 – 10% fuktinnhald dannast eit enkelt lag med vassmolekyl. Neste fase er danninga av fleire lag med vassmolekyl og den siste delen av isotermen representerer fylling av kapillærporer med kondensert vatn (Sokhansanj and Jayas 2007).

Vannaktivitet og kvalitetsendrande prosessar i matvarer

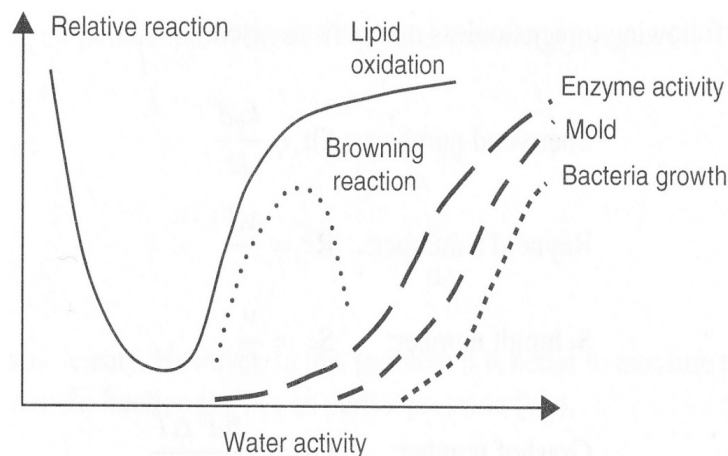
Rolla fukt spelar i tørking og lagring av mat er uttrykt som vannaktivitet. Vannaktivitet i fuktig mat er definert på eit liknande vis som reativ fuktighet er definert i fuktig luft, altså forholdet mellom damptrykk og metningstrykk ved same temperatur (Sokhansanj and Jayas 2007).

Vannaktiviteten relaterer til den kjemiske aktiviteten til fukt under tørking og lagring.

Oksidasjonsaktivitet er berre mogleg ved vannaktivitet høgare enne 0,4, og raten for inaktivering av

andre organismer krever ein vannaktivitet på 0,7 eller lågare. Nokre enzymatiske aktivitetar kan fortsetja ned til vannaktivitetar på 0,1-0,3, men reaksjonsraten avtek ved lågare vannaktivitetar (Sokhansanj and Jayas 2007).

Lipid-oksidering, bruningsreaksjonar, enzymaktivitet, muggsopp og bakterievekst er nokre av hovudreaksjonane som fører til kvalitetsendringar i matvarer. Figur 2-3 syner generelt korleis dei varierar med vannaktivitet for ei typisk matvare. Det vert gått nærare i detalj om korleis desse fenomenene fører til kvalitetsendringar, særskild for fisk og sjømat, i kapittel 2.3.3.



Figur 2-3 Kvalitetsendrande prosessar i matvarer som funksjon av vannaktivitet (Hendman and Lund 2007)

2.2 Tørking og temperatur

Av økonomiske omsyn vil ein helst ha raskast mogleg tørkerate, som ofte betyr høg tørketemperatur, men produktkvalitet må også takast med i betraktninga og ein må difor unngå for høge tørketemperaturar for visse produkt. Høg tørketemperatur vil heller ikkje alltid gjeva kort tørketid, då nokre produkt har ein tendens til å danna eit tørt overflatelag ved høge tørkeratar. Dette overflatelaget kan verta nærast ugjennomtrengelig for fukt frå kjernen av produktet. For å hindra dette i å henda er det viktig å ha god kontroll over tørkeprosessen, og varmetransport og fordampingsrate lyt kontrollerast nøye for å garantera optimale tørkeratar (Ekechukwu and Norton 1999).

Høge tørketemperaturar kan ikkje nyttast til varmesensitive produkt der det til dømes kan dannast sprekkar, eller ein kan få bruning av matprodukt som fører til dårlegare smak. For tørking av t.d. medisinske planter kan for høge temperaturar føra til fordamping av essensielle aktive ingrediensar (Fudholi, Sopian et al. 2010).

Avhengig av tørkebetingelsar kan mat gjennomgå ulik grad av bruning, krymping, tap av næringsstoff osv. Mat som frukt og grønnsaker består av vatn, karbohydrat, protein og fraksjonar av lipidar. Desse forbindelsane vert lett modifiserte ved høg-temperatur tørkebetingelsar, og resulterer i degradering av matkvaliteten (Colak and Hepbasli 2009).

Høg temperatur under tørking fører til fleire irreversible biologiske og kjemiske reaksjonar, i tillegg til strukturelle, fysiske, og mekaniske modifikasjonar som inkluderer fargeendring, skorpedannelse, nedgang i sensorisk kvalitet, deaktivering av bakteriar og enzym, tap av næringsstoff og aroma, og endringar i form og tekstur. I tilfellet fiskekvalitet betyr dette uønska smak, farge, vitaminforvitring og tap av essensielle aminosyrer. Desse eigenskapane til fersk mat kan bevarast dersom tørkinga kan gå ved lågare temperaturar. Lågare temperaturar har positiv innverknad på kvaliteten til biologiske material, men gjev også lengre tørketid som vil ha motsatt effekt på kvaliteten. Lengre tørketid vil også bidra til høgare driftskostnader (Kilic 2009). Samanhengar mellom generelle indikatorar for fiskekvalitet og tørketemperatur har vorte undersøkt gjennom eksperiment ved tørking av regnbogeaure (*O. mykiss*) ved LTHV-tørking (Low temperature high velocity). Lågare tørketemperatur viste ein korrelasjon med kvalitetsverdiar. Fiskeprøvar vart tørka ved 4, 10, 15 og 20 °C, og tørketemperatur på 4° vert føreslege for praktiske applikasjonar då dette resulterte i lågare verdiar på MSR, TVB-N, TBARS, FF, TVC, TPC og TYM som er generelle indikatorar for fiskekvalitet (Kilic 2009).

2.3 Tørking av fisk og sjømat

Mat har generellt sitt opphav frå to hovudkjelder; planteriket og dyreriket. Fisk og anna sjømat er hovuddietten til ei rekkje dyreartar. Historia har prova tørking som ein god måte å preservera mat på, og tørking er i dag ein av dei viktigaste prosessane i matvareindustrien. Tørking er den mest brukte preserveringsmetoden nytta av menneske (Rahman 2007).

Mesopotamiarane laga salta og tørka fisk så langt tilbake som 3500 før Kristus. Soltørking av kjøtt og fisk har vorte praktisert sidan 2000 f.kr, tørka grønnsaker har vorte seld i om lag eit århundre og tørka supper har vore på marknaden mykje lenger. Tørka fisk vart særskild viktig då den romerske kyrkja forbaud eting av kjøtt på fredagar og under faste (Rahman 2007).

Tørking i tidlegare tider vart gjort i sola, men no finst det eit utval av sofistikerte metodar og utstyr for tørking. I dei siste tiåra har det vorte lagt ned betydeleg innsats og ressursar for å forstå nokre av dei kjemiske og biokjemiske endringane som kjem som følgje av tørking, og for å utvikla metodar for å hindra uønska kvalitetstap (Rahman 2007).

Basert på kor mykje verdi som vert tilført mat gjennom tørking, kan ein grovt dela mat i tre kategoriar. Medan tørking av kornprodukt, belgfrukter og rotfrukter gjev særst lite verdiauke, vil tørking av fisk auka verdien av vara betrakteleg. I same gruppe som fisk finn me frukt og grønt. Kostbare avlingar som krydder, urter, medisinplanter, nøtter, bioaktive material og enzym tilhøyrer gruppa der tørking tilfører størst verdiauke. Samanlikning vert gjort på vektbasis (Rahman 2007).

2.3.1 Salting og konservering

Opprinneleg vart saltkonservering av matvarer gjort ved tilsetjing av natriumklorid (koksalt), medan i dag vert både natriumklorid, natrium- og kaliumnitritt og nitrat ansett som konserveringssalt. I næringsmiddelindustrien er saltkonservering relatert til visse typar kjøt, fisk og osteprodukt. Gjennom salting vert fersk fisk omgjort til eit lagringsstabilt produkt ved å redusera fuktinnhaldet, og ved å virka som konserveringsmiddel. Salting er ein av dei vanlegast nytta forbehandlingane for fiskeprodukt, og i kombinasjon med tørking bidreg nemnde prosessar til utviklinga av karakteristiske sensoriske kvalitetar. I tillegg til salting har det gjennom fleire årtusen vorte utvikla andre metodar for konservering, særleg fermentering, røyking, tørking og varmebehandling (Rahman 2007).

Salting av kjøt og fisk følgjer litt forskjellige malar. For kjøt vert det alltid tilsett salt og nitrat eller nitritt. For fisk vil ein alltid tilsetja salt, men sjeldan nitritt. Gjennom dei siste 50 åra har det vorte utvikla salta produkt som må kjølast for å vera lagringsstabile, og dei siste tiåra har også pakking og emballasje vorte sentralt for å forlenga lagringstida. Salta kjøt kan grovt klassifiserast i tre grupper, etter varmebehandling: Uoppvarma, mildt varma (pasteurisert til kjernetemperatur 65-70°C), og hardt varma (lagringsstabilt etter varming til 100-120°C) (Rahman 2007).

I tillegg til ovanfor nemnde konserveringsmetodar vert det ofte nytta ulike tilsetjingsstoff for å oppnå eller bevara ønska endringar i farge, pH, tekstur og smak (Rahman 2007).

Salting av fisk kan gjerast ved å legga fisken i ei saltløyning, eller å tørrsalta den. I tilfelle lakesalting så vil absorberinga av salt vera avhengig av lake-konsentrasjon, temperatur, saltetid, tjukkeleik og geometrien til fisken, tekstur, feittinnhald, fiskeslag og fiskekvalitet. Fiskekjøt absorberer salt raskare frå ein sterk lakekonsentrasjon. Lake sterkare enn 15,8% tenderer til å redusera fuktinnhaldet i i fisken, noko som er ønskeleg i nokre produkt. Når det er sagt så vil ikkje sterk løyning og kort tid alltid gjeva ein jamn fordeling av saltet inn til kjernen av fisken (Rahman 2007).

Tørrsalting inneber at ein legg fisk lagvis med eit tynt lag salt mellom fiskelaga. Fordelen med tørrsalting er at den fjernar fukt frå fisken, men baksida er ujamn saltabsorpsjon (Rahman 2007).

Under salting vert vatn trekt ut av fiskekjøtet, salt trekker inn i vevet og vatnet i fisken vert til ein konsentrert saltlake. Når nok salt trenger inn i fisken reagerer det med alle proteina og fører til koagulering. Når vevs-cellene krympar grunna tap av ein stor del av fuktinnhaldet mistar fisken mesteparten av den gjennomsiktige framtoningen og følest ikkje klistrete å ta på (Rahman 2007).

Salt har stor effekt på ultrastrukturen, og dermed fuktbindinga til fiskemusklar. Det har større effekt enn frysing, tørking og varmebehandling (Rahman 2007).

Salting påverkar lufttørkeprosessen ved å redusera diffusjonsraten. Saltkonsentrasjonen har også stor innvirkning på fordampingsraten på overflata. I tillegg vil fisken avhengig av saltinnhald og relativ fuktighet reabsorbere fukt frå omgjevnadane under lagring (Rahman 2007).

I Noreg er det lang tradisjon for produksjon av klippfisk. Klippfiskproduksjon kan ha følgande forløp. Fisken går frå fuktinnhald (våt basis) om lag 70% til om lag 55% i salteprosessen, og er då metta med salt. Vatnet i fisken vil då ha om lag 21% saltinnhald. Gjennom vidare tørking vert fisken tørka til fuktinnhald om lag 45%. Då er vannaktiviteten under 0,6, og fisken er stabil (Eikevik 2011).

2.3.2 Tørkebetingelsar

Tørkeprosessar kan grovt delast inn i tre kategoriar avhengig av metoden for å fjerna vatnet. Termisk tørking, osmotisk dehydrering, og mekanisk avvatning. I termisk tørking nyttar ein gass eller vakuum for å fjerna fukt frå materialet (Rahman 2007).

Tørking preserverer mat ved å redusera vannaktiviteten, og dermed hindra mikrobiell vekst og forringande kjemiske reaksjonar. Varmen sin effekt på mikroorgansimar og enzymaktivitet er også viktig. Dehydrering preserverer fisk ved å øydeleggja enzym og ved å fjerna fukt som er nødvendig for mugg og bakteriell vekst. Forringing og forderving av fiskekjøt kjem særkild frå bakteriar. Feit fisk kan ikkje tørkast med vanlege tørkeprosessar, og det er ikkje mogleg å lagra den på den vanlege måten. Fiskeoljer eller fiskefeitt er tørkande oljer, som raskt absorberer oksygen frå lufta og herdar, akkurat som maling herdar i kontakt med luft. Feit fisk må tørkast raskt i vakuum, og må lagrast i vakuum eller i modifisert atmosfære med ein stabil gass (Rahman 2007).

Tidlegare vart berre soltørking nytta for fisk. Der klimaet ikkje er spesielt høveleg for lufttørking, eller ein ynskjer betre kvalitet vert hovudsakleg mekanisk lufttørking nytta. I dag så vert sol- og mekanisk tørking nytta i utstrakt komersiell grad. Fisk og anna sjømat kan tørkast ved konveksjon, vakuum eller frysetørking. Konveksjons-lufttørking er mykje nytta p.g.a. låge investerings- og driftskostnader

samanlikna med vakuum og frysetørking. Generelt så gjev vakuum og frysetørking dei beste resultat, men høge kostnader dreg motsatt veg (Rahman 2007).

Faktorar som påverkar tørkeraten er temperatur, luftfuktighet, lufthastighet, luftdistribusjon, luftskifte og karakteristik og tjukkelse på kjøtet. Fuktjerning frå fiskekjøt krever varme, då det er ein prosess som byggjer på overflatefordamping. Generelt så føregår fordampinga fortare ved høgare lufttemperaturar, men ved for rask oppvarming av overflata kan det dannast eit hardt sjikt (hovudsakleg tørka oppløyselig protein) som hindrar fukttransport. Dette herdingsfenomenet kan redusera tørkeraten dramatisk, og må hindrast. Tørr luft tek opp fukt frå overflata raskare enn fuktig luft. Den relative fuktigheten til lufta minkar når temperaturen aukar. Fordampingsraten frå overflata er proporsjonal med lufthastigheten. Generelt så fører høgare lufthastighet til høgare fordampingsrate (Rahman 2007).

Tidlegare var det vanleg å starta tørkeprosessen for klippfisk ved relativt låge 17°C. Dette var begrunna med at høgare temperaturar i større grad ville danna ei hard og tørr skorpe som hindra vidare fuktdiffusjon frå kjernen av fisken, og slik resulterte i eit seinare tørkeforløp totalt sett. I eksperimentelle forsøk syner derimot Strømmen at skorpedannelsen fyrst og fremst er avhengig av kor mykje vatn som er fjerna, og ikkje kor fort vatnet vert fjerna. Det vert difor konkluderte med at, innanfor det undersøkte spennet 11°C/70%RH – 26°C/30%RH, så er optimale tørkebetingsar med hensyn til total tørketid så tørr og varm tørkeluft som mogleg (Strømmen 1980).

Ved tørking av kolje og sild så har me samanhengen at høgare tørkelufttemperatur gjev meir stabilt produkt. Ved tørking ved 80-90 °C så fører nedbryting av protein, eller den ikkje-feite delen av fisken, til produksjon av stoff med antioksidations-eigenskapar. Altså, tørking ved 80-90°C gav meir stabilitet til fiskefeittet (Rahman 2007).

Tørketemperaturar opp til 96°C kan brukast i den initielle tørkefasen utan skadeleg effekt. Når produktet vert tørrare lyt ein nytta lågare temperaturar for å hindra brenning, og i seinare fasar så vert det fråråda å nytta temperaturar over 63°C. Relativ fuktighet mellom 10 og 40% har ingen merkbar effekt på kvaliteten til produktet. Låg fuktighet og høg initiell tørketemperatur er effektivt for å auka tørkeraten. Resultat frå British Food Investigation Board anbefalte ein maksimal temperatur på 70°C (Rahman 2007).

Fisk vert normalt plassert på maska brett i eit lag, eller hengt i hyssing eller liknande for å betra luftsirkulasjonen rundt fisken. Luftsirkulasjonen kan vera horisontal eller vertikal i forhold til fiskelaga. Faktorar som teksturen til kjøtet, feittinnhald og skilnad mellom artar påverkar transporten av fukt frå kjernen til overflata av stykket som vert tørka, og påverkar dermed tørkeraten. Generelt

sett, så tørkar fast fisk med høgt oljeinnhald seinare enn laus fisk med lite feittinnhald. Når det er sagt så har fisk med høgt oljeinnhald mindre fuktinnhald i utgangspunktet, og kan trenga mindre tørking (Rahman 2007).

Dei seinare bruksområda for energieffektiv varmpumpetørke, tørking med modifisert atmosfære, kan verta brukt til betre kvalitet og prosesseffektivitet. Varmepumpetørking gjev mange fordelar samanlikna med konvensjonelle varmluftstørker for tørking av mat, som betre energieffektivitet, betre produktkvalitet og moglegheit til å driva uavhengig av værforhold. I tillegg så kan kondensat gjenvinnast, og ein kan kvitta seg med det i høvelege former. Det kan også vere potensiale for å gjenvinna verdifulle flyktige bestanddelar frå kondensatet (Rahman 2007).

2.3.3 Kvalitetsendringar i fisk under tørking

Kor fersk fisken er i utgangspunktet spelar ei viktig rolle for fastsetjinga av stabiliteten til den tørka fisken. Ferskare råvare gjev meir stabilt resultat etter tørking. Kvalitetskriteria til tørka mat kan sorterast som mikrobielle, kjemiske, fysiske og ernæringsmessige kvalitetskriterium (Rahman 2007).

Tabell 2-1 oppsummerer oppdelinga, med kva fenomen som ligg under kva kategori.

Kvalitetskriterium for tørka mat			
Mikrobiell	Kjemisk	Fysisk	Ernæringsmessig
Patogen	Bruning	Rehydrering	Tap av vitaminar
Skjemming/forderving	Oksidasjon	Løyselegheit	Tap av protein
Toksin	Fargeendring	Tekstur	Tap av funksjonalitet
	Luktutvikling	Lukt-tap	Tap av fettsyrer
		Porøsitet	
		Krymping	
		Porekarakteristikk	

Tabell 2-1 Kvalitetskriterium for tørka mat. Basert på Rahman (2007)

2.3.3.1 Mikroflora i tørka fisk

Fisk er utsatt for rask mikrobiell nedbryting, og adekvate hensyn må takast i tørkeprosessen.

Mikrobielle standardar er vanlegvis basert på totale antal indikatororganismar eller antal patogen (patogen = "Det som forårsakar sjukdommar" (Ordnett.no 2011)). Mikrobiell aktivitet og dens endringar under tørking er viktig informasjon for etablering av standardar som vil sikra matsikkerhet.

Dårleg handtering og prosessering og dårlege lagringsmetodar gjev ofte utslag i begrensa lagringstid for salta og tørka fisk. Når det gjeld preservering av mat ved tørking så er det viktig å maksimera inaktiveringa av mikroorganismar for å hindra forderving og auka tryggleiken. Dersom ein skal tørka bakteriekulturar så vil ein derimot minimera inaktiveringa av mikroorganismar. Dette syner at kva effektar av tørking som er ønskeleg varierer avhengig av målet med tørkinga (Rahman 2007).

Studiar av mikrobiell kvalitet på kommersiell tilgjengeleg tørka makrell på Filipinane synte ingen bevis på forderving når prøvane hadde vannaktivitet mellom 0,72 og 0,74. Salting og tørking minka den mikrobielle lasta, men eliminerte ikkje patogena (Rahman 2007).

Mikrobiell vekst på fisk under varmpumpetørking ved låge temperaturar har vorte studert. Temperatur og relativ fuktighet varierte frå 20-40°C og 20-60%. Det vart funne at mikroorganismar vaks under tørking av lett forgjengeleg mat, slik som fisk. Lågare temperatur førte til mindre vekst uavhengig av relativ fuktighet. Svovelproduserande organismar utgjorde ein stor del av floraen (Rahman 2007).

Studiar har vorte gjort kring endringar i mikrofloraen ved tørking av hakka tunfisk ved konveksjons lufttørking mellom 40-100°C. Tørketemperaturar på 50°C og mindre synte ingen dødelig effekt på mikrofloraen og synte ein betydeleg vekst. Tørketemperaturen for fisk må vere over 60°C for å unngå mikrobiell risiko i produktet. Kva temperatur over 60°C som er optimal må bestemast frå andre kvalitetsparameterar for tørka fisk (Rahman 2007).

Potensielle kvalitetsforbetringar i tørka produkt er store fordelar ved bruk av varmpumpetørking. Ein av dei hovudgrunnane til at ein kan oppnå kvalitetsforbetringar, er varmpumpetørka sin eigenskap til å operera ved lågare temperaturar. Adekvate forholdsreglar må takast ved varmpumpetørking under 50°C for lette forgjengelege produkt, slik som fisk (Rahman 2007).

Redusering av vannaktiviteten til eit produkt hindrar vekst, men gjev ikkje eit sterilt produkt. Høgast mogleg tørketemperatur bør nyttast for å maksimera termisk død, sjølv om lågare temperaturar er betre for å bevare organoleptiske karakteristikkar (organoleptisk = "som verkar på sansane. Særskild om prøving av lukt, smak, form og konsistens av ei vare" (Ordnett.no 2011)). Andre alternativ er å nytta høg temperatur fyrst når fuktinnhaldet i produktet er høgt, for så å tørka ved lågare temperatur (Rahman 2007).

2.3.3.2 *Bruning*

Bruningsreaksjonar endrar farge, minkar næringsinnhald og løyselegheit, skapar bismakar og fører til teksturendringar i fiskekjøt. Reaksjonane kan vere enzymatiske eller ikkje-enzymatiske, der sistnemnde er mest aktuell i forhold til tørkeprosessar. To hovudtypar ikkje-enzymatisk bruning er

karamellisering og Maillard bruning. I tillegg til fuktinnhald, temperatur og pH, vil komposisjonen av alle parameterane påverka raten av ikkje-enzymatisk bruning. Bruningsraten er høgast ved moderat fuktinnhald, og minkande i begge endane av fuktinnhald-spekteret. Bruning har ein tendens til å opptre primært midt i tørkeperioden (Sjå figur 2-3). Bruning er også meir alvorleg mot slutten av tørkeforløpet når fuktinnhaldet i produktet er lågt, og produkttemperaturen aukar p.g.a. lite fordampingskjøling på produktet. Det finst fleire forslag for å minka bruningsreaksjonar under tørking. I alle tilfelle vert det lagt vekt på at produktet ikkje skal vera utsatt for unødvendig varme når fuktinnhaldet er i spekteret der produktet er særskild utsatt for bruning (Rahman 2007).

Maillard-type ikkje-enzymatisk bruning i prosesserte kjøttprodukt bidreg til endring i overflatefargen. Bruning skjer ved temperaturar på 80-90°C og aukar med tid og temperatur. Eit resultat av bruningsreaksjonen er tap av aminosyrer og sukker (Rahman 2007).

Potter fann at Maillard-bruning skjer fortast når fuktinnhaldet er redusert til 15-20%, og at reaksjonsraten minkar ved vidare dehydrering. I produkt tørka til under 2% fukt er ikkje vidare fargeendring merkbar, sjølv etter vidare lagring. Tørkesystem eller oppvarmingsplanar er generelt designa for å dehydrera fort gjennom spekteret 15-20% fukt, for å minimera tida til Maillard-bruning. I karbohydrat-mat kan ein kontrollera bruning ved å fjerna eller unngå amin, og i proteinmat kan ein eliminera det reduserande sukkeret (Rahman 2007).

Strømmen gjorde eksperimentelle forsøk med tørking av torsk, og fann at "brenning" av torsk fyrst inntre ved tørketemperaturar over 27°C (Strømmen 1980).

2.3.3.3 *Lipidoksidering*

Fiskeolje og fiskefeitt er meir umetta enn kjøtt- og smørfeitt, og dei er oftast kategorisert som tørkande oljer fordi dei inneheld ein betydeleg andel høgst umetta syrer. Reaksjonen mellom tørkande oljer og atmosfærisk oksygen er godt kjent, og oksidering er eit stort problem for kommersiell tørking av feit fisk og sjømat. Kjøttet til nokre typar feit fisk, slik som sild, inneheld feitt pro-oksydant som ikkje vert heilt inaktivert ved varme aleine (Rahman 2007).

Lipid-oksidering er ansvarleg for harskhet, utvikling av bismakar og tap av feittløyslege vitaminar og pigment i mange matvarer, særskild i tørka mat. Faktorar som påverkar oksidasjonsraten inkluderer fuktinnhald, type substrat (feittsyre), omfang av reaksjonen, oksygeninnhald, temperatur, nærvær av metall, naturlege antioksidantar, enzymaktivitet, UV-stråling, proteininnhald, innhald av frie aminosyrer, og andre kjemiske reaksjonar. Fuktinnhald spelar ei stor rolle for raten av oksidering. Ved vannaktivitetar rundt 0,3 er motstanden mot oksidering størst (Rahman 2007).

Fjerning av oksygen frå mat kan redusera oksidering, men oksygenkonsentrasjonen må vera særst låg for å ha ein effekt. Oksygen sin effekt på lipidoksidering heng også tett saman med produktet sin porøsitet. Frysetørka mat er meir utsatt for oksygen p.g.a. høg porøsitet. Lufttørka mat tenderer til å ha mindre overflate grunna krymping og er derfor mindre utsatt for oksygen. Litteraturen anbefalar minimering av oksygenivået under prosessering og lagring, samt tilsetjing av antioksidantar for å forhindra lipid-oksidering (Rahman 2007).

Tilsetjing av antioksidantar til sild før tørking er ineffektivt, men tilsetjing av vedrøyk til tørkelufta stabiliserer feittet i det tørka produktet betydeleg. Vedrøyken inneheld nokre enkle antoksidative karbolsyrer (Rahman 2007).

Oksidering av feittet skjer normalt under dehydrering. Sild tørka ved 80-90°C var meir lagringsstabil samanlikna med sild tørka ved lågare temperaturar. Ein faktor som kan vere viktig er produksjonen av bruningsprodukt, som har antioksidative eigenskapar. Effektiviteten til ikkje-enzymatiske bruningsprodukt for hindring av lipidoksidering vart demonstrert, og det er ein av mekanismane som er foreslått for å hindra lipid-oksidering (Rahman 2007).

2.3.3.4 Krymping og poredanning

Glasovergangsteorien er eit av konseptane som kan forklara krymping og kollaps. I fylgje glasovergangsteorien vert det mindre kollaps (meir porer) dersom materialet vert prosessert under glasovergangstemperatur, og jo større differansen er mellom prosesseringstemperatur og glasovergangstemperatur, jo meir kollaps vert det. Frysetørking og varmluftstørking kan samanliknast ved hjelp av dette konseptet. Under frysetørking føregår tørkinga under glasovergangstemperatur, materialet er i "glasfasen", og krymping er neglisjerbart. Resultatet er eit veldig porøst produkt. I varmluftstørking derimot så er tørketemperaturen over glasovergangstemperatur, materialet er i "gummifasen", og ein vil få betydeleg krymping. Resultatet er eit tørka produkt som er tett og innskrunpa. Glasovergangstemperatur for fisk og kjøt varierer frå -11 - -15°C (Rahman 2007).

Glasovergangsteorien stemmer ikkje for alle produkt. Andre konsept, som overflatespenning, struktur, omgivelsestrykk, og mekanismar for fukttransport spelar også viktige roller for forklaringa av poredanning. Det har vorte forma ein hypotese om at sidan kappilærkrefter er hovudkrafta ansvarleg for kollaps, så kan ein få poredanning og mindre krymping ved å motvega denne krafta (Rahman 2007).

I kor stor grad eit tørka materiale rehydrerer er påverka av av strukturelle og kjemiske endringar som følgje av dehydrering, prosessbetingelsar, prøvetilberedning, og prøvesamansetjing. Rehydrering er maksimert når strukturelt og cellulært samanbrudd, slik som krymping, er minimert (Rahman 2007).

Den tilsynelatande krympinga til eit material under prosessering kan definerast som forholdet mellom tilsynelatande volum etter prosessering, og tilsynelatande volum før prosessering. Den tilsynelatande krymping-koeffisienten indikerer den generelle krympinga til eit material. Isotropisk og anisotropisk krymping er dei vanlegaste formane for krymping innan matvarer. Isotropisk krymping kan beskrivast som uniform krymping i alle geometriske retningar, medan anisotropisk krymping vert beskrive som ikkje uniform krymping i ulike geometriske retningar. I mange tilfelle er det viktig å estimera endring i alle karakteristiske geometriske retningar for å karakterisera eit material. I tilfellet med musklar, som i fisk og sjømat, er det stor skilnad på krymping parallelt og vinkelrett på muskelfibrane under lufttørking. Dette står i kontrast til den strengt isotropiske krympinga til dei fleste frukter og grønnsaker (Rahman 2007).

2.3.3.5 *Rehydrering*

Rehydrering er prosessen med å oppfukta tørt materiale. Dette vert for det meste gjort ved rikelege mengder vatn. I dei fleste tilfelle vert tørka fisk bløyta i vatn før koking eller eting, noko som gjer rehydrering til eit viktig kvalitetskriterium. I praksis så er dei fleste endringane som skjer gjennom tørking irreversible, og ein kan ikkje sjå rehydrering som den reverserte prosessen til dehydrering (Rahman 2007).

Generelt så går absorpsjonen av vatn fort i byrjinga, før den sakkar. Hurtig fuktopptak er p.g.a. overflate- og kapillærsuging. Faktorane som påverkar rehydreringsprosessen har vorte undersøkt. Desse faktorane er blant anna porøsitet, kapillærar og hulrom nær overflata, temperatur, fanga luftbobler, løyseleg faststoff, tørrhetsgrad, anionar (negativt ladde ion) og pHen til vatnet som skal absorberast. Porøsitet, kapillærar og hulrom nær overflata forbetrar rehydreringsprosessen, medan fanga luftbobler er ei stor hindring for inntrenging av vatn. Generelt så vil temperatur bidra sterkt positivt til den tidlege fasen av vatn-rehydrering. Krystallstrukturar gjev motstand mot oppløysing, noko som fører til utvikling av oppsvulmingsspenningar i materialet, medan ikkje-krystallinske regionar rehydrer raskt. Førekosten av anionar i vatnet påverkar volumauken under vatn-absorpsjon (Rahman 2007).

2.3.3.6 *Ernæringsmessig verdi*

Dehydrering av mat er av dei viktigaste bragdene til mennesket, då det gjer oss mindre avhengig av dagleg mattilgang, spesielt under uheldige omstendighetar. Generelt så går mindre enn 10% av B-vitamina tapt gjennom tørking av mat, medan C-vitamin i stor grad vert øydelagd gjennom varme-tørking. Når det er sagt så er uansett ikkje kjøt som sådan ei god C-vitaminkjelde, og tørka mat bidreg heller ikkje stort til ernæringsmessige krav til B-vitamina tiamin, folsyre, og vitamin b-6.

Dei fleste aminosyrer er relativt motstandsdyktige mot varme-tørking, men lysin er eit unntak som er relativt ømfintleg, og det er ofte for lite av den i menneskeleg diett. Særskild i utviklingsland der dyreprotein av høg kvalitet er knapt, eller dyrt (Rahman 2007).

2.4 Tørkesystem

System har vorte utvikla rundt kvart produkt sine spesifikke krav til tørkeprosessen, som kan ta mange formar , og nyttar mykje ulikt utstyr. Generelt så vert tørking gjort med to grunnleggande metodar: (a) adiabatisk prosessar, og (b) ikkje-adiabatisk prosessar. I adiabatisk prosessar vert varmen til fordamping levert som følbare varme i luft i kontakt med materialet som skal tørkast. I ikkje-adiabatisk prosessar vert fordampingsvarmen levert som strålingsvarme , eller varme gjennom veggjar som er i kontakt med materialet som skal tørkast. Dehydrering kan også vera akkompagnert av mekanisk avvatning (Sokhansanj and Jayas 2007).

Uansett dehydreringsmetode må produktet vera i kontakt med eit medium, ofte luft, for å transportera fukt bort frå produktoverflata og vidare bort frå produktets omgjevnader (Sokhansanj and Jayas 2007).

Ulike typar produkt stiller ulike krav til tørkeprosessen, noko som igjen har resultert i eit mangfold av tørker som skaptørker, tunelltørker, samlebandstørker, spraytørker, frysetørker, trommeltørker, skumtørker, vakuumbørker, fluidized bed tørker, fluidisert sjikt tørker, mikrobølgetørker og overheta damp tørker. I denne oppgåva vert det ikkje gått inn på alle ulike former for tørker, men solbasert tørking vert gjennomgått, både åpne system med direkte soltørking, og meir lukka og indirekte system. Deretter vert varmpumpetørking gjennomgått.

2.4.1 Solbasert tørking

I mange rurale område i Afrika og i mange utviklingsland er tilgangen på elektrisitet frå nettet og andre ikkje-fornybare energikjelder enten utilgjengeleg, upåliteleg, eller for dyr. I slike område vil tørkesystem som inneheld motoriserte vifter og/eller elektrisk oppvarming av tørkeluft vera uaktuelt. Dei høge investerings- og driftskostnadane forbunde med tørkesystem som nyttar fossil energi representerer ein så høg terskel at dei skjeldan vert nytta av småskala bønder (Ekechukwu and Norton 1999). Solenergi er då eit opplagt alternativ, og det finst ei rekkje ulike måtar å nytta denne energien på.

2.4.1.1 *Direkte soltørking*

Direkte soltørking, der strålingsvarme frå sola varmar produktet og fordampar fukt frå overflata, er ein populær tørkemetode i heile verda (Sokhansanj and Jayas 2007). Den enklaste forma for solbasert tørking er å tørka produktet i fri luft, direkte eksponert for solstråling (Bal, Satya et al. 2011). Det finst stor variasjon i teknikkar for direkte soltørking. For jordbruk kan ein la avlinga døy, enten naturleg, eller ved å kutta den for så å la den tørka på staden, eller ein kan spreie avlinga på matter, sementgolv, eller ulike hyllekonstruksjonar (Ekechukwu and Norton 1999). I Noreg er me godt kjent med direkte soltørking gjennom historisk klippfisk og tørrfiskproduksjon, samt høytørking både rett på bakken og ved hesjing. Temperaturen til produktet under soltørking varierer frå 5 – 15°C over omgjevnadstemperatur, og tørketida kan vere 3-4 veker, som for rosiner og aprikos. Farge, form, initielt fuktinnhald, og ønska fuktinnhald påverkar produkttemperatur og tørketid. Soltørking vert mykje bukt til tørking av korn (Sokhansanj and Jayas 2007). Direkte soltørking vert praktisert i stor skala spesielt i rurale område i utviklingsland (Bal, Satya et al. 2011), og tross stor variasjon i teknikkar finst det ei rekke generelle problem: Store avlingstap kjem som følgje av utilstrekkeleg tørking, sopp, insekt, fuglar, gnagarar, støv og søppel, samt uventa nedbør og andre uforutsette værforhold (Ekechukwu and Norton 1999; Fudholi, Sopian et al. 2010). Det krevst store opne areal og tørkepotensialet er sterkt avhengig av tilgang på solskin (Fudholi, Sopian et al. 2010). Klimatiske forhold har stor innverknad på avlingstap som følgje av direkte soltørking. Dersom klimaet er varmt og tørt skulle forholda ligga til rette, men værdata sjølv frå dei mest eigna stadene syner at gode nok værforhold ikkje alltid er tilstades. Uansett så vil avlinga få ei uønska lang tørketid. I varmt og fuktig klima vil forringing av produktet under soltørking vera eit større problem sidan både høg temperatur og høg luftfuktighet er gunstig for sopp, bakteriar, midd og insekt. Tropiske område er kjenneteikna av varmt og fuktig klima, og desse områda vil altså krevja meir effektive tørkesystem (Ekechukwu and Norton 1999). Dei openbare fortrinna til direkte soltørking er låge investerings- og driftskostnader, samt uavhengighet av brenseltilgang. Også i dag er ein stor del av verdas tilgang på tørka frukt og grønnsaker soltørka i fri luft under primitive forhold (Ekechukwu and Norton 1999).

2.4.1.2 *Lukka soltørker*

I naturlege omgjevnader vil tørkeprosessen gå seint, og i omgjevnader med høg relativ luftfuktighet vil produktet også når det har oppnådd likevekt med omgjevnadane ha eit fuktinnhald som er for høgt til trygg lagring (Ekechukwu and Norton 1999). I ei tørke kan ein tilføre meir varme til produktet enn det som er tilgjengeleg i naturlege omgjevnader, og på den måten auka damptrykket i produktet betydeleg. Ved oppvarming av tørkelufta følgjer det også at ein senkar den relative fuktigheten i lufta og aukar dens evne til å ta opp fukt. Dette vil føre til at tørkinga går fortare. Den låge relative fuktigheten til den oppvarma tørkelufta vil også bety at når likevekt er oppnådd mellom tørkeluft og

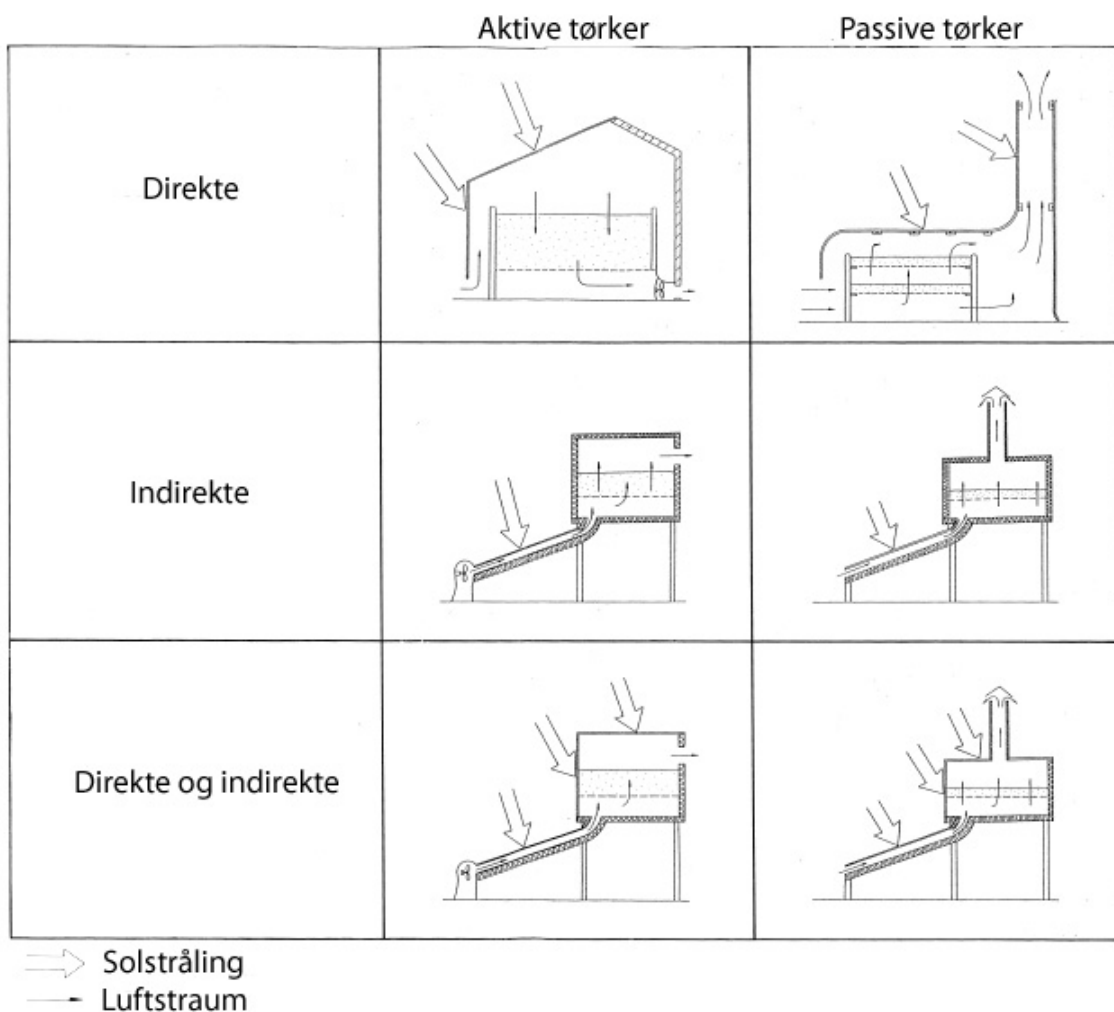
produkt, så har produktet oppnådd eit tilstrekkeleg lågt fuktinnhald for trygg lagring (Ekechukwu and Norton 1999).

Dei ulike formane for soltørker kan grovt klassifiserast i to kategoriar (Ekechukwu and Norton 1999).

- Aktive soltørker (ofte kalla hybrid soltørker)
- Passive soltørker (ofte kalla naturleg sirkulasjon soltørker)

Dei to hovudkategoriane av soltørker kan igjen delast i følgjande tre undergrupper, som varierer hovudsakleg i komponentsamansetjing og i korleis dei nyttar solenergien (Ekechukwu and Norton 1999).

- Direkte soltørker
- Indirekte soltørker
- Direkte og indirekte soltørker



Figur 2-4 Typiske soltørker. Basert på (Ekechukwu and Norton)

Dei passive tørkene opererer utelukkande med solenergi, og lufta vert driven gjennom tørka ved oppdriftskrefter, vindtrykk eller ein kombinasjon av dei to. For fjerntliggande rurale strøk representerer dei passive soltørkene det mest gunstige alternativet då dei er økonomisk konkurransedyktige og ytelsesmessig overlegne i forhold til direkte soltørking i fri luft. I forhold til direkte soltørking har passive lukka system ei rekkje fordelar, m.a. mindre arealbruk, kortare tørketid og auka produktgjennomstrauming. Dei lukka tørkene gjev også relativt godt vern mot sopp, insekt og gnagarar, som igjen vil auka kvaliteten og minimera avlingstapa (Ekechukwu and Norton 1999).

Dei aktive tørkene nyttar motoriserte vifter eller pumper til å driva tørkelufta gjennom tørka, medan oppvarming av tørkeluft skjer ved solenergi og/eller elektrisk eller fossile varmesystem. Ei typisk aktiv soltørke nyttar utelukkande solenergi som varmekjelde (Ekechukwu and Norton 1999).

Underdelinga av tørkene i direkte, indirekte eller direkte og indirekte seier korleis solstrålinga vert nytta som varmekjelde til tørkinga. I direkte type soltørker vert produktet plassert under gjennomsiktige vegg/tak slik at solstrålinga fyrst og fremst varmar produktet direkte. I indirekte type soltørker vert produktet plassert i eit kammer skjerma for solstråling, og varm tørkeluft vert "blåst" over produktet. Tørkelufta vert varma i ein solfangar før den når tørkekammeret. Direkte og indirekte type soltørker nyttar både forvarma tørkeluft og direkte solstråling til produktet (Ekechukwu and Norton 1999). Kva tørke som er best er avhengig av produktet som skal tørkast. For eksempel så vil vitamininnhaldet til nokre typar varer verta betydeleg redusert dersom dei vert utstatt for direkte sollys. På den andre sida så har ein at for nokre typar varer, som druer, dadlar og arabica kaffi vert direkte solstråling ansett som essensielt for å oppnå ønska produktkvalitet (Ekechukwu and Norton 1999). I aktive soltørker kan ein til ein viss grad styra tørketemperatur ved å styra luftstraumen, medan kontroll over tørkeprosessen er eit stort problem i passive tørker, som ofte er designa for minimale investerings- og driftskostnader (Ekechukwu and Norton 1999). Den beste måten å hindra ekstreme betingelsar i å oppstå i passive tørker er strukturelle løysingar som skorsteinar som vil regulera opphaldstida til tørkelufta i tørkekammeret (Ekechukwu and Norton 1999).

I ein flatplatesolfangar for oppvarming av luft, som ofte vert nytta i samband med indirekte soltørker, er temperaturløftet vanlegvis 5°C over ein 24-timersperiode for luftstraumar nytta til tørking av granulære produkt. Lufta kan eventuelt varmast vidare med anna firing dersom høgare temperatur er ønskeleg. Tørking av djupe lag med kornprodukt i slike tørker er utsatt for både overtørking og forråtnelse (Sokhansanj and Jayas 2007).

Lukka soltørker er på mange måtar eit betydeleg betre alternativ enn open soltørking, men det kan understrekast at alle tørkene presentert ovanfor baserer seg på ytterlegare oppvarming av

omgjevnadsluft til tørkeluft. Nokre produkt krev lågare temperaturar og då må ein nytta andre teknologiar.

2.4.2 Varmepumpetørke

I løpet av dei siste åra har miljøutfordringar utvikla seg frå saker som forureining og utarming av naturressursar til saker som klimaendringar. Bruk av fossil energi bidreg til desse problema, og utvikling av berekraftige og fornybare energikjelder, samt energieffektivisering av system som nyttar termisk energi har vorte viktigare. Tørking er ein av dei mest energi-intensive einingsprosessane, og tørking dekkjer opp til 15% av industrielt energibruk. I mange industrielle tørkeprosessar vert ein stor del av energien kasta bort.

Mange teknologiar, som varmluftstørking, vakumtørking, og frysetørking har vorte utvikla for å gjeva best mogleg produkt ved lågast mogleg kostnad, men dei nemnde prosessane er høgst energi-intensive. På lik linje som energikonservering og energieffektivisering er produktkvalitet ein viktig faktor å ta høgde for. Varmepumpetørker har mange fortrinn framfor varmluftstørker når det kjem til tørking av mat; høg energieffektivitet, produktkvalitet, og moglegheiten til å operera uavhengig av utemiljø. Konvektive varmluftstørker har vorte anerkjend som eit ideelt bruksområde for varmepumper.

2.4.2.1 Historie

Dei fyrste patentsøknadane angående varmepumpetørking vart påbyrja i 1973, og dei fyrste studia i litteraturen vart gjort av Geeraert og Hodgett i 1976¹. Geeraert studerte varmepumpetørking av tømmer, og Hodgett rapporterte om lågare energibruk enn konvensjonelle dampfyrte tørker. I 1982 presenterte Tai et. Al fordelar ved varmepumpetørking medan Olivier gjekk vidare med studiar av bruk av varmepumper til tørking av tømmer. Same året konkluderte Zylla et. Al med at SMER-verdien auka når den relative fuktigheten i ut-lufta frå tørka auka. I 1984 rapporterte Cunney og Williams at ei motordriven varmepumpe kunne redusera energikostnadane til tørking med 30-50%, og året etter, i 1985, synte også Newbert at ved bruk av ei gassmotor-driven varmepumpe kunne ein tørka malt med 40% mindre energibruk. I 1988 vart 7% av alle industrielle varmepumper brukt til tørking, og representerte ein installert effekt på 60MW. Meyer og Greyvenstein analyserte dei livslange kostnadane ved varmepumpetørking av korn i 1992. I 2006 kalkulerte Soylemez optimale driftstemperaturar og komponentstorleikar for minimering av livslange kostnader for varmepumpetørker (Colak and Hepbasli 2009).

¹ Der verken namn eller årstal er angjeve i parantes har primærkjelda ikkje vorte undersøkt av underteikna.

Fleirfaldige typar varmpumpetørker har vorte produsert internasjonalt, og atskillege patentar har vorte godkjende for produkt og prosessar i felten. SMER og COP er dei mest brukte vurderingskriteria for ytelsen til varmpumpetørker (Colak and Hepbasli 2009). SMER beskriv tørking pr. energibruk, medan COP beskriv kjølevirkningsgraden til varmpumpekretsen. Desse begrepa vert nærmare studert i teoredelen i kapittel 3.2.

2.4.2.2 Prosesseffektivitet

T. Kadra og A.S. Mujumdar gjorde ei samanlikning av utvalde tørker, og varmpumpetørking kom ut som om lag 10 gongar meir effektivt enn tradisjonelle tørkesystem, vurdert etter SMER. Meyer og Greyvenstein studerte økonomisk gjennomførbarhet og fann at det var ein minimum driftsperiode som gjorde varmpumpetørking meir økonomisk enn andre tørker. Strømme og Jonassen, og Alves –Filho og Strømme beskreib utviklinga av ei ny motstraums varmpumpebasert fluid-bed tørke med høg SMER for tørking av varmesensitive produkt. Eit pilotanlegg utvikla av the electrical corporation of New Zealand synte ein maksimal SMER-verdi på 7,94 kg/kWh ved 50°C og 80% relativ fuktighet. Perera og Rahman presenterte ei generell samanlikning av varmpumpetørker, vakum-tørker, og varmluftstørker, og konkluderte med at varmpumpetørker er meir energieffektive enn konvensjonelle varmluftstørker. Strømme et al fann at varmpumpetørking brukte 60-80% mindre energi enn konvensjonelle tørker ved same temperatur. Varmepumper tillet også atmosfærisk frysetørking med SMER i området 1,5 – 4,6 kg/kWh, mot 0,4 kg/kWh og nedover for vakuum frysetørking (Colak and Hepbasli 2009).

Strømme gjorde overslag for energikostnader for drift av ei varmpumpetørke for klippfisk, med produksjonskapasitet 10 tonn 7/8-tørr fisk pr.døgn, og samanlikna med energikostnader for tilsvarande oljefyrte tørke. Årlege energikostnader vart anslått til å vere 63% lågare for varmpumpetørke (Strømme 1980). Dette arbeidet til Strømme har vore skuledannande for norsk klippfiskproduksjon. I dag går all norsk klippfiskproduksjon, totalt om lag 70-75 produksjonsanlegg, med varmpumpetørker (Eikevik 2011).

2.4.2.3 Varmepumpetørker for tørking av mat - Produktkvalitet

Det har dei siste åra vore aukande interesse for varmpumpeteknologi for tørking av matvarer og biomateriale, der låg-temperatur tørking og godt kontrollerte tørkebetingelsar er naudsynt for å betra kvaliteten til matvarene. Høgverdi-matvarer som er sær varmesensitive vert ofte frysetørka, noko som er ein ekstremt dyr prosess (Chou and Chua 2007). Det har vore stor interesse for varmpumpetørker, som alternativ til frysetørking av matvarer. Her er det særskild interressant å trekka fram Strømme og Kramer (Strømme and Kramer 1994), som studerte varmpumpetørking av fisk. Den høge kvaliteten til dei tørka produkta vart trekt fram som den store fordelten med

varmepumpetørker. Ved å nytta temperaturkontrollerande program med varmepumpetørka kan ein regulera produkteigenskapar slik som porøsitet, rehydreringsratar, styrke, tekstur og farge. I studiar rundt varmepumpetørking av agrikulturelle og marine produkt har det vorte funne at kvaliteten kan forbedrast ved nytting av forhåndsbestemte varierende temperaturprogram. Den generelle konklusjonen frå mange undersøkelser er at ein kan oppnå betre produktkvalitet med mindre energibruk. Dette er særskild treffande på matvarer som krev presis kontroll på temperatur og luftfuktighet. Varmepumpetørker kan operera med temperaturar i spennet $-20^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$. Det har vorte demonstrert at varmepumpetørker kan opererast med forhåndsbestemte sykliske temperaturvariasjonar for å forbetra kvaliteten på diverse agrikulturelle produkt tørka i ei tottrinns varmepumpetørke. Ved hensiktsmessig val av temperatur/tid-variasjon, kan ein redusera generell fargeendring og AA-degradering med henholdsvis 87% og 20% (Chou and Chua 2007).

Eigenskapen varmepumper har til å regulera temperatur snøgt er ein annan fordel for tørking av mat. I område der luftfuktigheten er høg vil ein få stor grad av øydeleggjing i regntida, når tørkelufta er svært fuktig. Det er opplagt at varmepumpetørker kan redusera øydeleggjinga ved regulering av luftfuktighet, kontrollert gjennom fjerning av latent varme på fordamparen (Chou and Chua 2007).

Ved tørking av matvarer vil degradering av farge, smak og tekstur opptre i ulik grad gjennom tørkeprosessen. Samanlikning av kvalitetsdegradering mellom varmepumpetørker og konvensjonelle tørkemethodar har vorte gjort for mange ulike material, og mange rapportar har ein felles konklusjon om at varmepumpetørker gjev betre kvalitet med mindre energibruk. Van Blarcom synte at bruning av macademia-nøtter kunne unngåast ved varmepumpetørking ved 50°C . Hawladner fann at varmepumpetørking av laukskiver kunne spare 30% energi, og gjeva eit betre produkt. Grunna relativt låge temperaturar ($<50^{\circ}$), er det eit potensial for mikrobiologisk øydeleggjing, men Britnell et al. synte at varmepumpetørker ikkje gjev heim til ein stor mikrobiologisk populasjon verken på varmevekslarar eller andre stader i tørka. Varmepumpetørking av eple med modifisert atmosfære vart studert av Perera, og resultatet var ypparleg farge, god behaldning av C-vitaminar og generelt veldig høg produktkvalitet. Hawladner et al synte at modifisert atmosfære varmepumpetørking av eple, guajava og potet ved 45°C og 10% relativ fuktighet gav gode fysiske eigenskapar. Fargen var liknande resultat frå vakuum og frysetørking. Basert på inleiiande studiar var farge- og aromakvalitetar til varmepumpetørka agrikulturelle produkt betre enn dei som vart tørka med konvensjonelle varmluftstørker, og i det siste har det vore stor interesse for å nytta varmepumpetørking for frukt grønsaker og biologiske material (Colak and Hepbasli 2009).

Når produktkvalitet er det overordna målet, så gjev varmepumpetørker ein attraktiv moglegheit for å auka produktkvaliteten og redusera øydeleggjing gjennom betre kontroll og regulering av tørkebetingelsane (Chou and Chua 2007).

2.4.2.4 *Tidsvarierende og konstante tørkebetingelsar*

Tidsvarierende tørkebetingelsar kan vera ein bevisst strategi for optimalisering av ein tørkeprosess, eller det kan vera ein konsekvens av varierende tilgang på energi. I dette kapitlet vert tidsvarierende tørkebetingelsar gjennomgått frå eit optimaliseringsperspektiv.

For å redusera energibruken per fukteining fjerna frå produktet er det naudsynt å undersøka ulike løysingar for å betra energieffektiviteten til tørkeutstyret. Ein moglegheit er å nytta tidsvarierende tørkebetingelsar for å redusera tørketida.

Mesteparten av industriell tørking vert gjort med konstante tørkebetingelsar. Luftstraumen sin temperatur, luftfuktighet og hastighet vert halde relativt konstant gjennom heile tørkeforløpet, til produktet har oppnådd ønska fuktinnhald. I løpet av tørkeprosessen, når vatn vert fjerna og produktet vert varma opp vil dei indre eigenskapane til materialet endra seg. Det som er optimale tørkebetingelsar i eit stadie i tørkeforløpet treng difor ikkje nødvendigvis vere optimale betingelsar ein annan stad i forløpet. Varmepumpetørker kan stillast inn til å gjeva ulike optimale tørkebetingelsar gjennom tørkeforløpet, og slik oppnå gunstige effektar både i tørkekinetikk og produktkvalitet. Tidsvarierende tørkeplanar kan klassifiserast i følgjande kategoriar (Chou and Chua 2007):

1. diskontinuerlig tørking der varme vert tilført produktet periodisk i staden for kontinuerlig. Dette kan gjennomførast ved å periodevis slå av og på luftstraumen over produktet, eller ved periodevis oppvarming av tørkelufta.
2. "Dryaeration" er ein tørkeprosess som involverer kombinasjon av høg temperatur, kort tørkeperiode og sein nedkjøling etterfølgd av avsluttande tørking.
3. Reversering av tørkelufta i ein periode, før luftstraumen igjen vert ført i den opphavlege retninga. Dette vert brukt i for å tørka tjukke/djupe lag.
4. Periodisk tørking der lufttemperatur, luftfuktighet og lufthastighet gjennomgår eit spesifisert syklisk mønster som t.d. sinusbølgeforma, firkantbølgeforma eller sagtannbølgeforma.

Fleire eksperimentelle studiar er gjort for å utforska ulike tidsvarierande tørkeplanar og deira innvirkning på energibruk og produktkvalitet. Studiar er blant anna gjort på tørking av mais, peanøtter, kveite og blandingsgjødsel og det er funne fleire positive eigenskapar ved tidsvarierande tørkeplanar. Blant desse er (Chou and Chua 2007):

- Termisk energisparing
- Kortare effektive tørketider
- Høgare tørkeratar
- Lågare produktoverflatetemperatur
- Høgare produktkvalitet, inkludert mindre krymping, sprekkdannelse, sprøhet, fargeendring og mindre tap av næringsstoff.

Etter å ha studert effekten av å regulera luftstraumen i tørkeprosessen presenterte Ratti og Mujumdar i 1993 ein simulasjonsstudie på batch-tørking av krympande hygroskopisk materiale med tidsvarierande luftstraum. Arbeidet deira synte at total luftbruk kunne senkast, med lite eller inga auke i tørketid. I 1995 utvida Ratti og Mujumdar studien ved å inkludera reversing av luftstraumen. Resultata synte at både fukt og temperaturprofilen i batchen var flatare ved bruk av luftreversering i tørkeprosessen, medan gjennomsnitts tørkekurvene var praktisk sett uendra. Basert på litteraturen nemnd over kan det konkluderast med at periodisk og tidsvarierande tørking syner betydelege fordelar gjennom redusering av naudsynt tørkeenergi, og betring av produktkvaliteten til varmesensitive produkt (Chou and Chua 2007).

I 1999 demonstrerte Devahastin og Mujumdar, gjennom ein matematisk modell, gjennomførligheten og fordelane ved å køyra ei tørke med varierende innløpstemperatur, og slik redusera tørketida med opp til 30%. Med framskritt i teknologien kjem fleire moglegheiter for betring av produktkvalitet. Ein mogleg veg for å betra produktkvaliteten i tørking av matvarer er å implementera tidsvarierande temperaturprofilar som minimerer kvalitetstapet, samstundes som ein oppnår ønska vanninnhold innanfor tillateleg tid. Det er vorte gjort fleire studiar av kvalitetsdegradering av tørka produkt under sinusforma og firkantbølgeforma temperaturvariasjonar under lagring, men lite er gjort for å studera effekten på produktkvalitet ved temperaturvariasjonar under konvektive tørkeprosessar (Chou and Chua 2007).

Dei begrensa studiane som er gjort kring periodisk tørking har bekrefta dei potensielle fordelane ved tidsvarierande energitilførsel til tørking, dvs. mindre energibruk, mindre luftbruk, og auka kvalitet for

varmesensitive produkt. For Varmepumpetørker kan periodisk tørking klassifiserast i tre kategoriar (Chou and Chua 2007).

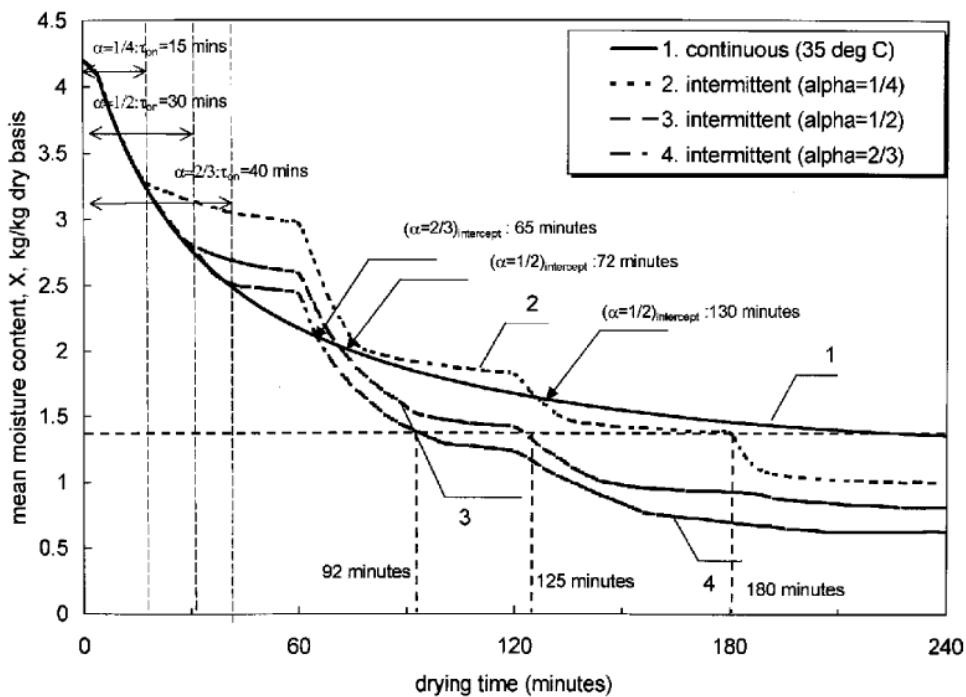
1. Periodisk regulering av tørkelufttemperaturen
2. Periodisk tilførsel av tørkeluft
3. periodisk regulering av luftfuktighet

Av dei tre vert regulering av tørkelufttemperaturen rekna som den metoden som har størst innverknad på tørkekinetikk og kvalitetsparametrar (Chou and Chua 2007).

2.4.2.5 *Periodiske tørkebetingelsar*

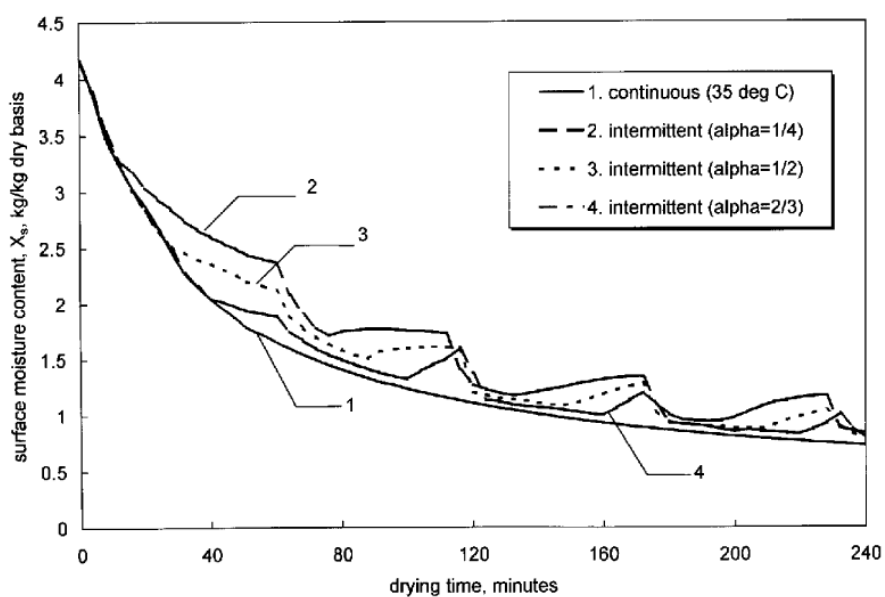
S.K. Chou, K.J. Chua, A.S. Mujumdar, M.N.A. Hawlader og J.C. Ho (Chou, Chua et al. 2000) studerte tørking av potetskiver under konstante og tidsvarierende tørkebetingelsar, og det vart demonstrert betydelege føremoner ved tørking under periodiske, framfor konstante betingelsar. Det vart undersøkt korleis temperaturen og fuktigheten på overflata til produktet varierte over tid for både konstante og periodiske tørkebetingelsar, og modellen deira synte korleis fukta i produktet jamna seg ut og trekte ut mot overflata i kvileperiodane (Chou, Chua et al. 2000).

Tre periodiske tørkeplanar vart nytta, der tørketemperatur var den varierende faktoren. For alle tre driftsplanar var ein total tidsperiode på 60 minutt delt opp i $\tau_{p\ddot{a}}$ og τ_{av} . α , forholdet mellom dei to periodane vart definert som $\alpha = \frac{\tau_{p\ddot{a}}}{\tau_{p\ddot{a}} + \tau_{av}}$. I perioden $\tau_{p\ddot{a}}$ var tørketemperaturen 35°C, medan den vart justert ned til 30°C i perioden τ_{av} . Den periodiske tørkinga vart samanlikna med eit kontinuerlig tørkeforløp der tørketemperaturen var konstant 35°C. Høge verdiar av α gjev korte kvileperiodar, og $\alpha=1$ er det same som kontinuerlig tørking. Tørkekurver for dei ulike driftsplanane er oppsummert i figur 2-5 (Chou, Chua et al. 2000).



Figur 2-5 Tørkekurve - periodisk tørking av potetskiver

Figuren syner at betydeleg reduksjon i tørketid kan oppnåast ved å periodevis senka tørketemperaturen. I det tørketemperaturen vert justert ned, ser ein at tørkeraten avtek, men når tørketemperaturen vert justert opp att (60 minutt, 120 minutt og 180 minutt) ser ein at tørkeraten vert betydeleg høgare enn det som er tilfelle for det kontinuierlige forløpet ved same fuktinnhald. Figur 2-6, som gjev overflatefukta som funksjon av tid, avslører korleis dette har seg.



Figur 2-6 Overflatefuktighet - periodisk tørking av potetskiver (Chou, Chua et al. 2000)

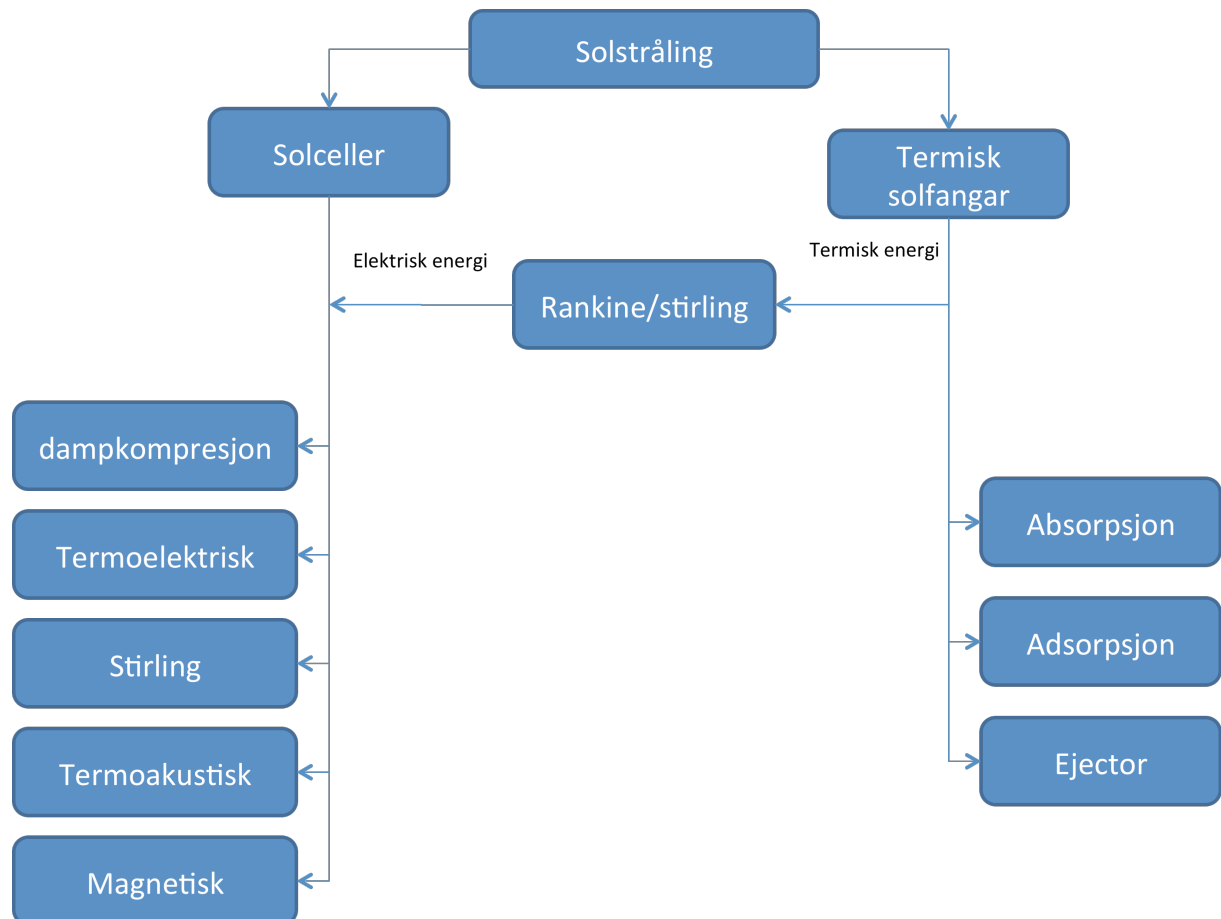
Overflatefukttinnhaldet i produkta byrjar å synka raskt frå byrjinga av tørkeforløpa, men når tørketemperaturen for eit tørkeforløp vert justert ned, ser ein at uttørkinga av overflata avtek. Den andre gongen temperaturen vert nedjustert ser ein at uttørkinga ikkje berre avtek, men at ein faktisk får ei oppfukting av overflata. Den lågare tørketemperaturen gjev, som ein såg i figur 2-5 lågare tørkerate, og dersom tørkeraten vert tilstrekkeleg låg i forhold til fuktdiffusjonen frå kjernen av produktet og ut mot overflata, vil ein få ei oppfukting av overflata. Denne oppfuktinga av overflata gjev så opphav til den høge tørkeraten når tørketemperaturen vert justert opp att. Då er det mykje tilgjengeleg fukt som kan fordampa frå overflata og fjernast med luftstraumen.

Reduksjon i tørketid med 25%, 48% og 61% vart demonstrert med henholdsvis $\alpha=1/4$, $\alpha=1/2$ og $\alpha=2/3$ (Chou, Chua et al. 2000).

Redusering av tørketemperaturen i delar av tørketida, kombinert med reduksjon av den totale tørketida vil nødvendigvis gjeva eit potensiale for reduksjon av energibruk.

2.5 Solkjøling

Frå eit termodynamisk perspektiv finst det mange prosessar som kan transformera solstråling til kjøling. Figur 2-7 oppsummerer ei rekkje moglege vegar frå solenergi til kjøleenergi.



Figur 2-7 Moglege teknologiar for solkjøling

Kjøleteknologiar drivne av elektrisk energi/mechanisk energi er synt på venstre sida i figuren. Kjøleteknologiar drivne av termisk energi er synt på høgre side. Ein Rankine eller Stirling varmemotor kan omgjera termisk energi til mekanisk energi.

2.5.1 Elektrisk solkjøling

Elektrisk solkjøling med solcellepanel og dampkompresjonssystem finst berre i begrensa antal, og berre få system er omtalt i litteraturen. Ein del elektriske solkjølingssystem vart designa for uavhengig drift og pakka i standardkontainerar (Rudiscer et al., 2005 ifølge (Kim and Infante Ferreira

2008)). Kjølevirkningsgrad for dampkompresjonsmaskinene i systema varierte frå 1,1 – 3,3 for fordampartemperaturar i området -5°C - 15°C og kondensatortemperaturar i området 45°C – 61°C . Monokrystallinske solcellepanel og kompressorar med justerbart turtal vart nytta med batteri eller generatorar som reserveløysing.

Dersom solcellepanel med virkningsgrad 0,1 vert kombinert med eit dampkompresjons-luftkondisjoneringsapparat med virkningsgrad 3,0, vert den samla virkningsgraden 0,3.

Det er fleire utfordringar ved kommersialisering av denne type system. Systema bør vera utstyrte til å takla den varierende elektrisitetsproduksjonen som følger frå solenergi, enten med batterilagring, blanda bruk av elektrisitet frå solceller og frå straumnettet, eller kompressorar med justerbart turtal. Vidare så må prisen på solceller reduserast ytterlegare for å konkurrera med andre solkjølingsteknologiar (Kim and Infante Ferreira 2008).

I figur 2-7 er det synt fleire alternative elektriske kjølesystem til det konvensjonelle dampkompresjonssystemet. Termoelektriske element baserer seg på halvledarmateriale som vismuttellurid- og antimontellurid-legeringar, og kan omforma elektrisk energi direkte til termisk energi. Systema kan lagast veldig kompakte, då dei ikkje involverer kjølemedium eller bevegelege delar, og dei har difor blitt brukt til kjøling av elektroniske kretsar, og i romfartsapplikasjonar der fysisk størrelse av kjølesystem er ekstremt begrensa. Virkningsgraden av slike system er veldig låg og ligg i sjiktet 0,3-0,6. Små termoelektriske luftkondisjoneringsapparat med kapasitet på eit par hundre watt er tilgjengelege på marknaden (Kim and Infante Ferreira 2008).

Ein Stirling-kjølar kan tilknyttast solcellepanel og produsera kjøling gjennom den omvendte Stirling-syklusen. Sjølv om virkningsgraden til ein ideell Stirling-kjølar skal gå mot carnot-virkningsgraden, så er virkningsgraden til Stirling-kjølerar lågare enn tilsvarande dampkompresjonssystem. Hovudutfordringane i utviklinga av ein effektiv Stirling-kjølar er låg virkningsgrad og begrensa effektettleik som følge av låg varmeovergang mellom kjølemedium (hovudsakleg helium) og omgjevnadane (Kim and Infante Ferreira 2008).

Elektrisk drivne termoakustiske kjølerar nyttar trykkdifferansar i akustiske bølger til å transportera varme mellom to reservoar med ulik temperatur. Virkningsgraden er lågare enn for konvensjonelle dampkompresjonssystem (Kim and Infante Ferreira 2008).

Magnetisk kjøling har lenge vorte brukt innan kryoteknikk. Det har vorte demonstrert virkningsgrader på 3,0 med ein kjølar/frysar med roterande magnetar, og teknologien har potensial til å ytelsesmessig utkonkurrera konvensjonelle dampkompresjonssystem. På den andre sida så er

kostnaden for magnetisk materiale alt for høg for praktiske applikasjonar (Kim and Infante Ferreira 2008).

Virkningsgraden til eit elektrisk kjølesystem påverkar direkte kostnader til solcellepanel. Eit system med halv virkningsgrad treng dobbelt så mykje elektrisk energi, og dermed dobbelt så stort solcelleareal for å levera same kjøleeffekt. Kim og Infante Ferreira (2008) samanlikna elektriske solkjølingsteknologiar med solcellekostnad² som kriterium, og det vert konkludert med at berre magnetisk kjøling kan konkurrera med dampkompresjon med tanke på solcellekostnad. Som nevnt over så fører den høge kostnaden for magnetisk materiale likevel til at det er ein lite konkurransedyktig teknologi for praktiske applikasjonar. Det vert konkludert med at ingen elektrisk kjøleteknologi er konkurransedyktig med dampkompresjon med tanke på total kostnader.

I resten av denne rapporten vert dampkompresjonssystem vurdert som einaste aktuelle solkjølingsteknologi driven av elektrisk/mekanisk energi.

Sjølv om produksjon av elektrisitet gjennom solcellepanel, og vidare bruk av elektrisiteten i eit klassisk dampkompresjonssystem er eit teknisk mogleg konsept, så er det ikkje nødvendigvis ei økonomisk rasjonell løysing. Grunnen er at i industrielle land, som har eit godt utbygd elektrisitetsnett, så er den beste bruken av solcellepanel å fora elektrisiteten rett inn i nettet. Frå eit økonomisk perspektiv er dette enno klarare dersom kraftprisen på elektrisitet generert frå solenergi er høgare enn prisen på elektrisitet frå konvensjonelle kjelder (t.d. feed-in-tariffar i Tyskland og Spania) (Henning 2007).

2.5.2 Termisk solfangar, varmemotor og dampkompresjon

Eit termomekanisk solkjølingssystem baserer seg på ein varmemotor (type rankine eller stirling) som omgjer termisk energi til mekanisk arbeid, som igjen driv kompressoren i ein konvensjonell dampkompresjonskjølar (Kim and Infante Ferreira 2008).

Forholdet mellom reell virkningsgrad og carnotvirkningsgrad vert ofte kalla andreløsvirkningsgrad.

$$2. \text{ lovs } \eta = \frac{\eta}{\eta_{carnot}} \quad (2.1)$$

² Virkningsgradene (el-kjøling) som er nytta for samanlikning er basert på dei minste tilgjengelege kjølemaskinene som er tilgjengeleg med kvar einskilde teknologi.

Rankine-kjølesystem drivne av termisk solenergi vart undersøkt gjennom 1970 og 80-talet. Ein vasskjølt organisk Rankine-syklus basert på R113 kan produsera akslingarbeid med 11,5% virkningsgrad (58% andrelovs-virkningsgrad) frå 101,7°C vatn frå solfangarar. Med antagelse om 50% virkningsgrad for solfangarane, får me sol-kraft virkningsgrad på 5,8% (Kim and Infante Ferreira 2008).

Med høgare temperatur på varmekjelda kan ein nå høgare virkningsgrad i Rankine systema. På tidleg 80-tal er det rapportert om eit solkraftanlegg med konsentrerende solfangarar og organisk rankine-syklus. Maksimum varme-kraft virkningsgrad på 24% (57% andrelovs-virkningsgrad) vart nådd med varmekjelde på 268°C (Kim and Infante Ferreira 2008).

Dersom eit soldrive termo-mekanisk kjølesystem skal vera konkurransedyktig, så må kombinasjonen av solfangar og varmemotor ha samanliknbar pris med solcellepanel. Dersom ein tek utgangspunkt i ei 60%-carnotvirkningsgrad maskin som arbeider med varmekjelde på 150°C, og varmesluk på 28°C, så vil den ha ein varme-kraft virkningsgrad på 17%. Blant ikkje konsentrerende solfangarar er det berre nokre vakuumsolfangarar som opererer effektivt ved 150°C. Ein høg-ytelse vakuumsolfangar som gjev 60% virkningsgrad ved 150°C kostar €771/m² (Sydney SK-6) (Henning, Heating et al. 2004) ifølge Kim & Infante Ferreira 2008). Dersom denne solfangaren vert kombinert med varmemotoren, vil sol-kraft virkningsgraden verta 10%. Per 1m² solfangar vil det då produserast 100W kraft, dersom innstrålinga er 1kW/m². Solfangarprisen relativ til produsert kraft vert difor €7,71/W, ekskludert kostnader til varmemotor. Dette er ein relativt høg pris samanlikna med eit solcellepanel i dagens marknad (€3-7/W_p, Solar Rechner) (Kim and Infante Ferreira 2008).

Kim og Infante Ferreira (2008) samanliknar kostnad for termiske solfangarar til å driva dei elektriske kjøleteknologiane via ein varmemotor, og konkluderer med at det i alle tilfelle vert dyrare enn eit PV-system. Kostnad for varmemotor kjem i tillegg. I denne samanlikninga er det teke utgangspunkt i vakuumsolfangarar med sylindriske absorberar og CPC-konsentratorar som leverer varme ved 200°C med sol-varme virkningsgrad 0,5 og ein varmemotor med virkningsgrad 0,2 (55% carnotvirkningsgrad). Det vert konkludert med at også driftskostnadane til eit slikt termomekanisk system truleg er høgare enn for tilsvarande PV-system. Grunna tilsvarande sol-kraft virkningsgrad som for tilsvarande PV-system vil det heller ikkje vera arealmessige grunnar til å velga eit slikt termomekanisk system.

Då solkraftanlegg med flatplate- eller CPC solfangerar vert dyrare og minst like arealkrevjande (grunna sol-kraft virkningsgrad) som tilsvarande PV-system vert dei ikkje vurdert vidare.

Solkraftanlegg med konsentrerende solfangerar kan derimot vera eit alternativ til å redusera naudsynt solfangarareal for kraftproduksjon. Neste avsnitt handlar om Konsentrerende solkraft.

2.5.3 Konsentrerende solkraft

Ved bruk av konsentrerende solfangarar som opererer med temperaturar på mange hundre grader kan ein oppnå høgare virkningsgrader i varmemotoren og slik potensielt oppnå eit meir kompakt system med tanke på arealbruk til solfangarar.

Dei mest utvikla teknologiane for elektrisitetsproduksjon frå konsentrerende termisk solkraft er basert på paraboliske disksolfangarar, paraboliske trausolfangarar, og soltårn.

Elektrisitetsproduserande system med parabolisk disk er allereie kommersielt tilgjengeleg (GCEP 2006).

Dersom ei Rankine-maskin med virkningsgrad 24% ved 268°C vert kopla saman med dei nyaste trausolfangarane i dagens marknad, t.d. EuroTrough med virkningsgrad 67% ved 268°C, vil systemet yte omtrent same sol-kraft virkningsgrad som eit høgytelse solcellepanel (ca. 16%) (Kim and Infante Ferreira 2008).

Soltårn-demonstrasjonsanlegget "Solar One", eit Rankine-kraftproduksjonssystem med virkningsgrad 35% (58% andreløsvirkningsgrad) vart drive av 516°C overheta damp. Tusenvis av solsporande speglar på bakkenivå reflekterte stråling til mottakaren som var montert i eit tårn (Kim and Infante Ferreira 2008).

Solkraftanlegg med soltårn er truleg ikkje eigna for system av så liten skala som er fokus i denne rapporten, og vert ikkje diskutert vidare.

2.5.3.1 Parabolisk disk – varmemotor



Figur 2-8 Parabolisk disksolfangarar. 6 stk 9kWe disk/stirling einingar under kontinuerlig driftssikkerhetstesting ved PSA-laboratoriet i Spania (Becker, Meinecke et al. 2000)

Disk-system nyttar paraboliske reflektorar forma som tallerkar til å fokusera solstrålinga mot ein absorber i fokuspunktet. I absorberen overtek eit varmetransportsmedium solenergien og transporterer den til varmemotoren, som kan vera montert i eininga ilag med absorberen (t.d. absorber /stirling generator-eining), eller på bakken. Grunna ideel parabolisk konfigurasjon og to-akse solsporing oppnår disksystem dei høgaste solfluks-konsentrasjonane, og dermed høgaste ytelse av alle konsentrortypar samanlikna på grunnlag av maksimal konsentreringsevne og systemeffektivitet. Desse solfangarsystema er begrensa til einingskapasitet på nokre titals kW_{el} av geometriske og fysiske grunnar (Becker, Meinecke et al. 2000).

Diskteknologi kan nyttast til lokal kraftproduksjon på stader som ikkje har tilgang til el-nettet, for eksempel på avsidesliggande stader eller på øyer. Dei kan og setjast saman til store system i MW_{el} størrelsesorden. Varme-kraft omdanninga i disksystem er hovudsakleg basert på Stirling-motorar, men også vatn/damp-turbinar, stempelmotorar eller gassturbinar kan nyttast (Becker, Meinecke et al. 2000).

Bruksklare disksystem med stirlingmotor er prosjektert med alternativ hybrid-drift, det vil seie med supplerande forbrenning av naturgass integrert i mottakar-komponenten. Slike system er under utvikling og er venta å vera klare for demonstrasjonsprosjekt i nær framtid (Becker, Meinecke et al. 2000).

Mangfoldige små el-produserande system basert på parabolisk disk med einingsstorleikar 5 til $25 kW_{el}$ har vorte bevist teknisk mogleg i fleirfoldige eksperimentelle, prototype-, og demonstrasjonsprosjekt sidan slutten av 70-talet. Disk/stirling system har ypparleg potensial for høg varme-kraft-virkningsgrad grunna moglegheiter for høge prosesstemperaturar i stirlingmotoren. Eit $25kW_{el}$ amerikansk disk/stirling system nådde sol-el systemvirkningsgrad på 30%. Dagens utvikling av disk/stirling-teknologi skjer i hovudsak frå tysk og amerikansk industri og institusjonar. Dei mest lovande einingsstorleikane er $10kW_{el}$ (Tyskland) og $25kW_{el}$ (USA) (Becker, Meinecke et al. 2000).

Kleih (Kleih 1991) oppsummerer nokre verkelege disk/stirling system med kapasitet 9- $50kW_{el}$, der årleg virkningsgrad låg i spennet 5%-25%, med maksimal momentanverdi 30%. Dette var dei beste resultatata som var oppnådd for termisk omdanning av solenergi til elektrisitet.

Varme-elektrisitet virkningsgrad på 41% (57% 2.lovsvirkningsgrad) har vorte rapportert for Stirling-generatorar i kombinasjon med parabolisk disksolfangar. Stirlingmotorar kan operera med mykje høgare temperaturar enn Rankinemotorar. Sjølv om virkningsgraden i teorien går mot carnot-

virkningsgraden så er den reelle virkningsgraden til stirlingmotorar 55-88% carnotvirkningsgrad (Kim and Infante Ferreira 2008).

Prisen på elektrisitet frå system med paraboliske disksolfangarar er høgare enn for system med paraboliske trausolfangarar eller soltårn, men systemet har fordelen av at det er modulært og kan bestå av ein enkelt disk (med produksjonseffekt i størrelsesorden 25 kW_{el}), eller grupperast til multi-megawatt kraftverk (GCEP 2006).

Becker o.a. (Becker, Meinecke et al. 2000) rapporterte at ingen adekvat energilagringsteknologi er eigna eller tilgjengeleg for dei aktuelle temperaturnivåa.

Driftstemperatur for disk/stirling-system er om lag 750°C (GCEP 2006).

2.5.3.2 *Parabolisk trausolfangar - varmemotor*



Figur 2-9 Parabolisk trausolfangar (Brakmann 2003)

System med paraboliske trausolfangarar nyttar lineære paraboliske konsentratorar som kan roterast med eit enkelt-akse sporingssystem for å fokusera solstrålinga mot eit absorber-røyr. Den absorberte energien vert transportert bort av eit fluid, som så varmevekslar mot eit kraftproduserande system. Kraftproduksjonen er basert på rankine-syklus eller hybrid drift med kombinert gassturbin/damp turbin. Solkraft med trausolfangarar er høgst modulære system, og teknologien er allereie nytta for solfelt med kapasitet opp til 80MW_e. Ei olje med gunstige termiske eigenskapar vert

nytta som varmetransportmedium. Øvre driftstemperatur er begrensa av denne olja til 400°C (Becker, Meinecke et al. 2000).

Det er også mogleg å produsera overheta damp direkte frå solfangarane, og slik gjera både den dyre olja og varmevekslarar overflødige. Dette ville redusert kostnadane mykje, men denne teknologien er framleis i prototypefasen (GCEP 2006).

For at eit solkraftverk skal kunne produsera også når det ikkje er tilstrekkeleg tilgjengeleg solenergi, må dei enten supplerast med anna fyring (typisk fossil) eller effektive varmelagringsystem.

Solkraftverk med trausolfangerar kan drivast som hybrid-system med supplementær fossil-fyring, eller i framtida som reine solkraftverk med tilhøyrande termiske lagringssystem for energi. Rimelige og effektive energilagringssystem for dei aktuelle temperaturar har ikkje vorte demonstrert. For introduksjon i dagens marknad er hybrid-system med solkraftandel 10-50% mest gunstig (Becker, Meinecke et al. 2000).

Virkningsgraden til eit termisk solkraftverk vil vera produktet av solfangarvirkningsgrad, feltvirkningsgrad og varmemotorvirkningsgrad. Solfangarvirkningsgraden er avhengig av innfallsvinkelen til strålinga, fluidtemperaturen og omgjevnadstemperaturen, og kan nå verdiar opp til 75%. Felttap er vanlegvis under 10%. Totalt så kan termiske kraftverk med trausolfangerar nå årlege virkningsgradar rundt 15%, der varme-kraft-virkningsgraden, typisk rundt 35%, vil ha størst innverknad (GCEP 2006).

THESEUS på Kreta er eit reint termisk solkraftverk med trausolfangerar med kapasitet 50MW_e. Feltet består av 560 trausolfangerar, med totalt solfangarareal 300 000 m². Feltet gjev årleg 113GWh elektrisitet utelukkande frå solkraft. DNI (direkte normal solinnstråling) på staden er 2400kWh/m². Olja vert varma frå 293-393°C gjennom solfangarane (Brakmann 2003).

Sidan både investerings- og driftskostnader er oppgjevne for prosjekt med mangfoldige MW_e kapasitet, vert dei ikkje drøfta vidare her. Kostnader for småskala kraftproduksjon frå trausolfangerar er eit studie i seg sjølv.

Solkraftanlegg med soltårn er truleg ikkje eigna for system av så liten skala som vert diskutert i denne rapporten. Parabolske disksolfangerar og parabolske trausolfangerar vil verta vurdert som alternativ for å gjera eit solkjølingsanlegg meir kompakt enn det som er mogleg med PV-system.

2.5.4 Termisk drivne solkjølingssystem

Sorpsjonsbaserte vasskjølerar kan enten vera av absorpsjonstype eller adsorpsjonstype. Absorpsjon refererer til ein sorpsjonsprosess der ei væske eller eit fast stoff absorberer kjølemedium-molekyl og endrar seg fysisk og/eller kjemisk i prosessen, eksempelvis vatn som absorberer amoniakkdamp. Adsorpsjon inneber eit fast stoff, som tiltrekk kjølemedium-molekyl til overflata si ved fysisk eller kjemisk tiltrekning, og ikkje endrar seg i prosessen (Kim and Infante Ferreira 2008).

Absorpsjon er den mest nytta teknologien for solkjøling. Den krev veldig lite eller ingen elektrisk energi, og grunna høgt varmeovergangstal for absorbenten vil absorpsjonssystemet vera meir kompakt enn eit adsorpsjonssystem.

Dagens absorpsjonsmaskiner har virkningsgradar i sjiktet 0,3-1,2. Valg av absorpsjonsmaskin er primært avhengig av ytelsen til solfangarane som vert nytta. For solfangarar som opererer effektivt rundt 150°C, finst det to-trinns LiBr-vatn kjølesystem for luftkondisjonering med virkningsgrad rundt 1,2. For kjøling ved lågare temperaturar kan ein vurdere ammoniakk-vatn GAX-kjølerar (gas absorption exchange) med virkningsgrad rundt 0,8. Varmetransportmediet kan vere enten ei væske med høgt kokepunkt, eller damp. Høgytelse vakuumpøyrer solfangarar, eller konsentrerte solfangarar kan vurderast (Kim and Infante Ferreira 2008).

Ein vakuumpøyrer solfangar med virkningsgrad 0,4 ved 150°C vil kosta €600-700/m² (brutto areal) (collector catalogue (2004) ifølge (Kim and Infante Ferreira 2008))

Virkningsgraden er høgare for tottrinns LiBr/vatn-absorpsjonskjølerar enn for tilsvarende eit-trinns absorpsjonskjølerar, men dei treng temperaturar på 140-160°C. Ved så høge temperaturar er ikkje ytelsen til konvensjonelle solfangarar god nok. Parabolske trausolfangarar er høgst effektive ved slike temperaturar, så kombinasjonen av dei to systema er av stor interesse (Fernández-García, Zarza et al. 2010).

For mindre kostbare solfangarar som opererer med temperaturar rundt 90°C, vil eitt-trinns LiBr-vatn eller ammoniakk-vatn kjølerar med virkningsgrad 0,6-0,8 vera aktuelt. Prisar på solfangarar i dette temperaturområdet varierer betydeleg. Prisen på solfangarar med virkningsgrad 0,5 ved 90°C varierer mellom €300-600/m². Virkningsgradane som er brukt her er sjølvstøtt omtrentlege, og reell virkningsgrad vil variera med solinnstråling og omgjevnadstemperatur (Kim and Infante Ferreira 2008).

Kombinasjonen solenergi og amoniakk-vatn absorpsjonskjølar krev solfangarar som opererer effektivt over 95°C, slik som parabolske trausolfangarar eller høg-effektivitet stasjonære solfangarar (Fernández-García, Zarza et al. 2010).

Absorpsjonskjølerar er tilgjengelege i eit stort spenn av kapasitetar, og for ei rekkje ulike formål, men veldig få system er tilgjengelege for kjølekapasitetar under 100kW. I dag finst det likevel nokre få kommersielle system med kjølekapasitetar under 30kW. Absorpsjonskjølerar vert fyrst og fremst nytta dersom ei billig varmekjelde er tilgjengeleg, slik som spillvarme, fjernvarme, eller varme frå kombinert varme-kraftproduksjon. For luftkondisjoneringsformål vert det nytta hovudsakleg absorpsjonskjølerar som nyttar arbeidsparet LiBr-vatn. Vatn er kjølemediet og LiBr er sorbent. Det grunnleggande designet er såkalte eitt-trinns maskiner, der for kvar masseining kjølemiddel som fordampar i fordamparen må ein masseining kjølemiddel skiljast ut av løysinga i generatoren (Henning 2007).

Adsorpsjonskjølerar verkar å vera samanliknbare med absorpsjonskjølerar med tanke på maksimal oppnåeleg virkningsgrad, men adsorpsjonskjølerar er betydeleg tyngre og større enn tilsvarande absorpsjonskjølerar. Per 2007 var det berre to japanske produsentar som leverte adsorpsjonskjølerar. Under typiske driftsbetingelsar for luftkondisjonering, og med varmekjelde på ca. 80°C, når systema virkningsgrad omkring 0,6 (Henning 2007). Hovudfordelen med adsorpsjonsmaskiner i forhold til absorpsjonsmaskiner er at dei kan luftkjølast i staden for vatnkjølast (Tierney 2007). Kim og Infante Ferreira (2008) gjennomførte ein samanlikning av ein adsorpsjonskjølar og ein absorpsjonskjølar med generatortemperatur henholdsvis 90°C og 88°C, kjølevatntemperatur henholdsvis 29°C og 31°C og kjøleeffekt henholdsvis 72kW og 70kW. Virkningsgraden ved desse betingelsane var henholdsvis 0,66 og 0,7. Adsorpsjonskjølaren hadde driftsvekt på 5,5 tonn og dimensjonar 2,4*3,6*1,8 m³. Absorpsjonskjølaren hadde driftsvekt 1,2 tonn og dimensjonar 2*1,1*1,3 m³. Adsorpsjonskjølaren var altså 4,6 gongar tyngre og hadde 5,4 gonger større volum. Adsorpsjonskjølerar er per dags dato også dyrare enn absorpsjonskjølerar. Den låge energitettleiken til adsorbenten tenderer til å auka prisen på ei adsorpsjonsmaskin gjennom krav om større komponentar for same kjølekapasitet.

Adsorpsjonskjøling vert ikkje vurdert vidare i denne rapporten.

Forutan dei to sorpsjonsteknologiane er kjøling basert på ejektorteknologi eit alternativ. Angående arbeidsmedium til ejektor-kjøleanlegget var det CO₂ som skulle undersøkast i denne rapporten. CO₂ gjev eit forholdsvis lite temperaturløft per trykkdifferanse mellom fordampar og kondensator. I eksperimentelle forsøk med maksimalt generatortrykk 100 bar vart det oppnådd maksimal trykkdifferanse mellom fordampar og kondensator lik 8 bar (Hundseth, Varmegjenvinning i fryseanlegg med bruk av ejektorsystem, 2011). For kjøling ved temperaturar kring 0°C vil dette gjeva eit temperaturløft på om lag 8°C. Kjølevirkningsgraden fall i dette ytterpunktet heilt ned til 0.

Eit trykkløft på 6,5 bar, og dermed temperaturløft omkring 6,5°C (ved fordampartemperatur 0°C) vert sett som realistisk med virkningsgrad 0,35 (Hundseth, 2011). I litteraturen vert det heller ikkje funne mange tilfelle for ejektorsystem med høgare trykkløft enn 8 bar. Med bakgrunn i dette vert det ansett som urealistisk å få tilstrekkeleg høge temperaturløft frå ejektorsystem med CO₂ som arbeidsmedium.

Med andre kjølemedium enn CO₂ kan ein derimot få høgare temperaturløft ved same trykkskilnad. Eit ejektor-kjøleanlegg med arbeidsmedium R134a, drive av mellomtemperatur solfangarar i Aten vart simulert for tidsrommet mai-september. Kjølevirkningsgraden til ejektorsystemet varierte frå 0,035 til 0,199 med fordampartemperatur -10-0°C, kondesatortemperatur 32-40°C og generatortemperatur 82-92°C (Alexis and Karayiannis 2005).

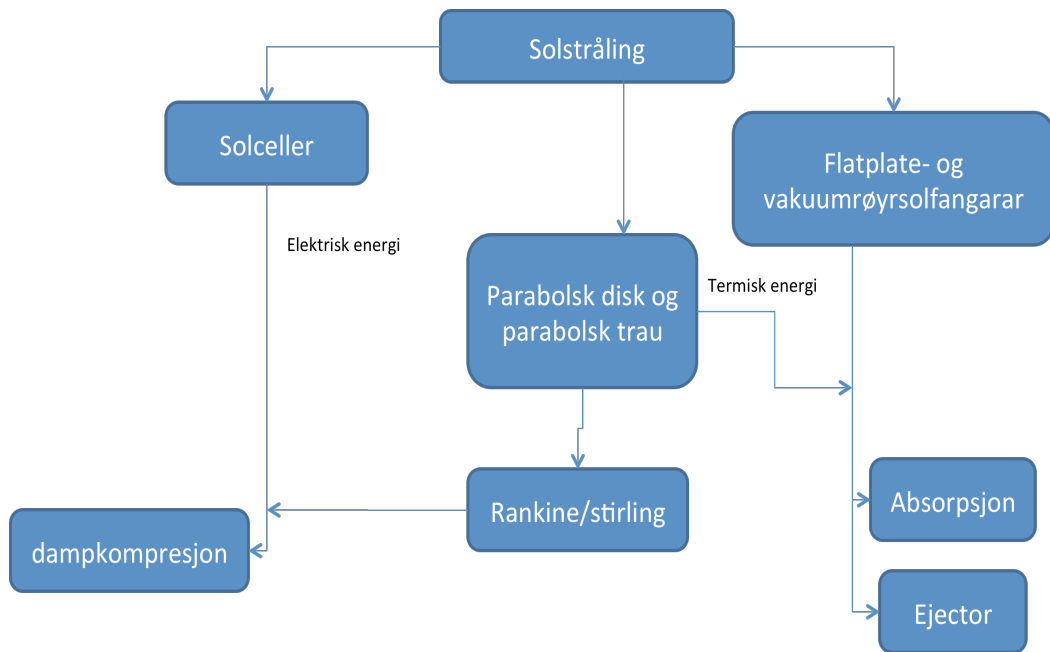
Kjølevirkningsgradar i spennet 0,08-0,33 vart nådd med eit ejektorsystem med R11 som arbeidsmedium. I dette tilfellet var fordampartemperaturen i spennet -3-18°C, kondensasjonstemperatur var 33°C og generatortemperatur varierte frå 75-85°C (Murthy, Balasubramanian et al. 1991).

Eit prototype soldrive ejektorkjølesystem med kjølekapasitet 7kW, og vatn/damp som arbeidsmedium vart bygd og laboratorietesta, før det vart installert i eit eksisterande kontorbygg i Loughborough i England. Der vart det drive med virkningsgrad opp til 0,3. Anlegget kan også leverera opp til 20kW varme i vinterhalvåret. Systemet, som er eit modifisert design av eit konvensjonelt ejektor-kjølesystem, gjer pumpearbeid overflødig ved utnytting av gravitasjonskrefter. Vakuummøyrsoolfangarar vart nytta . Vatn er også å føretrekka framfor KFK-kjølemiddel slik som R11 og HFK-kjølemiddel slik som R134a av miljømessige hensyn. (Nguyen, Riffat et al. 2001).

Ejektorkretsar har vorte nytta til luftkondisjonering i tog og i store bygningar. Sjølv om den enkle konstruksjonen til ejektor-system er ein stor fordel, fører virkningsgraden til vanskelegheitar med å konkurrera med andre termisk drivne kjøleteknologiar. Fleire har konkludert med at det er usannsynleg at virkningsgraden kan forbetrast til eit konkurransedyktig nivå, på grunn av dei uungåelege energitapa i konvensjonelle ejektorar (Kim and Infante Ferreira 2008).

2.5.5 Utvalde teknologiar

På grunnlag av dette litteraturstudiet rundt solkjøling er det valgt å drøfta følgende teknologiar vidare.

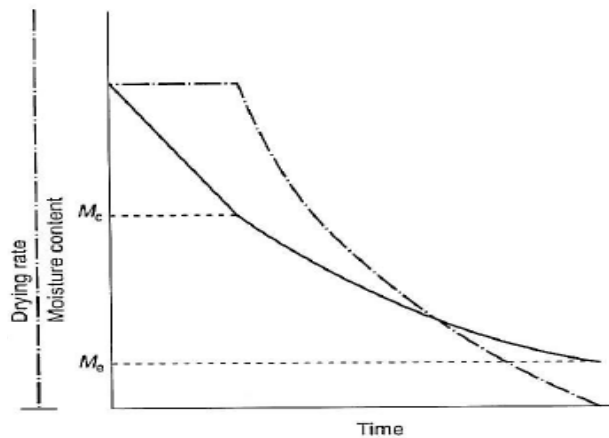


Figur 2-10 Utvalde teknologiar for solkjøling

3 Teori og virkemåte

3.1 Generell tørkekurve for mat med høgt fuktinnhald

Fukt vert transportert frå insida av eit fuktig produkt til overflata, der den fordampar. Mat med fuktinnhald over 50%wb kan ha to distinkte tørkeratar: (a) konstant tørkerate, (b) avtagande tørkerate (Sokhansanj and Jayas 2007). Typisk tørkekurve for mat med høgt fuktinnhald er vist i i figur 3-1. Stipla line syner tørkerate, medan heil line syner fuktinnhald. Begge delar som funksjon av tid.



Figur 3-1 Tørkekurve for matvare med høgt fuktinnhald (Sokhansanj and Jayas 2007)

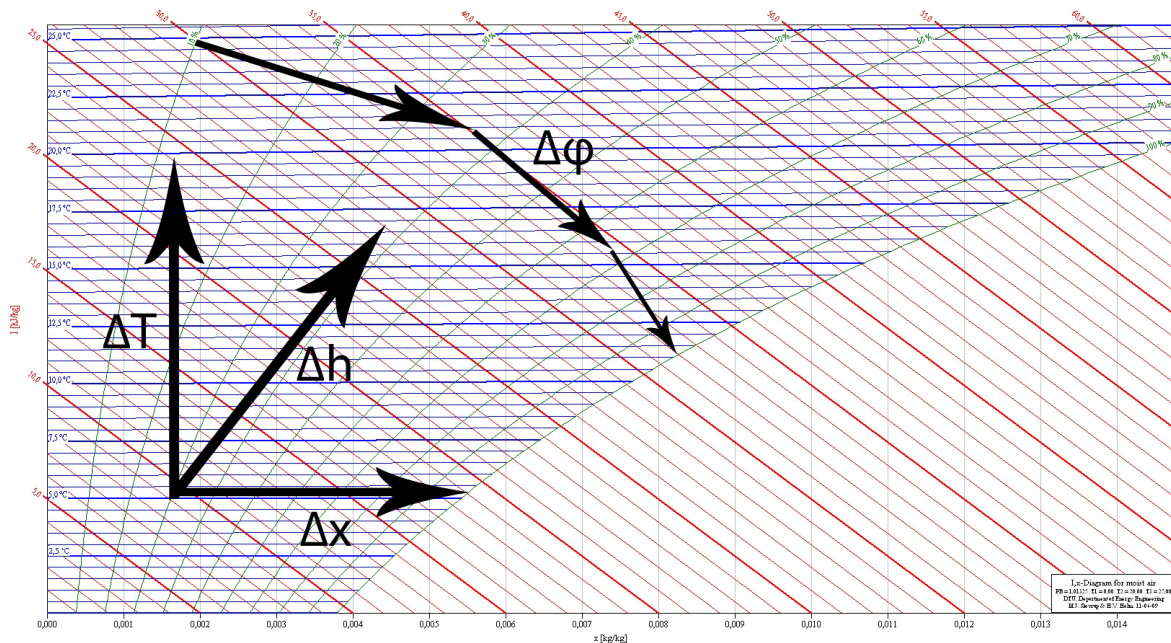
Metoden for å estimera tørkeratar er ulik i dei ulike periodane. Fuktinnhaldet der produktet går over frå konstant tørkerate til avtagande tørkerate vert kalla kritisk fuktinnhald, markert som M_c i figuren. Det kan vere fleire kritiske fuktinnhald for ei spesiell matvare. Under konstant tørkerate er det alltid fukt tilgjengeleg på overflata, slik at motstanden mot fuktfjerning er berre raten som fukt kan fordampa frå overflata. Når alt vatnet ved overflata har fordampa vil vatn frå dei indre delane av produktet diffundere til overflata. Mengden vatn ved overflata vert så meir og meir knapp, og som resultat vil tørkinga gå seinare og seinare (Sokhansanj and Jayas 2007).

Strømmen (Strømmen 1980) gjorde eksperimentelle forsøk med tørking av torsk, og fann at den teoretiske tørkefase a med konstant høg tørkerate syntest å vera ikkje-eksisterande, eller å vera av veldig kort varighet.

3.2 Tørka

3.2.1 Fuktig luft - tørkelufta

Teorigrunnlaget for berekningane som er gjort for tørkelufta er ei rekkje samanhengar som alle kjem fram frå Mollierdiagrammet.



Figur 3-2 Mollierdiagram - fuktig luft

Mollierdiagrammet syner for eit gjeve totaltrykk samanhengane mellom følgjande variablar:

$h \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ = Spesifikk entalpi, Energi per masse

$x \left[\frac{kg}{kg} \right]$ = Spesifikk luftfuktighet, masse vassdamp per masse fuktig luft

$T [^{\circ}C]$ = Tørrkuletemperatur, Celsius

$\phi [\%] = \frac{p_{H_2O}}{p_{satH_2O}} * 100\%$ = Relativ fuktighet, prosent av metningstrykk ved konstant temperatur

Dersom ein veit to av variablane kan ein lesa av dei to andre. I praksis vert biblioteket HxLib brukt i Excel for å gjera berekningane for tørkelufta, men dei underliggande samanhengane er dei same som framkjem frå Mollierdiagrammet.

SMER (Specific moisture extraction ratio) er ein vanleg målestokk for ei tørke si yting. Den angjev kor mykje vatn som vert fjerna frå produktet per energibruk (Strumillo, Jones et al. 2007).

$$SMER = \frac{\text{fordampa vatn [kg]}}{\text{bruka energi [kWh]}} \quad (3.1)$$

3.2.2 Varmepumpa

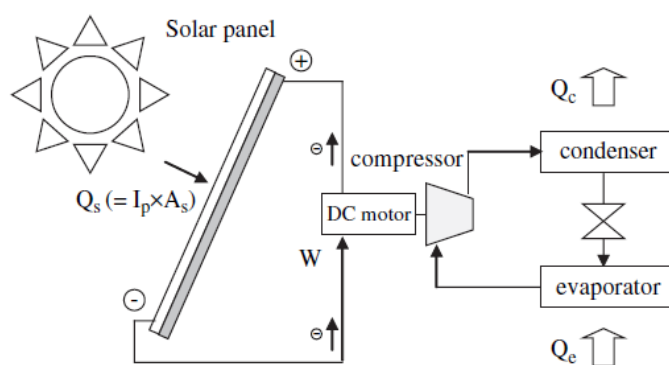
Varmepumper er system for å løfta temperaturen på relativt lågverdig termisk energi til eit meir nyttig nivå ved å bruka litt høgverdig energi. Akkurat som for vanlege kjøleskap, er elektrisitet den tradisjonelle måten å driva ei varmpumpe på. Ein kompressor, driven av elektrisk/mekanisk energi, sirkulerer arbeidsmediet rundt i ein lukka krets. Dette er kjent som ei dampkompresjonsvarmpumpe, eller –kjølar. I tillegg til denne løysinga vert to konsept som baserer seg på nytting av termisk energi gjennomgått. Desse konseptane er ejetorsystem og absorpsjonsvarmpumpe.

3.2.2.1 Solcelledriven elektrisk varmpumpe

System for elektrisk solkjøling baserer seg på å fyrst omgjera solinnstrålinga til elektrisk energi ved bruk av solcellepanel, for så å nytta elektrisk energi til å driva ei kjølemaskin. Solceller er halvlederar, der virkningsgraden og kostnaden varierer mykje avhengig av material, og produksjonsmetoden materialane vert framstilt gjennom. Mesteparten av solcellene tilgjengeleg på marknaden i dag er laga av silisium. Momentanvirkningsgraden til eit solcellepanel kan definerast som forholdet mellom levert elektrisk effekt og direkte innstrålt effekt (Kim and Infante Ferreira 2008).

$$\eta_{sol-el} = \frac{W}{I_p \cdot A_s} = \frac{W}{Q_s} \quad (3.2)$$

Sjølv om høgare virkningsgrader er rapportert frå laboratorier, så ligg virkningsgraden til høgtytelse solceller på marknaden i dag rundt 15% midt på dagen, ved klårt vær (Kim and Infante Ferreira 2008). Den største fordelen med elektrisk solkjøling er den høge totale virkningsgraden når ein kombinerer solcellepanel med eit konvensjonelt dampkompresjonssystem. Eit slikt kombinert system er skissert i figur 3-3.



Figur 3-3 Skjematisk illustrasjon av system for elektrisk solkjøling (Kim and Infante Ferreira 2008)

Virkningsgraden til kjøleanlegget isolert er definert som følger (Kim and Infante Ferreira 2008).

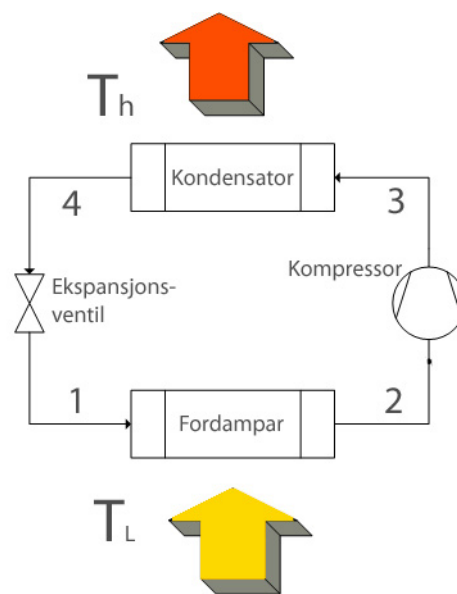
$$COP = \eta_{el-kjøling} = \frac{Q_e}{W} \quad (3.3)$$

Der Q_e gjev varmestraumen inn på fordamparen, altså kjøleenergi. Ved multiplikasjon av dei to delvirkningsgradane får me den samla virkningsgraden som følger.

$$\eta_{sol-kjøling} = \eta_{sol-el} * \eta_{el-kjøling} = \frac{Q_e}{Q_s} \quad (3.4)$$

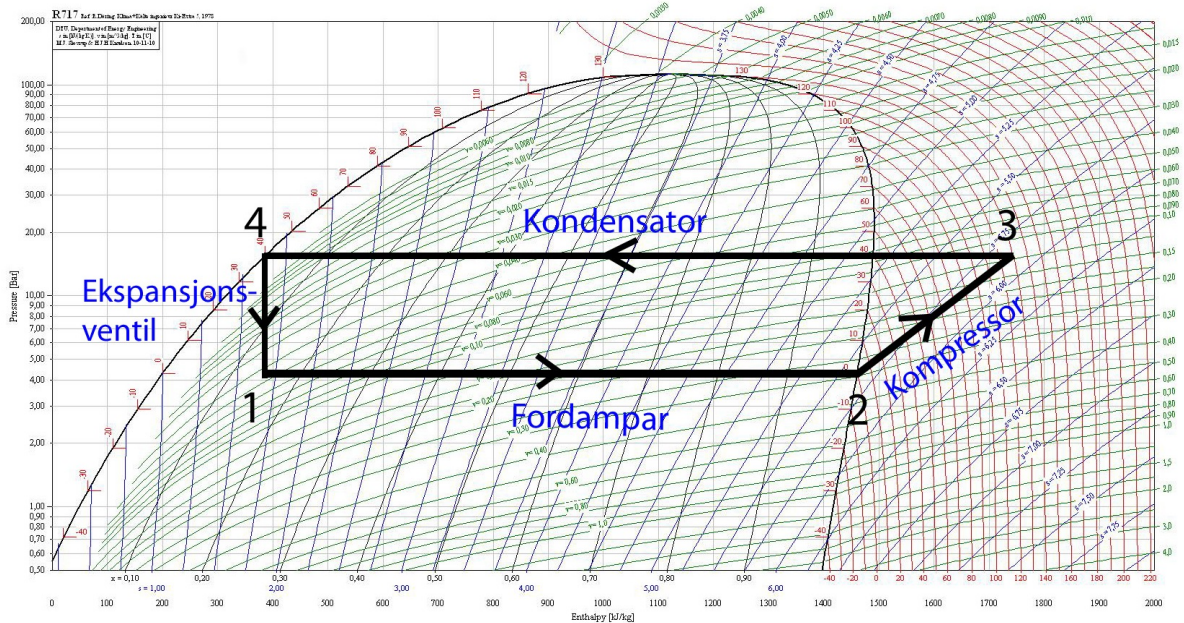
dampkompresjon

Eit arbeidsmedium vert pumpa rundt i ein slutta krets. Komponentane som utgjer ei generell elektrisk varmepumpe er følgjande; ekspansjonsventil, kompressor og varmevekslarar (kondensator/fordampar).



Figur 3-4 Varmepumpekrets

I fordamparen gjennomgår arbeidsmediet ein to-fase endring frå damp/væske-blanding til damp (1-2). Fordampingsvarmen vert henta frå omgjevnadane. Deretter vert dampen pumpa til høgare trykk og temperatur gjennom kompressoren (2-3). I kondensatoren vert dampen fyrst kjølt ned til doggpunktet, så gjennomgår den ein to-fase endring frå damp til metta væske (3-4), etterfylgt av eventuell underkjøling. Kondensasjonsvarme og varme frå eventuell underkjøling vert dumpa til omgjevnadane. Væska går så gjennom ein ekspansjonsventil der trykket og temperaturen vert senka til fordamparnivå (4-1). Arbeidsmediet kjem inn på fordamparen og syklusen gjentek seg sjølv.



Figur 3-5 p-h-diagram – konvensjonell dampkompresjonssyklus

Ph-diagrammet syner for eit gjeve fluid samanhengen mellom trykk, Entalpi, entropi, temperatur, spesifikt volum og væske/damp-fraksjon i tofaseområdet.

For at arbeidsmediet skal fordampa i fordamparen og kondenserast i kondensatoren må trykka i dei respektive varmevekslarane regulerast. Trykket i fordamparen må regulerast slik at kokepunktet for arbeidsmediet er lågare enn temperaturen i varmekjelda. Trykket i kondensatoren må vera slik at kokepunktet for arbeidsmediet er høgare enn varmesluken. Trykknivåa vert regulert med kompressor og ekspansjonsventil. Einaste energikravet til varmepumpa er elektrisk energi til å driva kompressoren .

For berekningar på kjølekretsen vert biblioteket RnLib brukt i kombinasjon med Excel. Dei underliggjande formlane i RnLib er dei same som framkjem frå ph-diagrammet. For å berekna tilstand 3 må ein i tillegg ta høgde for irreversible tap gjennom kompressoren, i form av isentropisk virkningsgrad. Følgjande samanheng vert brukt for å kalkulera tilstand 3 (Moran and Shapiro 2004).

$$\eta_c = \frac{h_{3s} - h_2}{h_3 - h_2} \quad (3.5)$$

Der h_{3s} representerer tilstand 3 dersom kompresjonen hadde vore isentropisk. Virkningsgraden til ein kjølekrets er definert som forholdet mellom kjøleeffekt og kompressorarbeid (Moran and Shapiro 2004).

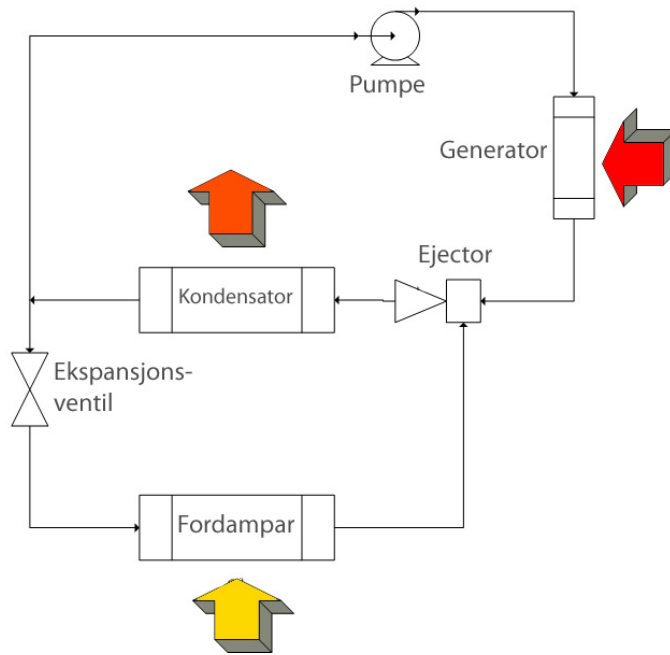
$$\eta_{kjøling} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_2} \quad (3.6)$$

3.2.2.2 *Ejektorsystemet*

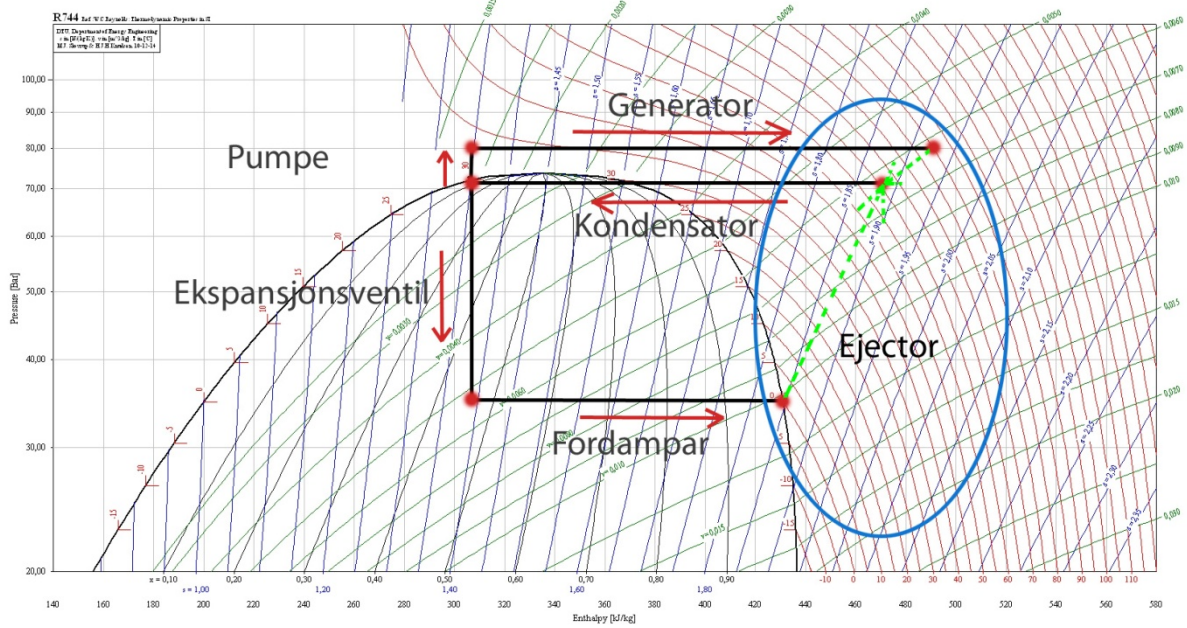
Ejektorkretsen har mange likskapar med varmepumpekretsen. Eit arbeidsmedium straumar gjennom ein lukka krets, og også i ejektorkretsen har me varmevekslarar som fungerer høvesvis som fordampar og kondensator for fluidet, og dermed gjev opphav til dei same varmestraumane mellom fluidet og omgjevnadane. Det som skiljer ejektorkretsen frå varmepumpekretsen er korleis trykkskilnaden mellom fordampar og kondensator vert etablert og oppretthaldt.

I ejektorkretsen er kompressoren erstatta med ei pumpe, ein generator og ejektoren. Resultatet vert det same; Ein trykkforskjell mellom kondensator og fordampar.

Varme vert tilført ejektoren og høgtrykk og høg-temperatur fluid vert fora inn som primærstraum til ejektoren. Det er denne straumen som er drivkrafta til ejektoren. Ejektoren dreg så lågtrykk fluid frå fordamparen som sekundærstraum. Dei to straumane vert blanda i ejektoren og kjem ut på eit trykknivå mellom primærstraum og sekundærstraum. Den resulterande fluidstraumen kjem inn på kondensatoren, der den gjennomgår ein tofase-overgang til væskeform. Straumen vert så splitta der eine delen går gjennom ekspansjonsventilen og inn at på fordamparen, medan resten vert pumpa tilbake til generatoren ved høgare trykk. Energtilførsel til ejektorkretsen er termisk energi til generatoren og pumpearbeid. Pumpearbeidet er typisk mindre enn 1% av energtilførsel til generatoren (Chunnanond and Aphornratana 2004).



Figur 3-6 Ejektor-kjølelrets



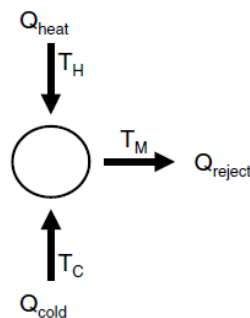
Figur 3-7 ph-diagram ejektor-kjølelrets

3.2.2.3 Absorpsjonsvarmepumpe

Sorpsjonskjøling

Sorpsjonssystem har den unike eigenskapen at dei kan produsera kjøleeffekt direkte frå termisk energi. Sorpsjonskjøling dreg nytte av fysisk eller kjemisk tiltrekning mellom to stoff til å produsera kjøleeffekt. Av dei to stoffa så vert det med lågast kokepunkt kalla sorbat, og det med høgast kokepunkt vert kalla sorbent. Sorbatet har rolla som kjølemedium (Kim and Infante Ferreira 2008).

Den grunnleggjande prosessen i ei termisk driven varmepumpe eller kjølar er illustrert på figuren under.



Figur 3-8 Grunnleggjande termodynamisk skisse over termisk driven varmepumpe/kjølar (Henning 2007)

Inn i systemet kjem det ein varmestraum ved relativt høg temperatur, og ein varmestraum ved relativt låg temperatur. Ut frå systemet går det ein varmestraum med eit middels temperaturnivå. Ved å bruka litt høg-temperatur termisk energi kan ein altså fjerna varme frå eit kaldt reservoar og dumpa den ved høgare temperatur.

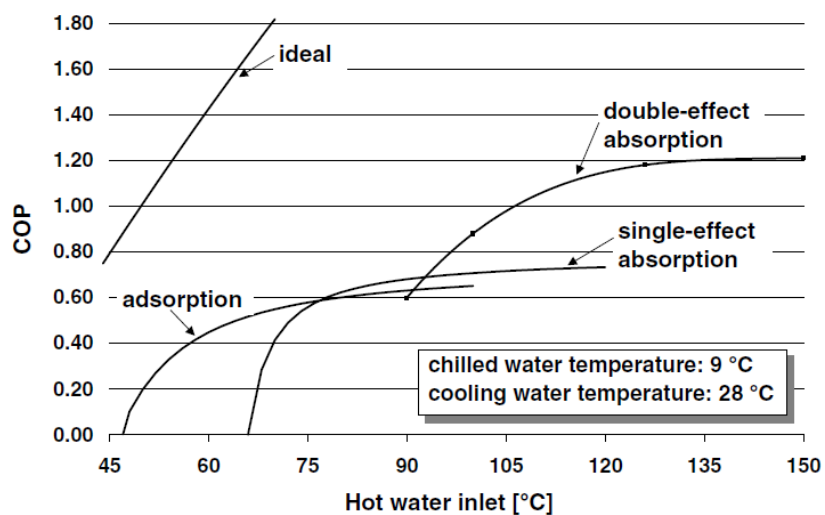
Den termiske virkningsgraden er ein grunnleggjande måte å beskriva kvaliteten på omgjerung av varmeenergi til kjøling. Med same symbol som i figur 3-8 er den definert som følgjer (Henning 2007).

$$\eta_{varme-kjøling} = \frac{Q_{cold}}{Q_{heat}} \quad (3.7)$$

Termodynamikkens 1. og 2. lov nytta på den grunnleggjande prosessen i ein termisk driven kjølar, slik som på figuren over, resulterer i eit uttrykk for den teoretisk maksimale virkningsgraden (Henning 2007).

$$\eta_{varme-kjøling, idéell} = \frac{T_C}{T_H} * \frac{T_H - T_M}{T_M - T_C} \quad (3.8)$$

Figur 3-9 syner den ideelle maksimale virkningsgraden og faktiske virkningsgradar på sorpsjonskjølerar tilgjengelege på marknaden ved fordampartemperatur 9°C og kondensator temperatur 28°C. Ein ser at virkningsgraden til alle kjølerane er avhengig av generatortemperaturen. Me ser at adsorpsjonskjøling krev lågare generatortemperaturar enn absorpsjonskjøling, og at det for dei gjevne kondensator- og fordampartemperaturane kan vere eit effektivt alternativ opp til generatortemperaturar kring 75°C. Frå om lag 75°C syner absorpsjonskjøling høgare virkningsgrad. Adsorpsjonskjøling vert uansett ikkje vurdert vidare av grunnar oppgjevne i kapittel 2.5.4. For generatortemperaturar høgare enn 90°C seier figuren at to-trinns absorpsjonskjøling gjev høgast virkningsgrad.

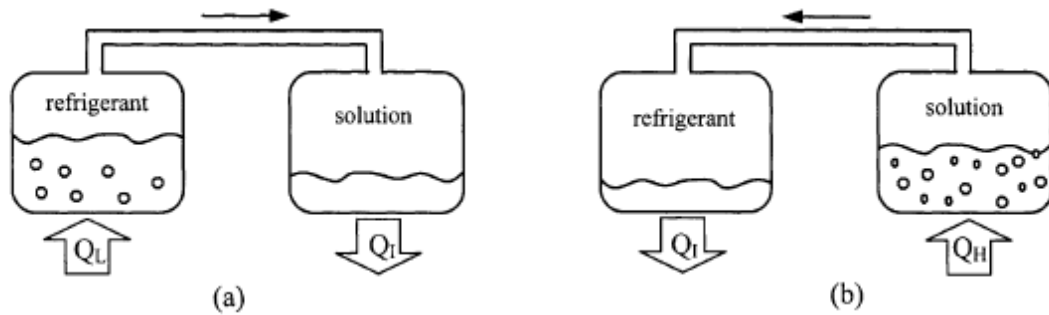


Figur 3-9 Kjølevirkningsgrad for sorpsjonskjølarar og øvre termodynamisk grense (Henning 2007)

Absorpsjonssystem – Prinsipp og virkemåte

Den dominerande teknologien for termisk drivne vasskjølerar er basert på absorpsjon. Den grunnleggjande fysiske prosessen består av minst to kjemiske stoff, der ein av dei fungerer som kjølemedium, og den andre som sorbent (Henning 2007).

Dei fundamentale prosessane i ei absorpsjonsvarmepumpe er illustrert i figur 3-10.



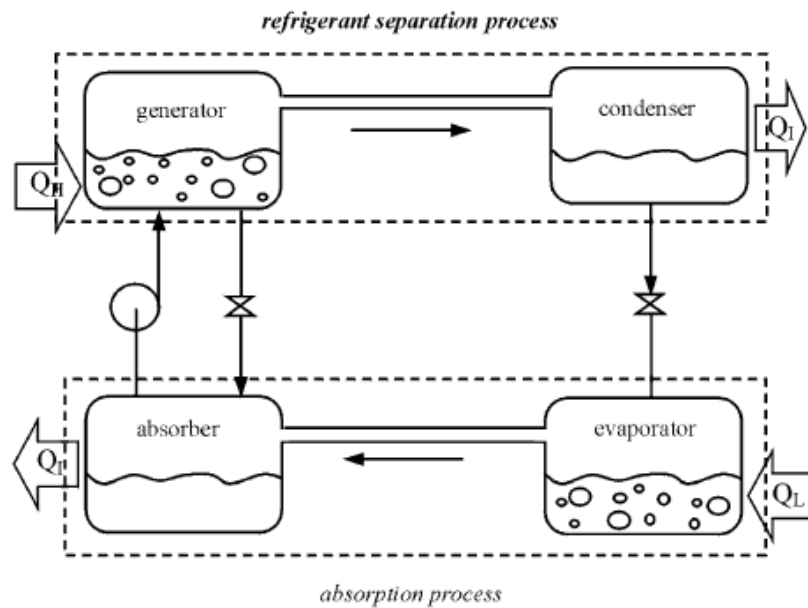
Figur 3-10 Absorpsjonsvarmepumpe - fundamentale prosessar: Absorpsjon og separasjon (Srikhirin, Aphornratana et al. 2001)

I figuren til venstre er det eit kammer med flytande kjølemedium (refrigerant) og eit kammer med kjølemedium/absorbent (solution). Kammera deler den same lufta. Løysinga vil absorbera damp frå kjølevæska, og kjølemediumet vil fortsetja å fordampa til løysinga er metta og det er oppnådd likevekt. Fordampinga av kjølevæska krev termisk energi, og vil altså resultera i ein kjøleeffekt (Q_L). Absorpsjonsprosessen som føregår i kammeret til høgre er som regel eksoterm og vil dumpa varme til omgjevnadane (Q_I) (Srikhirin, Aphornratana et al. 2001).

Når likevekt er oppnådd og løysinga er metta vil prosessen stoppa opp. Ved å tilføra varme til løysinga kan løysinga separerast att. Kjølemediumet fordampar frå sorbenten og og kondenserer i kammeret til venstre. Denne prosessen er illustrert i figuren til høgre. Varmestraumane vil i denne prosessen gå motsatt veg som i absorpsjonsprosessen (Srikhirin, Aphornratana et al. 2001).

Ved utnytting av prosessane over kan ein altså få kjøleeffekt ved å bruka utelukkande varmeenergi. Men prosessane kan ikkje gå samtidig i konfigurasjonen som er illustrert over.

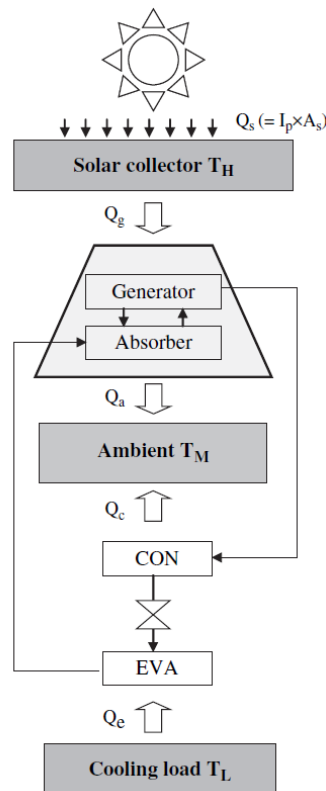
Absorpsjonsvarmepumpa kombinerer prosessane over til ein prosess som kan gå kontinuerlig. Ei prinsipiell absorpsjonsvarmepumpe er illustrert i figur 3-11.



Figur 3-11 Absorpsjonsvarmepumpe - fundamental virkemåte (Srikhirin, Aphornratana et al. 2001)

Sorbatet (kjølemediumet) fordampar i fordamparen, og vert absorbert i ei løysing av sorbent og sorbat i absorberen. Løysinga i absorberen vert så pumpa til generatoren, der høg-temperatur varme vert tilført for å koka ut sorbatet. Når sorbat vert koka ut av løysinga, kan ein seie at sorbenten vert regenerert i den forstand at den har fått auka kapasitet til å på ny absorbera sorbat. Sorbatet som vert koka ut i generatoren kondenserer i kondensatoren og vert så sleppt tilbake til fordamparen gjennom ein ekspansjonsventil. Etter at sorbat har vorte koka ut i generatoren går den resterande løysinga, via ein ekspansjonsventil, til absorberen der den på ny kan absorbera sorbat-damp frå fordamparen. Sidan separasjonsprosessen går ved eit høgare trykk enn absorpsjonsprosessen treng ein ei pumpe for å sirkulera arbeidsmediumet (Srikhirin, Aphornratana et al. 2001).

Ei prinsippsskisse av eit solkjølingsanlegg med solfangar og absorpsjonskjølar kan sjå ut som i figur 3-12.



Figur 3-12 Solkjøling med absorpsjonsvarmepumpe (Kim and Infante Ferreira 2008)

Generatoren mottok varme Q_g frå solfangarane og regenererer sorbenten som har absorbert kjølemediumet i absorberen. Kjølemedium-dampen som vert generert i denne prosessen kondenserer i kondensatoren, og er dermed opphav til varmestraumen Q_c frå kondensator til omgjevnadene. Den andre massestraumen ut frå generatoren er den regenererte sorbenten som vert sendt attende til absorberen der den absorberer kjølemedium som har fordampa i fordamparen. Denne sorpsjonsprosessen er, som nemnd over, eksoterm og gjev opphav til varmestraumen Q_a frå absorberen til omgjevnadane. Etter kondensatoren går kjølemediumet til fordamparen der det fordampar ved lågare trykk og gjev opphav til varmestraumen Q_c frå kjølelasta til arbeidsmediumet (Kim and Infante Ferreira 2008).

Eit adsorpsjonssystem fungerer grunnleggande likt som eit absorpsjonssystem i den forstand at ein tilfører varme, og gjennom utnytting av sorpsjonsprosessar får produsert kjøleffekt. Det at sorbenten i eit adsorpsjonssystem er eit fast stoff gjer likevel at designet av systemet vert litt ulikt. Medan ein i absorpsjonssystemet kontinuerlig pumpar flytande sorbent frå absorber til generator, vil sorpsjonseiningane i eit adsorpsjonssystem, på grunn av vanskelegheiter med å transportera sorbent i fast form mellom einingane, veksla mellom å fungera som absorber og generator (Kim and Infante Ferreira 2008).

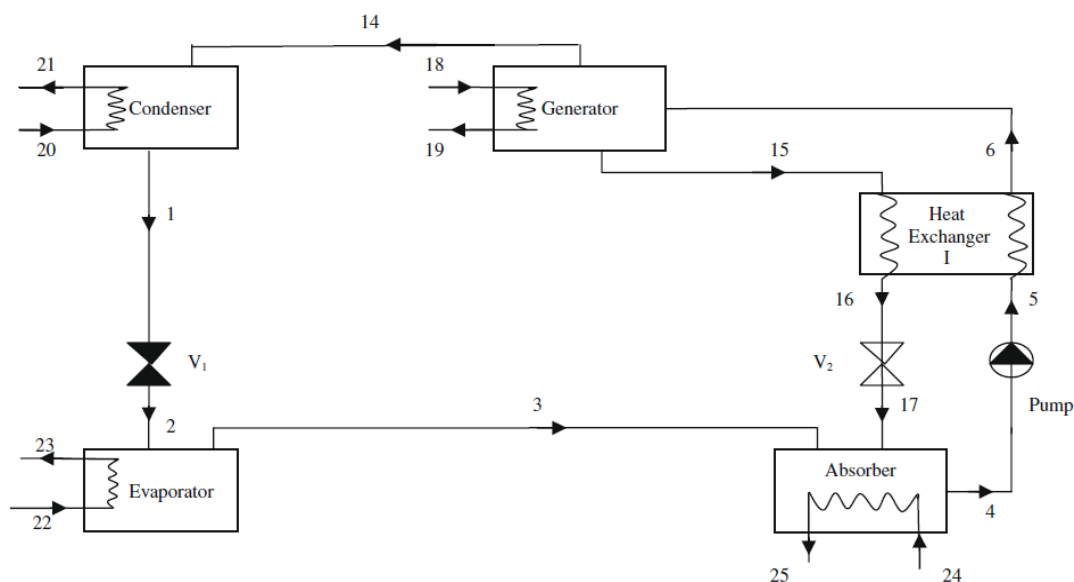
Virkningsgraden til ein sorpsjonskjølar, enten det er absorpsjon eller adsorpsjon kan definerast slik (Kim and Infante Ferreira 2008).

$$\eta_{\text{varme-kjøling}} = \frac{Q_e}{Q_g + W_{el}} \quad (3.9)$$

Der W_{el} representerer elektrisk arbeid for å driva pumpa, Q_g er varmestraumen inn på generator og Q_e er varmestraumen inn på fordampar (kjøleenergi).

Eitt-trinns vs. to-trinns absorpsjon

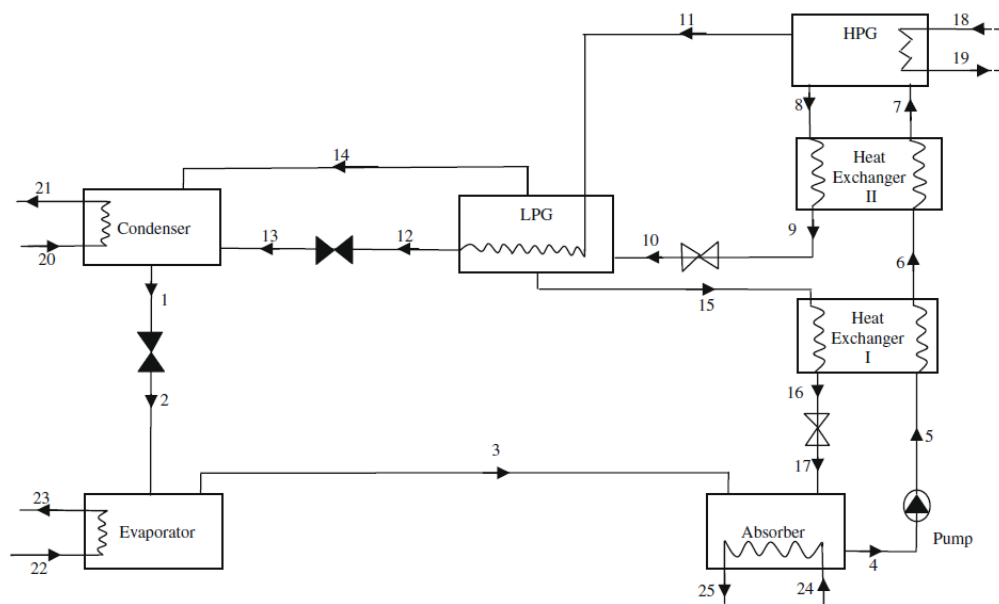
Hovudkomponentane i eit absorpsjonssystem er generator, absorber, kondensator, fordampar, pumpe, ekspansjonsventilar og ein varmevekslar for varmegjenvinning mellom absorber og generator. Det grunnleggande designet for absorpsjonssystem er såkalte eitt-trinns maskiner, der for kvar masseining kjølemiddel som fordampar i fordamparen må ein masseining kjølemiddel skiljast ut av løysinga i generatoren (Henning 2007). Figur 3-13 syner ein skjematisk illustrasjon av flyten i eit eitt-trinns absorpsjonssystem.



Figur 3-13 Skjematisk illustrasjon av eitt-trinns absorpsjonskjølar (Gomri 2009)

For forklaring av flyten i absorpsjonssystemet vert det teke utgangspunkt i arbeidsparet LiBr/vatn. Vatn fungerer som kjølemiddel og LiBr fungerer som sorbent. Vassdamp frå fordamparen kjem inn på absorberen der den vert absorbert av ei løysing av LiBr/vatn. Denne løysinga vert så pumpa til generatoren, via ein varmevekslar, og i generatoren vert vatn kokt ut av løysinga ved vidare varmetilførsel. Vassdampen frå generatoren kondenserer så i kondensatoren, før vatnet går til fordamparen via ein ekspansjonsventil. Etter vatn er kokt ut av løysinga i generatoren går den resterande sterke løysinga (mykje LiBr) via varmevekslaren og ein reduksjonsventil tilbake til absorberen der den igjen kan absorbera vassdamp frå fordamparen.

Eit to-trinns absorpsjonssystem består av dei same grunnleggande komponentane som eit eitt-trinns system, men det har to generatorar, to varmevekslarar for varmegjenvinning mellom absorber og generatorar, to reduksjonsventilar og to ekspansjonsventilar. Eit slikt system er illustrert i figur 3-14.



Figur 3-14 Skjematisk illustrasjon av to-trinns absorpsjonsvarmepumpe (Gomri 2009)

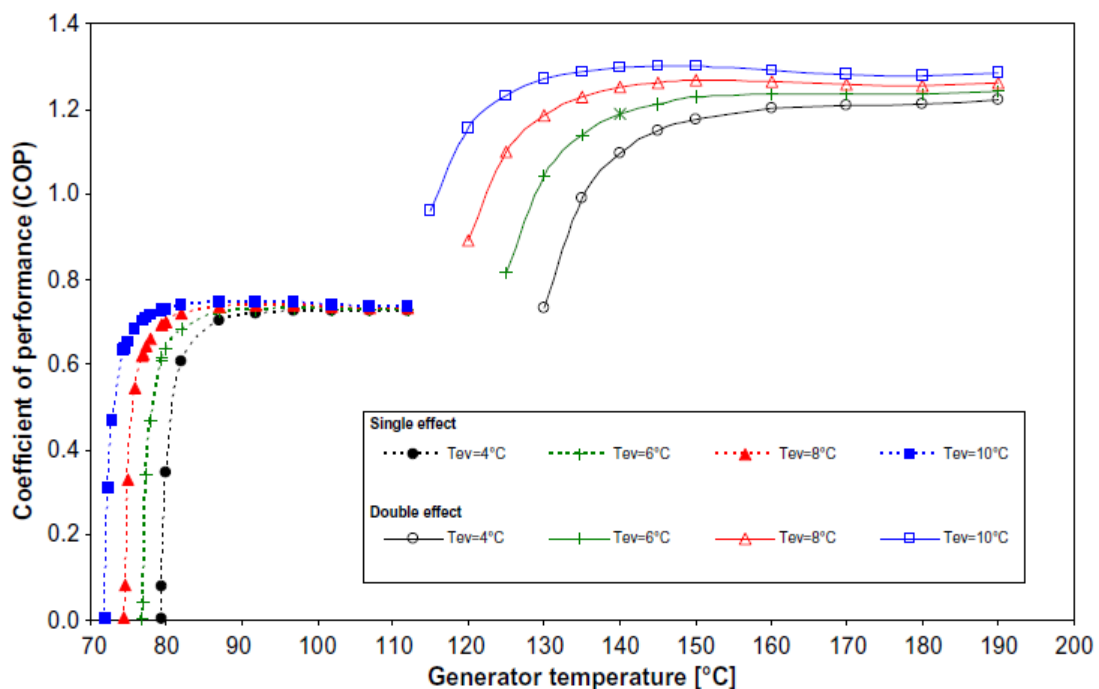
Igjen vert det teke utgangspunkt i arbeidsparet LiBr/vatn for forklaring av flyten i systemet. Svak LiBr-vatn-løysing (lite LiBr) vert pumpa frå absorberen, via to varmevekslarar, til høgtrykksgeneratoren der varme vert tilført ved relativt høg temperatur for å koka ut noko av vatnet frå løysinga. Primærdampen frå høgtrykksgeneratoren kjem deretter til lågtrykksgeneratoren der den varmevekslar med medium-konsentrasjon løysinga frå høgtrykksgeneratoren og kondenserer. Kondensasjonsvarmen frå primærdampen vert brukt til å koka ut vatn frå medium-konsentrasjon løysinga i lågtrykksgeneratoren. Den totale mengda vatn som forlet kondensatoren er altså summen

av damp frå høgtrykksgeneratoren og lågtrykksgeneratoren. Frå kondensatoren går vatnet gjennom ein ekspansjonsventil før det fordampar ved lågare trykk i fordamparen, og gjev opphav til kjøleeffekten. Vassdampen frå fordamparen vert deretter absorbert i den sterke løysinga (mykje LiBr) som kjem frå lågtrykksgeneratoren til absorbereren, der absorpsjonsvarmen vert dumpa.

Virkningsgrad og temperatur

Gomri (2009) gjorde ein komparativ studie av eitt-trinns og to-trinns LiBr/vatn absorpsjonssystem med same kjøleeffekt. Simulasjonsresultata synte korleis dei ulike operasjonsbetingelsane påverka virkningsgrad, varmebalansen mellom komponentane, eksergi-virkningsgrad og total eksergiendring i dei to systema. I denne rapporten vert berre utvalde resultata som omhandlar virkningsgrad gjengjeve. Simuleringar er gjort for fordampartemperaturar 4 – 10°, kondesator- og absorbertemperaturar 33 - 39°C og generatortemperaturar 60 – 190°C. Det er rekna med same temperatur for varmesluk for kondensator og absorber.

Når LiBr er løyst i vatn finst det ein minimumstemperatur for kvar gjevne konsentrasjon. Dersom LiBr-konsentrasjonen vert for høg, eller temperaturen i løysinga vert for låg kan ein få krystalldanning. Generatortemperaturane i simuleringane er valgt høvelege for å unngå krystalldanning. Simuleringar er gjort for konstant kjølekapasitet $Q_{ev}=300\text{kW}$, pumpeeffektivitet=95% og varmevekslareffektivitet=70%. Figur 3-15 syner virkningsgraden til eitt-trinns og to-trinns absorpsjonskjølerar for ulike fordampartemperaturar ved kondensasjonstemperatur 39°C.



Figur 3-15 Virkningsgrad for LiBr-vatn absorpsjonskjølar med kondensatorstemperatur 39°C (Gomri 2009)

Høge virkningsgradar vert oppnådd for høge fordampartemperaturar og låge kondensatortemperaturar (lite temperaturløft). Virkningsgraden viser fyrst betydeleg auke med generatortemperatur, før den stabiliserer seg, eller i nokon tilfelle minkar med vidare auke i generatortemperatur. Med andre ord så vil ein ikkje oppnå forbetring av virkningsgrad ved å auka generatortemperaturen over eit visst nivå.

3.2.3 Vifteenergi

For å driva luftstraumen rundt i tørka trengs det ei vifte, og vifta treng energitilførsel. Forholdet mellom energi tilført luftstraumen og tilført energi på akslingen er virkningsgraden til vifta.

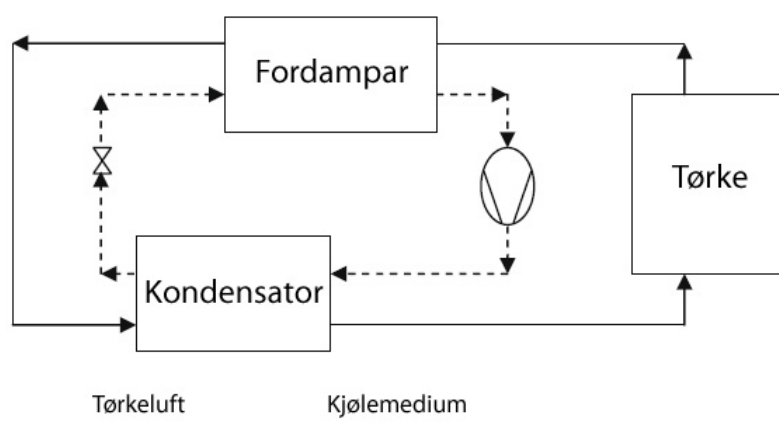
Virkningsgraden er gjeven av

$$\mu = \frac{\Delta p * q}{P} \quad (3.10)$$

der Δp er trykkdifferansen over vifta i Pa, q er volumstraumen i m^3/s , og P er effekt tilført akslingen (The engineering toolbox (2011)).

3.2.4 Samanheng kjølekrets - tørkeluft

I sammenheng med kjølekretsen har me to primære varmestraummar. Ein varmestraum inn på fordamparen, og ein varmestraum ut frå kondensatoren. Det er desse varmevekslarane med tilhøyrande varmestraummar som knyttar kjølekretsen til tørka. Fuktig luft frå tørka kjem inn på den kalde fordamparen, der tørkelufta vert kjølt ned til doggpunktet og vidare ned, til ønska mengd fukt er kondensert ut frå tørkelufta. Dette vatnet vert fjerna frå systemet. Følbar og latent varme som vert fjerna frå tørkelufta vert teken opp som fordampingsvarme i arbeidsmediet. Den kalde og avfukta lufta kjem så inn på kondensatoren, der kondensasjonsvarme frå kjølemediet gjev oppvarming av tørkelufta til ønska tørketemperatur.



Figur 3-16 Samanheng tørke kjølekrets. Basert på Colak og Hepabsli (2009)

3.3 Solenergi

3.3.1 Tilgjengeleg solenergi

I kapittel 5.3 vert det gjort utrekningar for tilgjengeleg solenergi, time for time gjennom året, for ei flate med generell helning β plassert i Mumbai. I dette kapitteleg vert dei nytta samanhengane og formlane gjennomgått, men å gjeva ei fullstendig innføring i estimering av tilgjengeleg solenergi er utanfor fokusområdet for denne rapporten. For ein grundig innføring i teori kring solstråling og solenergi vert det henvist til boka Duffie & Beckmann (2006).

Solstrålinga som når jordskorpa vil variera over året og døgnet avhengig av strålinga som når jorda si atmosfære, og kva som skjer med strålinga frå den når atmosfæren til den når jordskorpa.

Døgninnstrålinga som når ei flate på ytterkanten av jorda si atmosfære, H_0 kan estimerast godt ut i frå sola si avstand til jorda og innfallsvinkelen, medan strålinga sin veg gjennom atmosfæren er meir kompleks og er sterkt avhengig av atmosfærens samansetjing på den aktuelle staden. Det er to fenomen som dominerer strålinga sin veg gjennom atmosfæra: (1) atmosfærisk spredning i luftmolekyl, vatn (både vassdamp og vassdråpar) og støv og (2) atmosfærisk absorpsjon av O_3 , H_2O og CO_2 . Data for gjennomsnittleg antal soltimar er tilgjengeleg frå mange hundre målestasjonar i mange land, og på grunnlag av slike data og empiriske samanhengar, er det fullt mogleg å estimera tilgjengeleg solstråling. Men dersom strålingsdata er tilgjengeleg vil dette vera det beste grunnlaget for å estimera tilgjengeleg solstråling (Duffie & Beckman, 2006).

To typar strålingsdata er generelt godt tilgjengeleg for mange målestasjonar på jorda; Månadleg gjennomsnittleg total døgninnstråling på ein horisontal flate, \bar{H}^3 , og månadleg gjennomsnittleg total timesinnstråling for ei horisontal flate, \bar{I} . Datagrunnlaget for berekningane av tilgjengeleg solstråling i denne rapporten er \bar{H} .

3.3.2 Månadleg gjennomsnittleg døgninnstråling på ei tilta flate

I dette avsnittet vert det forklara korleis ein med utgangspunkt i \bar{H}_0 , \bar{H} og \bar{R}_b for ein gjeven stad kan finna månadleg gjennomsnittleg innstråling på ei tilta flate. Metoden som vert brukt vart, ifølgje Duffie & Beckmann (2006), utvikla av Liu og Jordan (1962), og utvida av Klein (1977). Den antek at både den diffuse strålingskomponenten og strålinga reflektert frå bakken er isotropisk. \bar{R} er forholdet mellom dagleg stråling på ein horisontal flate og dagleg stråling på ei flate med helning β (Duffie & Beckman, 2006).

³ Overstrek vert nytta i heile rapporten for å indikera ein månadleg gjennomsnittleg storleik

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_t}{\bar{H}} \quad (3.11)$$

Ved å anta at både den diffuse strålingskomponenten og strålinga reflektert frå bakken er isotropisk får me følgjande uttrykk for \bar{R} (Duffie & Beckman, 2006).

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (3.12)$$

Der β er helningen til flata, ρ_g er albedo for bakken. \bar{R}_b er forholdet mellom månadleg gjennomsnittleg direkte (ikkje diffus) døgninnstråling på ei horisontal flate, og tilsvarende stråling på ei flate med helning β . \bar{R}_b er, i tillegg til helningen til flata, avhengig av geografisk stad og tid på året. Tabellar over \bar{R}_b for forskjellige β og ϕ for alle månadane i året finst i vedlegg A.

\bar{H}_d er månadleg gjennomsnittleg diffus døgninnstråling. Korrelasjonar mellom \bar{H}_d og \bar{H} har vorte kartlagt og utleda av ei rekkje folk, med meir eller mindre samanfallande resultat. Denne rapporten støttar seg på korrelasjonen utleda av Hawas og Muneer for Indiske forhold (Hawas & Muneer, 1984). For $0,3 < \bar{K}_t < 0,85$ utleia dei følgjande samanheng.

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1,36 - 1,6\bar{K}_t \quad (3.13)$$

\bar{K}_t , monthly average clearness index, er forholdet mellom månadleg gjennomsnittleg stråling pr. døgn ved jordskorpa, og månadleg gjennomsnittleg stråling pr. døgn ved ytterkanten av atmosfæren. Den er definert slik (Duffie & Beckman, 2006):

$$\bar{K}_t = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (3.14)$$

Tabell med \bar{H}_0 for alle månader for 15°N og 20°N finst i vedlegg B.

På denne måten kan ein finne \bar{H}_t , den månadlege gjennomsnittlege døgninnstrålinga på ei flate med helning β .

3.3.3 Stråling på ei horisontal flate time for time

I dette avsnittet vert det forklart korleis ein kan estimera strålingsvarisjonen over døgnet på ei horisontal flate, før det vert forklara korleis ein kan estimera strålinga time for time på ei flate med helning β .

r_t er forholdet mellom døgninnstråling på ei horisontal flate, og strålinga på den same flata for ein gjeven time på dagen (Duffie & Beckman, 2006).

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (3.15)$$

Dersom ein skal gjera time for time berekningar, men ikkje har strålingsdata pr. time må ein estimera ut frå døgninnstråling. På grunn av vær og vind og utenkeleg komplekse variasjonar i atmosfæriske forhold finst det ingen måte å bestemma strålinga time for time over døgnet basert på døgndata. Når det er sagt så fungerer metoden som vert greia ut her relativt godt for klare dagar, og det er dei dagane som generer mest energi i solenergi-prosessorar. Statistiske studiar av fordelinga av den totale døgninnstrålinga time for time har leia fram til generelle samanhengar som funksjon av dagslengde og tid på dagen. Denne formelen er utleda av Pereira og Rabl og er henta frå Duffie & Beckman (Duffie & Beckman, 2006):

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) * \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (3.16)$$

Der koeffisientane a og b er gjevne av

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin (\omega_s - 60) \quad (3.17)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin (\omega_s - 60) \quad (3.18)$$

Ein kan altså estimera innstrålinga på ei horisontal flate time for time over døgnet, der ω er timevinkelen for midtpunktet i den aktuelle timen og ω_s , timevinkelen ved solnedgang, er gjeven av

$$\cos \omega_s = \frac{-\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} \quad (3.19)$$

Deklinasjonen δ kan finnast frå den omtrentlege likninga til Cooper (Duffie & Beckman, 2006).

$$\delta = 23,45 * \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (3.20)$$

Der n gjev kva dag i året det er.

3.3.4 Stråling på tilta flate time for time: Isotropisk himmel

Ved å anta isotropisk himmel kan ein finne I_T , timesinnstrålinga på ei tilta flate ut i frå I , strålinga på ei horisontal flate og R , forholdet mellom timesinnstråling på ei tilta flate og timesinnstrålinga på ei horisontal flate (Duffie & Beckman, 2006).

$$R = \frac{I_T}{I} \quad (3.21)$$

Ved å anta isotropisk himmel er R gjeven frå følgjande formel frå Liu og Jordan (Duffie & Beckman, 2006)

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + \rho_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (3.22)$$

R_b er forholdet mellom direkte stråling på ei tilta flate og direkte stråling på ei horisontal flate (Duffie & Beckman, 2006).

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (3.23)$$

θ er innfallsvinkelen til strålinga på ei kva som helst flate, og den er definert som vinkelen mellom normalen til flata og vinkelen til strålinga. For ei horisontal flate vil innfallsvinkelen vere samanfallandemed θ_z , senit-vinkelen til sola. For ei flate med helning β vil innfallsvinkelen vere gjeven ved følgjande formel (Duffie & Beckman, 2006).

$$\begin{aligned} \cos\theta &= (\sin\delta * \sin\phi * \cos\beta) \\ &- (\sin\delta * \cos\phi * \sin\beta * \cos\gamma) \\ &+ (\cos\delta * \cos\phi * \cos\beta * \cos\omega) \\ &+ (\cos\delta * \sin\phi * \sin\beta * \cos\gamma * \cos\omega) \\ &+ (\cos\delta * \sin\beta * \sin\gamma * \sin\omega) \end{aligned} \quad (3.24 a)$$

For ei horisontal flate, dvs $\beta = 0$, vil formelen over verta redusert til følgjande

$$\cos\theta_z = \cos\theta(\beta = 0) = (\cos\theta * \cos\delta * \cos\omega) + (\sin\phi * \sin\delta) \quad (3.24 b)$$

r_d for ein gjeven time er forholdet mellom diffus timesinnstråling og diffus dagsinnstråling (Duffie & Beckman, 2006)

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} \quad (3.25)$$

Følgande formel frå Liu og Jordan gjev r_d som funksjon av daglengde og tid på dagen (Duffie & Beckman, 2006).

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi\omega_s}{180} \cos\omega_s} \right) \quad (3.26)$$

Der timevinkelen som vert brukt, ω , er midtpunktet av den aktuelle timen. Formelen baserer seg på at I_d/H_d er det same som I_0/H_0 .

I_b kan me så finna frå det faktum at den totale strålinga som treff ei horisontal flate er summen av direkte stråling og diffus stråling, eller matematisk formulert

$$I = I_b + I_d \quad (3.27)$$

På denne måten kan me altså ved å anta isotropisk himmel estimera I_t frå I

3.3.5 Å fanga sola

Eit viktig val i planlegginga av solenergisystem er om ein skal montera modulane i ein fast posisjon, eller om ein skal nytta system som på ulikt vis kan følgja solbanen. Det enklaste er å montera dei i ein fast posisjon retta i ein gjeven vinkel mot ekvator. Fordelen med denne løysinga er ingen bevegelege delar og låg kostnad. Kva som er optimal monteringsvinkel kjem hovudsakleg an på breiddegrad, andel diffus stråling på staden og last-profilen. Ved å montera panela på eit to-akse-system, kan ein fanga opp til 40% meir av den tilgjengelege solenergien samanlikna med ein fast montering. Men dette aukar kompleksiteten og resulterer i lågare pålitelegheit, og auka vedlikehaldskostnader. Enkeltaksesystem er mindre komplekst, men gjev mindre vinst. Med tilgjengeleg arbeidskraft kan retning på solfangarane justerast manuelt for å auka vinsten. Det har vorte estimert at, for solrike områder kan ein ved å justera panelet mot sola to gongar om dagen og justera tilten ein gong i kvartalet kan ein fanga nesten 95% av energien ein kan fanga med eit heilautomatisk toakse-system. Sporing er særkild viktig i system som opererer med konsentrert solstråling. Sporing vert naudsynt når konsentrasjonsratioen overstig omtrent 10 og systemet berre kan nyttegjera den direkte komponenten av solstrålinga (Markvart, 2000).

Nokre solenergisystem nyttar ulike sporingssystem for å følgja sola over døgnet, og over året. Ved å bevega solfangarflaten på bestemte måtar kan ein minimera innfallsvinkelen til den direkte strålinga

relativt til flaten, og på den måten maksimera strålingsenergien som når flaten. Sporingssystema kan klassifiserast ut i frå korleis dei bevegar seg. Dei kan bevega seg rundt ein akse, eller to aksar.

For ein flate som vert rottert rundt ein horisontal aust-vest akse, med ein dagleg justering slik at den direkte strålinga står vinkelrett på flaten midt på dagen kvar dag vil innfallsvinkelen vere gjeven ved følgjande samanheng (Duffie & Beckman, 2006).

$$\cos\theta = \sin^2\delta + (\cos^2\delta * \cos\omega) \quad (3.28)$$

Og helningen til flata vil for kvar dag vere gjeven av

$$\beta = |\phi - \delta| \quad (3.29)$$

Azimuth-vinkelen γ til flata er 0° eller 180° avhengig av breiddegrad og deklinasjon

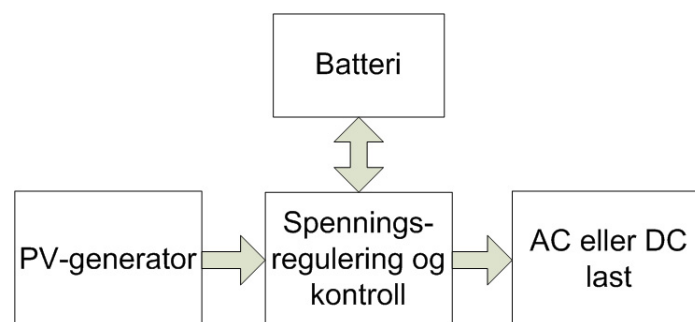
$$\gamma = \begin{cases} 0^\circ & \text{dersom } (\phi - \delta) > 0 \\ 180^\circ & \text{dersom } (\phi - \delta) \leq 0 \end{cases} \quad (3.30)$$

(Duffie & Beckman, 2006)

3.3.6 Elektrisk solenergi

I dette avsnittet vert virkemåten og oppbyggingen av eit frittstående solcellesystem heilt enkelt forklart, før det vert greia ut litt bakgrunnsinformasjon for å kunna gjera antakelsar av virkningsgraden til eit solcellesystem. For ein grundigare innføring i elektriske solenergi-system vert det henvist til Solar Electricity redigert av Thomas Markwart (Markwart, 2000).

Ei solcellebasert energiforsyning består av ei rekkje mindre undersystem. I denne rapporten vert det sett bort frå reservegenerator og nett-tilslutning og i praksis ville systemet prinsipielt sett ut som illustrert i figur 3-17.



Figur 3-17 Frittstående solcellebasert energiforsyning

Hjarta av PV (Photo voltaic)-systemet er generatoren. Den består av PV-modular som er koplta saman til ein DC kraftproduserande eining. Ein modul er bygd opp av solceller.

Sidan solenergi er såpass variabelt over tid, er det vanleg at frittstående solenergisystem har eit system for lagring av energi. Majoriteten av frittstående PV-system i dag nyttar batterilagring, der blybatteri er dei mest brukte grunna god tilgjengeleghet og at dei er kostnadseffektive. I denne rapporten vert det ikkje gjort berekningar for batterilagring, men heller anteke tapsfri lagring over døgnet, og ingen sesonglagring.

Spenningsregulering og kontrollsystemet konverterer den genererte DC-elektrisiteten til vekselstraum, beskyttar batteri mot overlading eller overdriven utlading og optimaliserer energioverføringa mellom PV-generatoren, batteri og last (Markvart, 2000).

I spennet mellom elektromagnetisk stråling som treff ei solcelle, til avgjeven effekt frå solcellepanelet i form av elektrisk straum og spenning har me ei rekkje energitap. Fundamentale tap manifesterer seg i form av at solcella ikkje kan nyttegjera seg av dei lågare energinivåa i det elektromagnetiske spekteret, samt at solcella berre kan omgjera ei fast energimengd (bestemt av båndgapet til solcella) til elektrisk energi per absorbert foton. fotonenergi over denne grensa vil gå tapt i form av varme til omgjevnadane. Desse fundamentale tapa senkar den teoretiske maksimale virkningsgraden til silisiumceller til 48%. Andre tap vil senka virkningsgraden til eit betydeleg lågare nivå. Dei mest effektive silisiumcellene i dag har ein virkningsgrad på 23%. Høgare virkningsgrader har vorte oppnådd under konsentrert sollys, i fotoelektriske innretningar av andre material og i tandemstrukturar. Ei typisk produksjons silisiumcelle har ein virkningsgrad på 14%, men nye einingar med virkningsgrad opp mot 18% byrjar å koma på markedet (Markvart, 2000).

3.3.7 Termisk solenergi, solfangarkarakteristikkar og virkningsgrad

Ein solfangar er ein spesiell form for varmevekslar som omgjer strålingsenergi frå sola til varmeenergi. Ein solfangar skiljer seg frå konvensjonelle varmevekslarar på fleire punkt. Konvensjonelle varmevekslarar nyttar oftast eit fluid på begge sider av varmevekslaren, oppnår høge varmeovergangstal, og stråling vert ein relativt uviktig faktor. I ein solfangar foregår energioverføringa frå ei fjerntliggjande strålingskjelde til fluidet som sirkulerer i solfangaren. Bølgelengdene i solspekteret er frå 0,3 – 3 μm , og er langt kortare enn strålinga frå dei fleste energi-absorberande flater. Analyse av solfangarar presenterer difor unike utfordringar for lågverdige og variable energifluksar, der stråling er ein relativt viktig faktor (Duffie & Beckman, 2006).

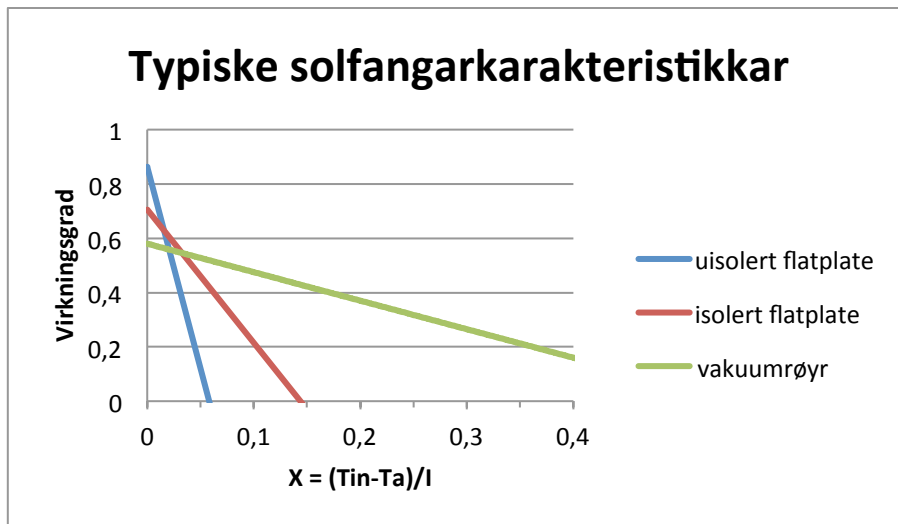
Plane solfangarar kan designast for ulike bruksområde som krev termisk energi frå moderate temperaturnivå, og opp til omtrent 100°C over omgjevnadstemperaturen. Dei nyttar både direkte stråling og diffus stråling, er ikkje avhengige av sporingssystem for å fylgja sola, krev lite vedlikehald, og er mekanisk enklare enn konsentrerende solfangarar. Viktige bruksområde for plane solfangarar er oppvarming av vatn, oppvarming av bygningar, luftkondisjonering, og industriell prosessvarme (Duffie & Beckman, 2006).

For ein grundig innføring i termisk solenergi vert det henvist til boka *Solar Engineering of Thermal Processes* (Duffie & Beckman, 2006). Vidare i neste avsnittet vert det sett på kva forhold som innverkar på virkningsgraden til ein solfangar, og det vert kort forklart korleis ein ut frå testdata kan estimera virkningsgrad for plane solfangarar. Informasjonen som vert gjeven her skal fungera som bakgrunn for val av type solfangar.

Solfangarkarakteristikkar og virkningsgrad

Data frå standardtestar av solfangarar vert presentert ved virkningsgrad som funksjon av fluidtemperatur, omgjevnadstemperatur og innstråling. Det finst ulike standardar for kvar fluidtemperaturen vert målt. Karakteristikkar frå amerikanske solfangartestar brukar stort sett fluidtemperaturen ved innløpet til solfangaren. Ein testar solfangaren sin virkningsgrad ved ulike omgjevnadstemperaturar, fluidtemperaturar og innstrålingsintensitetar og plottar virkningsgraden som funksjon av X , sjå figur 3-18. Solfangarkarakteristikken kan så presenterast som ein lineær og/eller andregradstilpasning til datasettet. På figuren under ser me typiske linære karakteristikkar av dei tre mest vanlege solfangartypane⁴.

⁴ Solfangarane som representerer dei ulike solfangartypane i figuren er dei same solfangarane som det vert gjort utrekningar for i kapittel 5. Sertifiseringsskrivet for alle tre solfangarar kan finnast i vedlegg J



Figur 3-18 Typiske solfangarkarakteristikkar

Det er tydeleg frå figuren over at den mest effektive solfangaren i ein situasjon, ikkje nødvendigvis er mest effektiv i ein annan situasjon. Solar rating and certification corporation har testa hundrevis av ulike solfangarar, og dei resulterande karakteristikkane finst på nettsidene deira (Solar Rating and Certification Corporation, 2010). Karakteristikkane er gjevne som lineære tilpassingar av testdata på forma

$$\eta = a + bX \quad (3.31 \text{ a})$$

Eller som andregradstilpassingar av testdata på forma

$$\eta = a + bX + lX^2 \quad (3.31 \text{ b})$$

Der X er definert som

$$X = \frac{T_{in} - T_{amb}}{I} \quad (3.31 \text{ c})$$

Virkningsgraden til solfangarar vil også vere avhengig av innfallsvinkelen til strålinga. Dette vert ikkje teke høgd for i berekningane i denne rapporten, men den interesserte finn godt stoff om korleis ein kan rekna med innfallsvinkelmodifikator for solfangarar i Solar Engineering of Thermal Proccsses (Duffie & Beckman, 2006).

Flatplate- og vakuummør solfangarar kan nyttegjera seg av både direkte og diffus stråling, medan konsentrerende system, litt avhengig av konsentreringsforholdet, hovudsakleg nyttar den direkte strålinga.

Konsentrerende system for solenergi

For ein del applikasjonar krevst det høgare temperaturar enn det ein kan få gjennom flatplatesolfangarar. Temperaturnivå kan aukast ved å minimera arealet der varmetap førgår. Ved å plassera optisk utstyr mellom strålingskjelda og den absorberande flaten kan ein nytta ein mindre absorber til å fanga solstråling frå eit større areal. Den mindre absorbereren vil ha mindre varmetap samanlikna med ein flat-plate solfangar ved same temperatur. Konsentrerende solkollektorar (kollektor vert brukt om heile systemet, både optikk og mottakar) kan operera i temperaturspennet 150-800°C (Duffie & Beckman, 2006).

Konsentrerende system varierer frå relativt enkle design som baserer seg på sidespeglar for å forsterka strålinga til absorbereren, til konsentreringsystem som nyttar sofistikert optisk utstyr til å mangedobla strålingsfluksen til absorbereren. Slike system må ta høgde for at konsentrering av solenergien berre er mogleg for stråling innanfor ein viss innfallsvinkel. Solsporing vert naudsynt når konsentreringsforholdet overstig 10 (Markvart, 2000). Konsentrerende system kan berre nyttegjera seg av direkte stråling, og ikkje diffus stråling frå skyer og atmosfære. Det vil seie at dei krev mykje direkte solstråling for å vera effektive. Sjølv ved skyfri himmel kan diffus stråling utgjera 15-30% av tilgjengeleg solenergi (Duffie & Beckman, 2006).

Konsentrerende solenergi er interessant dersom ein treng høgare temperaturnivå enn det ein kan få av flatplate og vakuumsolfangarar, eller dersom areal er ein begrensande faktor.

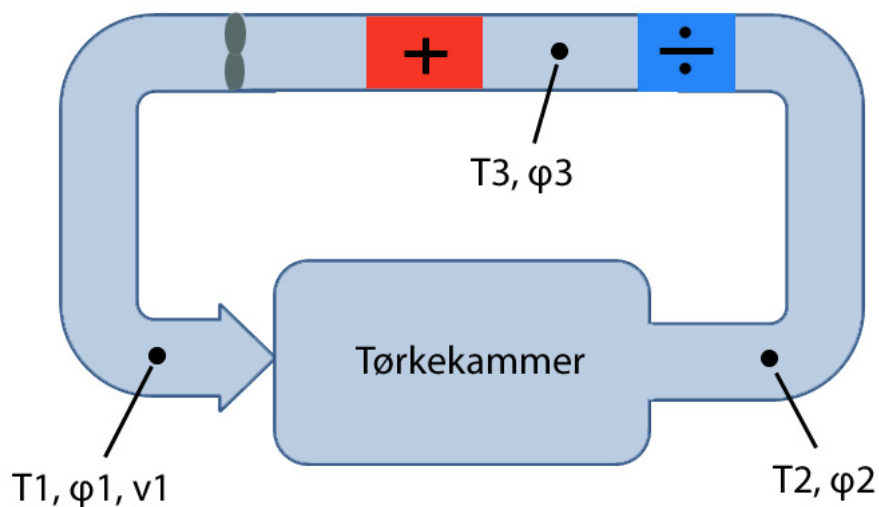
4 Eksperiment

Det skal gjerast laboratorieeksperiment for tørking av fisk ved ulike tørketemperaturar, relative fuktighetar og tidsplanar. Målet er å finna ut korleis dei ulike tørkebetingelsane, inkludert tidsplan, påverkar tørketid, energibruk, og kvalitetskarakteristikkar i ferdig tørka produkt.

4.1 Utstyr, materiale og metode

4.1.1 System oppsett

Tørkesystemet er ein lukka luftkrets. Etter lufta tek til seg fuktighet frå produktet passerer den gjennom ein luftkjølar der kondensat vert teke ut, før lufta vert varma opp att til ønska tørketemperatur. Ved å kontrollere temperaturen til luftkjølaren og luftvarmaren, og turtalet til vifta, kan ein styre temperaturen, fuktigheten og hastigheten til tørkelufta. Figur 4-1 syner prinsippsskisse av tørkesystemet, inkludert kvar dei ulike målingane av luftstraumen vert gjort.

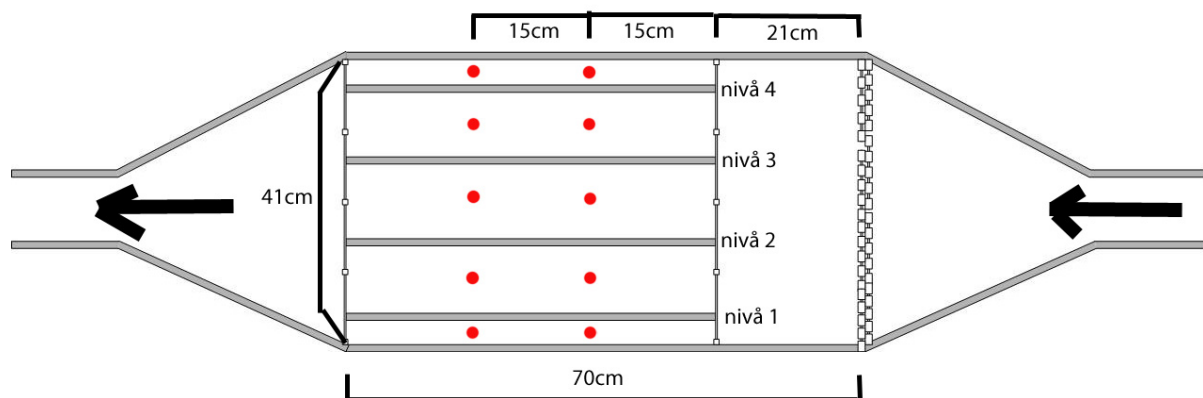


Figur 4-1 Prinsippsskisse av tørka

4.1.2 Tørkekammer oppsett

Tørkekammeret har uttakbare hyller som kan plasserast i 7 ulike nivå. 4 utvalgte nivå vil verta brukt i eksperimenta. Figur 4-2 syner oppsettet i tørkekammeret. Ved luftinnløpet til kammeret, normalt på luftstraumen, vert det montert to like plater med små hol jamnt distribuert over flata. Ved å

forskyva desse platene i forhold til kvarandre kan ein variere den effektive lysopninga. Platene gjev eit trykkfall, og skal bidra til å gjeva ei uniform luftstrauming gjennom karmmeret. I praksis veit me at luftstraumen vil avvika, i større eller mindre grad, frå ideell uniform strauming. Fluidmekanikken seier generelt at lufthastigheten vil vera lågast nærmast veggane i kammeret, og størst i midten. For å sikra fiskefiletane like tørkebetingelsar over tid, køyrer me ei rotasjonsordning slik at filetane vert flytta mellom nivåa med jamne mellomrom. Over eit tilstrekkeleg langt tidsrom vil filetane slik verta eksponert for omtrent like gjennomsnittlege tørkebetingelsar, sjølv om strauminga ikkje er uniform.



Figur 4-2 Prinsippkisse av tørkekammeret

Tørkekammeret er 41cm høgt, og 70 cm langt. Nedstraums frå den perforerte plata er det 21cm før tørkebretta. I denne delen av tørkekammeret skal luftstraumen stabilisera seg, og verta mest mogleg uniform. Øverste og nederste tørkenivå ligg 4,6cm frå henholdsvis tak og golv. Avstanden mellom tørkenivåa er 10,6cm. Tørkebrett med fisk skal roterast mellom nivå ved kvar måling. Ved kvar rotering vert det øverste tørkebrettet flytta heilt ned, medan dei andre bretta vert flytta eit nivå opp. Fisken ligg på sitt tørkebrett gjennom heileforsøket, og fisk og brett vert alltid flytta og vegd som ei eining. Tørkebretta er perforerte slik at fisken kan tørka frå alle sider samstundes.

Det vert tørka fire torskefiletar i kvart forsøk. To lettsalta, og to ferske. Ein filet på kvart brett. Lettsalta og fersk fisk vil ligga på annankvart nivå i tørkekammeret. Alle filetar vert tørka med skinnsida opp.

4.1.3 Fisk

Ulike fiskeartar vil ha ulikt tørkeforløp p.g.a ei rekkje interne eigenskapar. Kor fersk fisken er i utgangspunktet spelar ei viktig rolle for fastsetjinga av stabiliteten til den tørka fisken. Ferskare råvare gjev eit meir stabilt resultat (Rahman 2007). Ved måling av fargeendring i fiskekjøtet må ein ta høgde for at ulik fisk har ulik farge i utgangspunktet. Kvit fisk gjer det lettare å måla fargeendring i forhold til fiskeartar med meir naturleg farge i kjøtet. Torskefilet vert difor vald då den er lett tilgjengeleg som ferskvare i Trondheim, både fersk og lettsalta, samt at den er kvit i fargen.

Kor store fiskestykker ein brukar vil endra forholdet overflate/volum, og dermed gjeva ulik tørketid. Torskefileten vert tørka som heil filet, då dette vert ansett som mest representativt for case. I eksperiment 1 vert det skore litt i kantane for å gjera måling av krymping enklare. Det vert også gjort eit val om å tørka fiskefiletane utan skinn. Den lettsalta fisken er lakesalta i 18 timar i lake av ukjent saltkonsentrasjon. Fiskehandlaren (fiskehallen) ville halda lakekonsentrasjonen som bedriftshemmelighet, men betegnna den lettsalta torsken på følgande måte: "Nokon tykkjer den er for salt, nokon tykkjer den er for lite salt, men dei fleste tykkjer den er akkurat passe". Ideelt sett vil ein tørka filetar av lik storleik, men grunna begrensa salgsvolum og utval hjå den lokale fiskehandlaren vert fiskestykkja litt varierte i storleik.

Tabellen under gjev ein oversikt over filetane som vart tørka i kvart einskild eksperiment.

Oversikt over råmaterialet som vart tørka i dei ulike eksperimenta					
		Filet A _{fersk}	Filet B _{salt}	Filet C _{fersk}	Filet D _{salt}
Eksperiment 1	Fersk masse	453g	623g	329g	675g
	Salt	0,16%	4,22%	0,16%	2,64%
	Fuktinnhald	80,3%	83,0%	82,0%	82,4%
Eksperiment 2	Masse	287g	547g	266g	650g
	Salt	0,16%	4,65%	0,16%	4,51%
	Fuktinnhald	79,5%	80,0%	80,1%	80,0%
Eksperiment 3	Masse	383g	615g	366g	578g
	Salt	0,16%	2,1%	0,16%	2,25%
	Fuktinnhald	81,6%	83,8%	82,7%	82,9%

Tabell 4-1 Oversikt over råmaterialet som vart tørka i dei ulike eksperimenta

Dei lettsalta filetane hadde større masse ein dei ferske i alle tilfelle. Dei ferske filetane varierer frå 266g til 453g, medan dei lettsalta filetane varierer mellom 547g og 675g.

Saltinnhald og fuktinnhald oppgjeve i tabellen over er målt i laboratoriet ved institutt for bioteknologi med Professor Turid Rustad som kontaktperson. Målingane er gjort på prøvar frå halepartiet på fiskefileten. Saltinnhald i dei lettsalta filetene varierte frå 2,1% til 4,65%, medan fuktinnhaldet varierte frå 80,0% - 83,8%. Måleresultata for saltinnhaldet i dei ferske filetene syner meir støy enn reelle resultat. Saltinnhaldet i dei ferske filetene vert difor i samråd med professor Turid Rustad anteke til 0,16%. Fuktinnhaldet i dei ferske filetene varierer frå 79,5% - 82,7%.

4.2 Tørkebetingelsar

4.2.1 Driftsplan

Det vert kalkulert ein tidsplan som skal spegla mogleg driftstid for eit tørkesystem med energitilførsel basert på solenergi i Mumbai. Tørka kan gå på dagtid når det er nok tilgjengeleg solenergi, og står i ro om natta. Målet med å tørka med ein slik av/på-syklus er å sjå korleis det påverkar tørkeforløpet til produktet. Ein del praktiske forhold gjorde det vanskeleg å følgja ein fast og lik plan kvar dag, og "daglengd" og "nattlengd" varierer noko. Eksperiment 1 og 2 fylgjer ein slik av/på-plan, medan i eksperiment 3 vert det gjort forsøk med kontinuerlig drift for å kunna samanlikna driftsplanane. Tabellane under oppsummerer driftsplanane som vart følgd i eksperimenta.

Eksperiment 1 - Driftsplan					
	tørkeperiode	derav på	derav av	kvileperiode	døgnlengd
døgn 1	7,52	6,10	1,42	13,87	21,38
døgn 2	6,87	6,15	0,72	15,02	21,88
døgn 3	8,22	7,37	0,85	16,20	24,42
døgn 4	7,57	6,50	1,07	17,12	24,68
døgn 5	6,60	5,47	1,13	16,98	23,58
døgn 6	7,22	6,97	0,25	16,73	23,95
døgn 7	8,73	8,62	0,12	14,80	23,53
døgn 8	3,62	3,50	0,12		3,62
Sum	56,33	50,67	5,67	110,72	167,05

Tabell 4-2 Driftsplan eksperiment 1

Eksperiment 2 - Driftsplan					
	tørkeperiode	derav på	derav av	kvileperiode	døgnlengd
døgn 1	7,92	5,00	2,92	14,90	22,82
døgn 2	8,03	6,03	2,00	15,73	23,77
døgn 3	8,70	6,62	2,08	16,72	25,42
døgn 4	6,42	5,12	1,30	16,87	23,28
døgn 5	5,12	5,00	0,12	19,05	24,17
døgn 6	7,20	7,08	0,12	16,28	23,48
døgn 7	5,45	5,33	0,12		5,45
sum	48,83	40,18	8,65	99,55	148,38

Tabell 4-3 Driftsplan eksperiment 2

Eksperiment 3 - Driftsplan				
	tørkeperiode	derav på	derav av	Kvileperiode
kontinuerlig	75,3	73,25	2,05	0

Tabell 4-4 Driftsplan eksperiment 3

Med tørkeperiode meinast perioden mellom to kvileperiodar. Kvar tørkeperiode består av periodar der produktet ligg i tørka og tørka går, og av korte periodar der tørkinga vert avbroten for å gjera målingar. Med døgnlengd meinast tida frå ein tørkeperiode byrjar til den neste tørkeperioden byrjar.

4.2.2 Temperatur, relativ luftfuktighet og lufthastighet

Lufttilstand tørkeperiode

Ved bruk av varmpumpetørke vil ein kunne styra temperaturnivå uavhengig av omgjevnadstemperatur. Fuktinnhaldet i tørkelufta i eit lukka system vil vera bestemt av kor mykje vatn som vert teke opp frå produktet, og kor mykje som vert kondensert ut på luftkjølaren. Relativ fuktighet for tørkelufta må vera låg nok til å ha tilstrekkeleg tørkepotensiale, men me legg ei begrensing nedover ved å halda lufttemperaturen over frysepunktet gjennom heile kretsen. Dette vert gjort for å unngå frostdanning på varmevekslarar, og dermed forenkla drifta av eit praktisk system. Det vert vald å køyra forsøk ved to tørketemperaturar: 10°C og 20°C

Ved å setja duggpunktet til 0°C (for å halda varmevekslarar frostfrie), så finn ein at relativ fuktighet ved 10°C er 50%, og ved 20°C vert den relative fuktigheten 26 %. Dette var utgangspunktet for temperatur og luftfuktighet for tørkelufta i eksperimenta.

I praksis vil lufttilstanden avvika litt frå ønska verdiar, særskild i eit lite tidsrom rundt målingar. Når målingar vart gjort på fisken, vart vifta stogga og kammerdøra opna, noko som tillot omgjevnadsluft å siva inn i systemet. Temperatur og luftfuktighet tre ulike stader i tørkeluftkretsen vart registrert gjennom heile tørkeforløpet for alle tre eksperimenta. På det meste vart data registrert kvart 10. sekund. Ved å studera data som vart logga under tørkinga kan ein sjå korleis lufttilstanden avvik frå dei ønska verdiane. I vedlegg C vert loggdata frå ein typisk tørkedag presentert og analysert. Avvika er jamt over små, og herifrå vert det rekna at tilstanden til tørkelufta var konstant lik 10°C/50%RH medan vifta gjekk i eksperiment 1, og konstant lik for 20°C/26%RH medan vifta gjekk i eksperiment 2 og eksperiment 3. Under utføringa av dei regelmessige målingane på fisken, låg fisken delvis i tørkekammeret med kammerdøra open, og delvis på arbeidsbenken i laboratorie. I perioden der vifta ikkje går vert det rekna at fisken vert eksponert for omgjevnadsluft i laboratoriet, altså luft ved same tilstand som i kvileperiodane.

Lufttilstand kvileperiode

I kvileperiodane ligg fisken i tørkekammeret med open kammerdør, og vert altså eksponert for omgjevnadslufta i laboratoriet. Vedlegg D presenterer ei rekkje målingar av temperatur og luftfuktighet i laboratoriet. På grunnlag av desse målingane vert det gjort ei forenkling, og me seier at omgjevnadslufta i laboratoriet er stillestående og at temperatur og fuktighet er konstant lik 17°C/30%RH.

Lufthastighet

Lufthastigheten i tørka vil ein ha så låg som mogleg p.g.a. vifteeffekt, men høg nok til å transportera vekk fukt frå fisken. I samråd med medrettleiar (Alves-Filho, 2011) vert det bestemt at me siktar mot ein lufthastighet over produktet på 1-2 m/s.

Målingar av lufthastighet ulike stader i tørkekammeret syner at strauminga er langt frå uniform. Det vert eksperimentert med ulike lysopningar for trykkfallsplatene ved innløpet til tørkekammeret (sjå figur 4-2) for å få ei mest mogleg uniform strauming i kammeret. Den beste strauminga som vert oppnådd er langt frå uniform, men med regelmessig rotering av filetane mellom nivåa i kammeret vil lufthastigheten som kvar filet opplever, over tid verta nokolunde den same. Vedlegg E presenterer målingar av lufthastigheten i ti målepunkt i tørkekammeret. Gjennomsnittleg lufthastighet i tørkekammeret er 1,3 m/s.

4.2.3 Tørkebetingelsar oppsummering

Oppsummering tørkebetingelsar							
		Tørkeperiode			Kvileperiode		
	Driftsplan	T	φ	v	T	φ	v
Eksperiment 1	Av/på	10°C	50%	≈1,3m/s	17°C	30%	0m/s
Eksperiment 2	Av/på	20°C	26%	≈1,3m/s	17°C	30%	0m/s
Eksperiment 3	kontinuerlig	20°C	26%	≈1,3m/s	-	-	-

Tabell 4-5 Tørkebetingelsar for dei ulike eksperimenta

4.3 Målingar

Her vert det beskrive kva målingar som vart gjort gjennom forsøket, og korleis dei vart gjort.

4.3.1 Før og etter tørking

Saltinnhald vart målt før tørking, og fuktinnhald vart målt før og etter tørking. Måling av initielt salt- og fuktinnhald for filetene i eksperiment 1 vart utført på prøvar som var pakka i lett vakuum før nedfrysing. Vakuemet viste seg å trekka ut noko av vatnet frå fiskekjøtet. Bilete i vedlegg F.

Målingane vart gjort i laboratoriet ved institutt for bioteknologi, under rettleiing frå professor Turid Rustad. Dei melder at prøvane vart tint i posen, og vatnet vart blanda inn att i prøvane før måling, og at målingane difor er pålitelege uavhengig av at vakuemet hadde trekt ut litt vatn frå prøvane. I eksperiment 2 og 3 vart det nytta vanlege zip-lock fryseposar i staden for vakuumpakking.

4.3.1.1 Saltinnhald

Før tørking skjer eg av to prøvar frå halepartiet på kvar filet. Dei utørka prøvane vart pakka og frose ned før dei vart overlevert til professor Turid Rustad ved institutt for bioteknologi. Sjå vedlegg for detaljar om korleis saltinnholdet vart målt og rekna ut.

Prøvane for måling av saltinnhald vart tekne frå halepartiet på fileten. Det er ikkje gjeve at dette er 100% representativt for saltinnholdet i resten av fileten, men dette vert det ikkje gått nærare inn på i denne rapporten.

4.3.1.2 Fuktinnhald

Initielt fuktinnhald

Prøvar frå halestykket av fiskefiletene vert kapp av og frose ned, før overlevering til institutt for bioteknologi v/ professor Turid Rustad. I lag med resultatata får eg følgande beskrivelse av prosessen som er nytta for fastsetjing av fuktinnhald: "tomme dramsglass ble veid. Deretter ble ca 2 g fiskemasse oppveid med 4 desimaler. Prøvene ble så satt i varmeskap 105 grader i et døgn før glass og prøve ble veid". Dette vart gjort for både alle filetar både før og etter tørking.

Endeleg fuktinnhald

Endeleg fuktinnhald kan kalkulerast ut i frå initielt fuktinnhald og vekttaap under tørking, men for å verifisera resultatata vert endeleg fuktinnhald også målt eksperimentelt. I motsetning til initielt fuktinnhald, som vart målt ved institutt for bioteknologi, vart endeleg fuktinnhald målt av undertekna.

Det finst ulike metodar for å fastslå fuktinnholdet i eit materiale. Ein enkel metode er å nytta eit "moisture meter", men i dette eksperimentet vert "ovnsmetoden" nytta, då den er meir

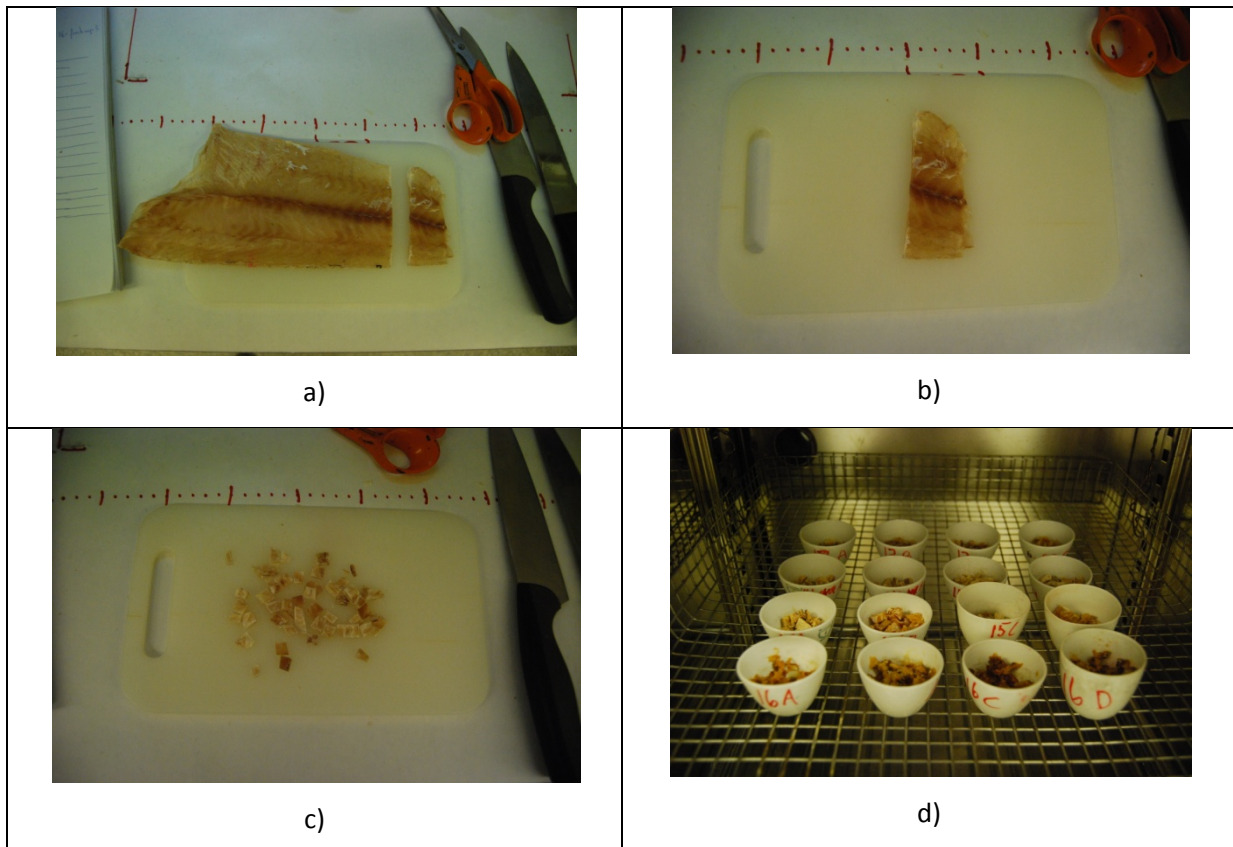
vitenskapeleg påliteleg (Alves-Filho, 2011). Metoden går kort sagt ut på at ein legg det fuktige produktet i ein omn i tilstrekkeleg lang tid til at ein er sikker på at alt vatn er fordampa ut frå produktet. Ved å måla massen før og etter den har vore i ovnen kan ein rekna ut fuktinnhaldet i produktet.

$$X_{wb} = \frac{m_w}{m_{ws}} = \frac{m_{ws}(t=0) - m_{ws}(t=24)}{m_{ws}(t=0)} = \frac{m_{total}(t=0) - m_{total}(t=24)}{m_{total}(t=0) - m_{beholdar}} \quad (4.1)$$

Der m_{total} er massen av prøven og behaldaren til saman.

Halestykker frå dei tørka fiskefiletane frå kvart eksperiment vart lagt i forseglte fryseposar og lagt i fryserom. Etter at alle eksperimenta var gjennomført vart fuktinnhaldet i alle prøvane målt.

I samråd med medrettleiar vart det bestemt at endeleg fuktinnhald vert funne ved å tørka fiskeprøvane i ovnen på 105°C i 24 timar, med luftgjennomblåsing. Fornuftig størrelse på bitane er ca. 5*5*5mm (Alves-Filho, 2011). Ved å måla vekta av fiskeprøvane før og etter tørking kan ein rekna ut fuktinnhaldet.



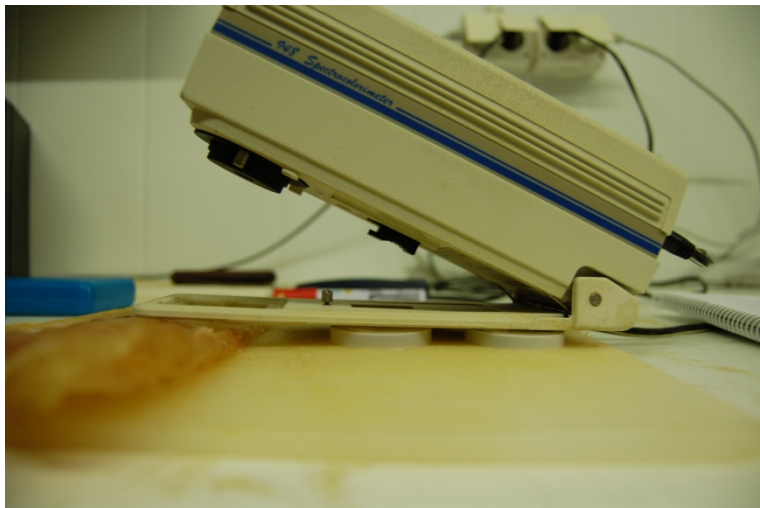
Bilde 4-1 Måling av fuktinnhald

4.3.1.3 Fargeendring

Farge vert målt før tørking og etter tørking med ein fargemålar av typen "X-rite 948 Spectrocolorimeter". Den oppgjev fargen som tre variablar: L, a og b

Det er usikkert om variablane er kalkulert frå Hunter L, a, b-fargeskalaen, eller CIELAB-fargeskalaen. I begge tilfella har variablane same kvalitative tyding

- L (lyshet): gjev lysheten til fargen. L=0 indikerer svart, og L=100 indikerer diffus kvit.
- a (grøn -> magentaraud): Negative verdiar indikerer grøn, medan positive verdiar indikerer magentaraud.
- b (blå -> gul): negative verdiar indikerer blå, og positive verdiar indikerer gul



Bilde 4-2 Fargemåling

Fargemåling vert gjort av den lysaste representative fargen på skinnsida av fileten. Med representativ farge meinast den lysaste av den jevne bakgrunnsfargen på fileten, og ikkje særskild lyse punkt. Her inngår det altså ein heil del skjønn i avgjeringa av kvar fargemåling skal gjerast. Dei oppnådde resultatata må lesast i lys av dette, og bør berre nyttast som rettleiande verdiar. Fargemåling vert gjort på heil filet, i motsetning til å skjera av ein prøve av fileten og så ta fargemåling av den. Dette gjer sjølve målinga litt vanskelegare, på grunn av fileten sin naturlege variasjon i tjukkeleik og generell geometri. For å få gode målingar er det viktig at apparatet står horisontalt og stabilt under målinga. For å få dette til vert det nytta ulike gjenstandar for å støtta opp om apparatet, og i nokre tilfelle støtta opp under fisken for å få ei horisontal flate å måla på. Sjå bilde 4-2. Apparatet gjer tre målingar

fortløpande og oppgjev så eit snitt av desse. Då det kunne vera vanskeleg å velga berre eit representativt område å gjera fargemåling av, vart det i dei fleste tilfelle gjort målingar fleire stader på fileten, og snittet av målingane vart så nytta for samanlikning av data.

4.3.2 Under tørking

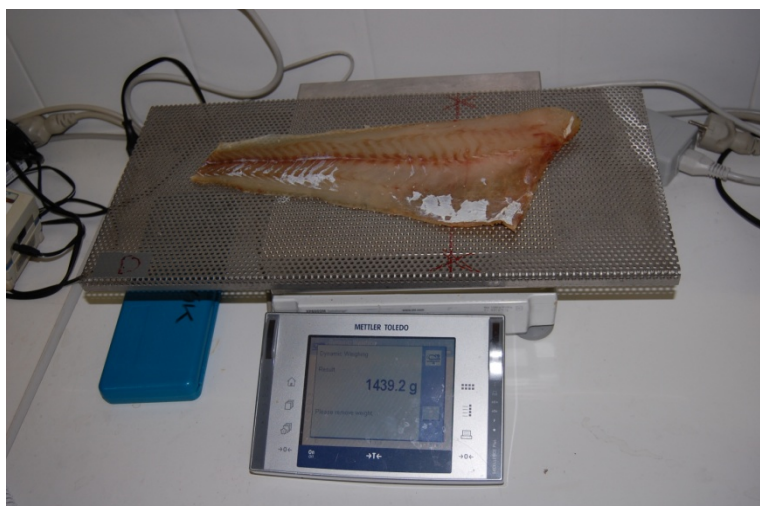
Under tørkeforløpet vert det gjort målingar av masse for å kartlegga vekttapet gjennom tørkeprosessen, og målingar av breidde vert gjort for å kartlegga krymping gjennom prosessen. Vekt og breidde vart i utgangspunktet målt kvar halve time i tørkeperioden. Nokre gonger er det lenger mellom målingane. I tillegg vert det i dei to siste eksperimenta teke bilete undervegs i prosessen for å dokumentera fargeendring og andre visuelle endringar.

4.3.2.1 Vekttap

Med utgangspunkt i total masse og fuktinnhald før tørkinga startar, får me denne samanhengen mellom massen til fisken og fuktinnhaldet, m_{ws} og X_{wb} .

$$X_{wb}(t) = \frac{m_w(t=0) - m_{ws}(t=0)}{m_{ws}(t)} + 1 \quad (4.2)$$

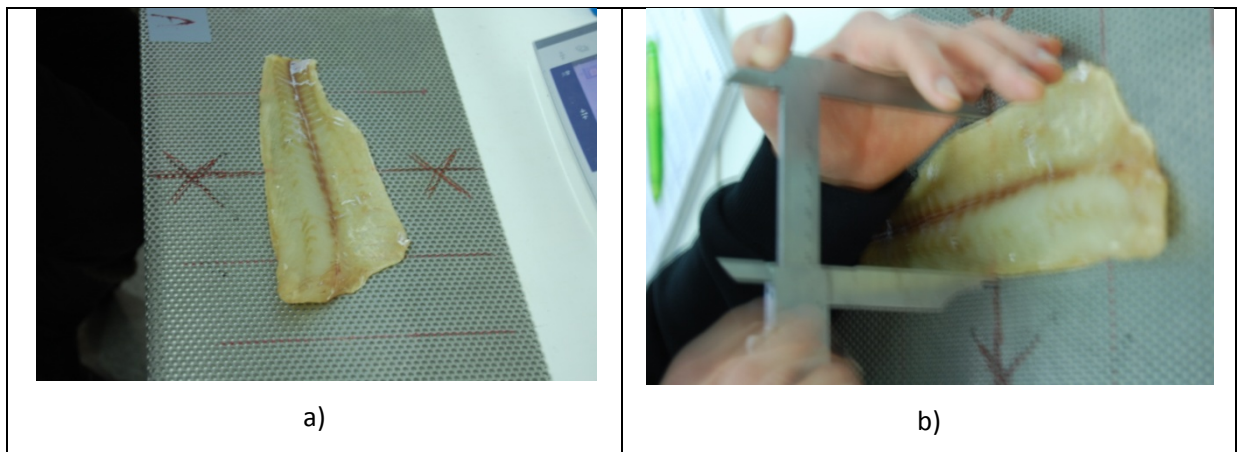
Der X_{wb} er fuktinnhald (våt basis), m_w er massen av vatnet, og m_{ws} er den totale massen av fisken (tørrstoff + vatn). m_w vert avledda frå initielt fuktinnhald og total masseendring, medan m_{ws} vert målt med vanleg vekt. Vekta måler gram med ein desimals presisjon. Sjå bilde 4-3.



Bilde 4-3 Måling av vekttap

4.3.2.2 Krymping

Breidde vert i eksperiment 1 målt med tommestokk. To plastklossar vart lagt inntil målepunkta på fileten for å ha to faste punkt å måle mellom. Denne metoden vert funne å vera unøyaktig, og f.o.m eksperiment 2 vert breidden målt med skyvelær. Det er viktig å bruka eit skyvelær som glir lett, og som ikkje har skarpe kantar i "kloa". Skarpe kantar vil skjera seg inn i fiskekjøtet, og målingane vert unøyaktige. Når fisken framleis har høgt fuktinnhald kan det vera ei utfordring å måla nøyaktig med skyvelæret, men etter kvart som den vert tørrare og hardare gjev fisken kontant motstand mot skyvelæret, og målingane vert særst nøyaktige ($\pm 0,1\text{mm}$). Filetane vert i eksperiment 1 kutta i kantane for å mogleggjera presis måling med plasklosse/tommestokk-metoden. Tusjmarkering på tørkebretta fungerer som referansepunkt for målingane. Sjå bilde 4-4.



Bilde 4-4 Måling av breidde/krymping

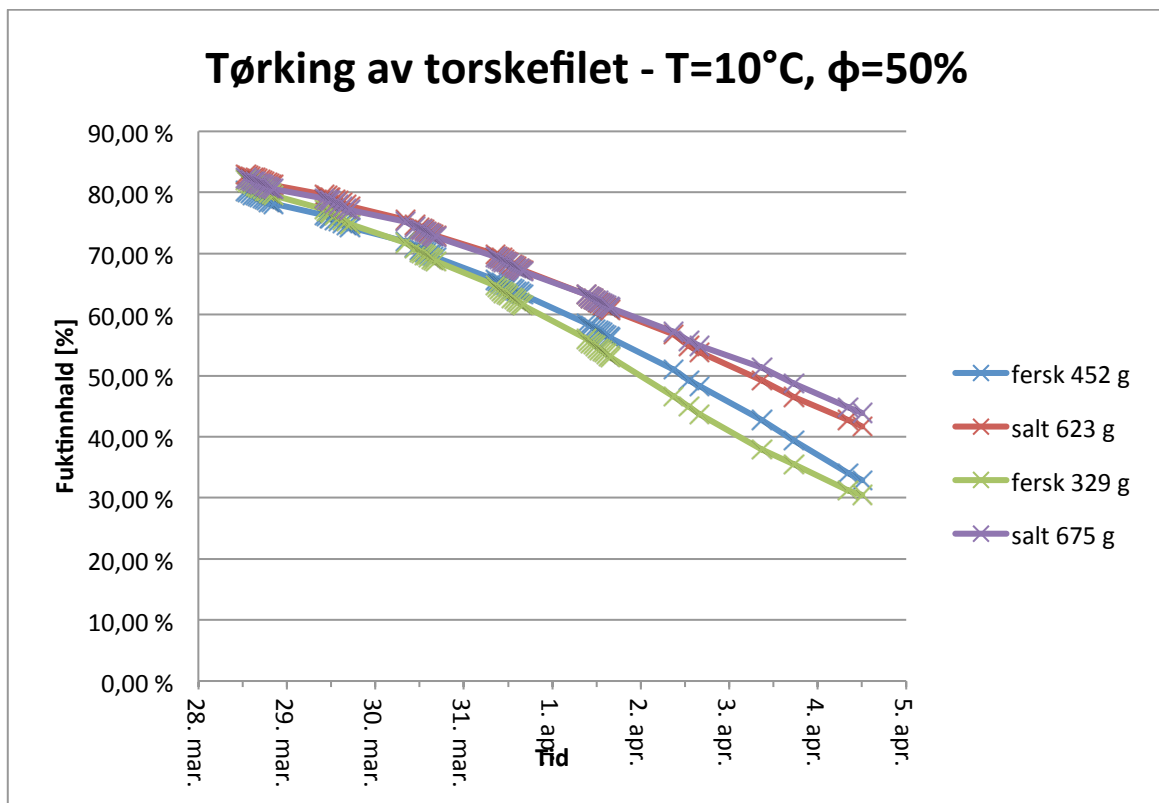
4.4 Resultat frå eksperiment

Målingar av vekt og breidde gjennom tørkeforløpet for alle filetar i alle eksperiment kan finnast i vedlegg H.

4.4.1 Eksperiment 1

Tørkinga starta klokka 12.54 og vart avslutta klokka 12:04 sju døgn seinare. Tørkinga føregjekk i om lag 7,5 dagar og 7 netter, der tørka gjekk om dagen, og sto stille gjennom ettermiddag og natt. Av totalt 167 timar gjekk tørka i om lag 51 timar, og sto i om lag 116 timar. Sjå tabell 4-2 i kapittel 4.2.1 for nøyaktig driftsplan.

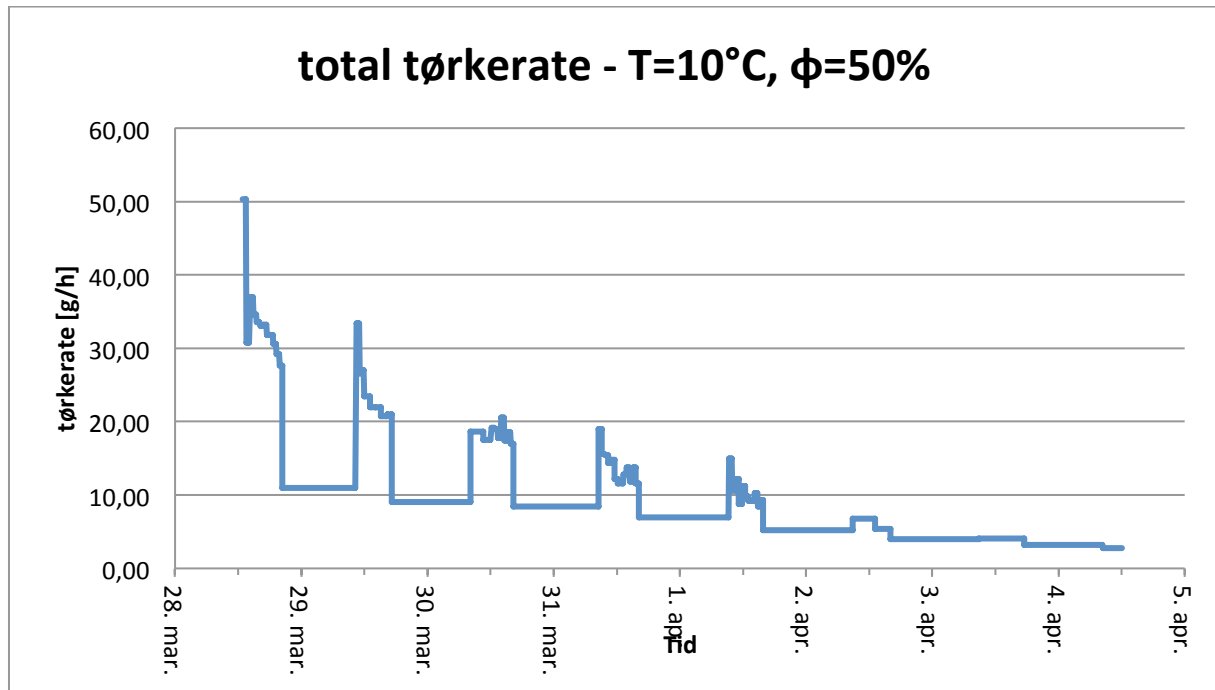
Figuren under syner fuktinnhaldet i dei fire fiskefiletane som funksjon av tid. Fuktinnhald er rekna ut frå opprinneleg målt fuktinnhald, og vekttap under tørking.



Figur 4-3 Fuktinnhald som funksjon av tid - eksperiment 1.

Ved samanlikning av endeleg oppnådd fuktinnhald ser me at dei ferske filetane har vorte tørrare enn dei lettsalta filetane. Dei lettare filetane har også vorte tørrare enn dei tyngre. Desse samanhengane

er gjeldande også når ein tek høgde for variasjon i initielt fuktinnhald. Dei salte og tunge filetane har altså tørka mindre enn dei lette og ferske filetane.



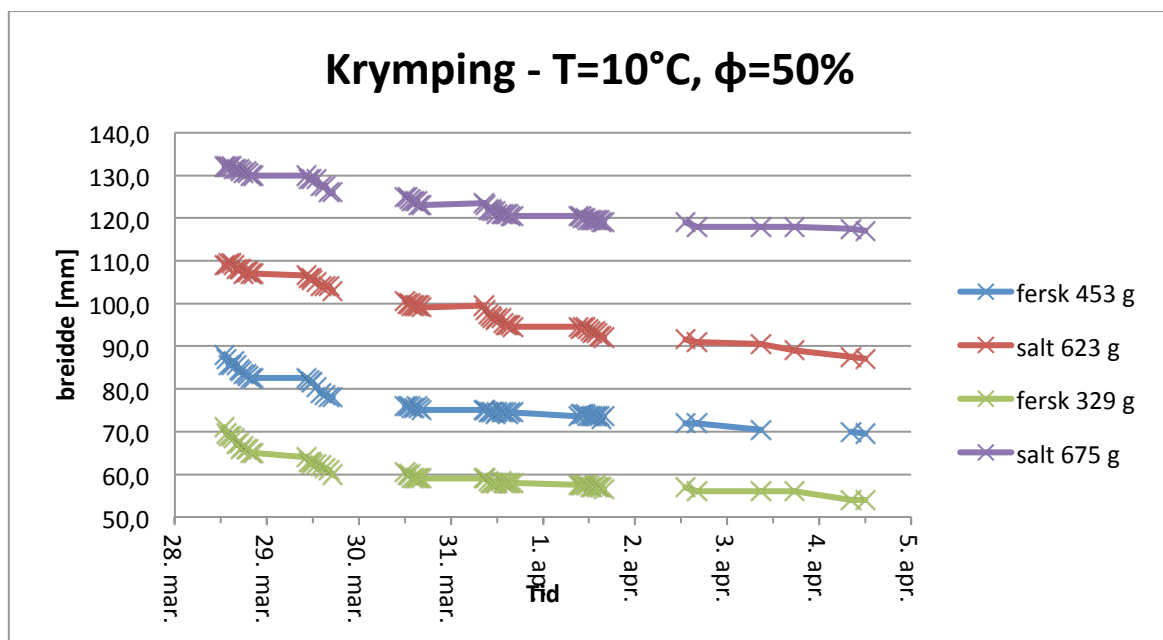
Figur 4-4 Samla tørkerate for heilt tørkelasta som funksjon av tid - eksperiment 1.

Figur 4-4 syner den samla tørkeraten for alle fire filetane. Ved studering av tørkeraten over tid ser me fyrst eit klart periodisk mønster som speglar døgnsyklusen der tørka går om dagen, og der fisken kviler i omgjevnadslufta i laboratoriet om ettermiddag og natt. Kvar dag ser ein generelt at tørkeraten startar på eit dagsmaksimum og avtek i løpet av dagen. Tørkeraten i byrjinga av ein dag er i fleire tilfelle høgare enn i slutten av føregåande dag. Tendensen med fallande tørkerate utover dagen er klar, men har nokre avvik der tørkeraten plutseleg ser ut til å stiga for ein periode. Slike små avvik kan sjåast på grafen for dei fem fyrste dagane. Det er ikkje klart kva som fører til dette, men varierende strauming innad i kammeret kan gjeva slike resultat. Dersom ein stor filet ligg ein stad i kammeret der den vert eksponert for høg lufthastighet, medan ein mindre filet ligg ein stad i kammeret der strauminga er mindre, vil dette kunne gjeva ein høgare samla tørkerate enn om filetane hadde vore omvendt plassert. Ujevn strauming i kammeret i kombinasjon med rotasjonsordning for filetane av ulike storleik kan føre til slike variasjonar i tørkerate.

For nettene syner grafen gjennomsnittleg tørkerate frå siste måling om ettermiddagen, til fyrste måling morgonen etter. Gjennomsnittleg tørkerate for nettene går jevnt nedover utover i tørkeforløpet. Forskjellen på tørkerate om dagen og om natta vert mindre og mindre utover i

tørkeforløpet, og for den siste dagen er tørkeraten om dagen faktisk lågare enn føregående natt. Dette tyder på at etter kvart som filetene vert tørrare, vert fuktdiffusjon frå kjernen av produktet den begrensande faktoren, og ikkje overflatefordampinga.

Den teoretiske tørkeperiode a (sjå kapittel 3.1), med høg og konstant tørkerate, ser ut til å vere ikkje eksisterande eller av særskilt kort varighet. Dette er i samsvar med funna gjort av Strømmen under tørking av klippfisk (Strømmen 1980).



Figur 4-5 Breidde som funksjon av tid - eksperiment 1.

Alle filetene krympar i løpet av tørkeprosessen. Dei relativt fuktige fiskefiletene klistrar seg tydeleg til metallbretta, og krympinga vil nok vere prega av dette. Når det er sagt så vil nok det at fisken klistrar seg til tørkebretta også vere den reelle situasjonen for mange praktiske applikasjoner. Sprang i grafane syner manglande målingar. Ein ser at filetene hovudsakleg krympar om dagen, når tørka går. Angående krymping om natta er målingane tvetydige. Dei fleste målingane syner at fisken krympar/augar med ± 1 mm over natta. Grunna høg usikkerhet ved breidde målingane i dette eksperimentet, som nemnd under målingar vert det ikkje trukke vidare konklusjonar frå dette.

I tabell 4-6 er krympinga på tvers av kvar filet oppgjeven i prosent av opphavleg breidde. Den prosentvise krympinga til dei ulike filetene følgjer, frå dei som har krympa minst til dei som har krympa mest, følgjande rekkefølge: D-B-A-C. Det er verdt og merka seg at dette er den same rekkefølga som for endeleg fuktinnhald, der D hadde høgast endeleg fuktinnhald og C var tørrast. Også dersom ein sorterar etter "differanse fuktinnhald" (% våtbasis) for dei ulike filetene får ein

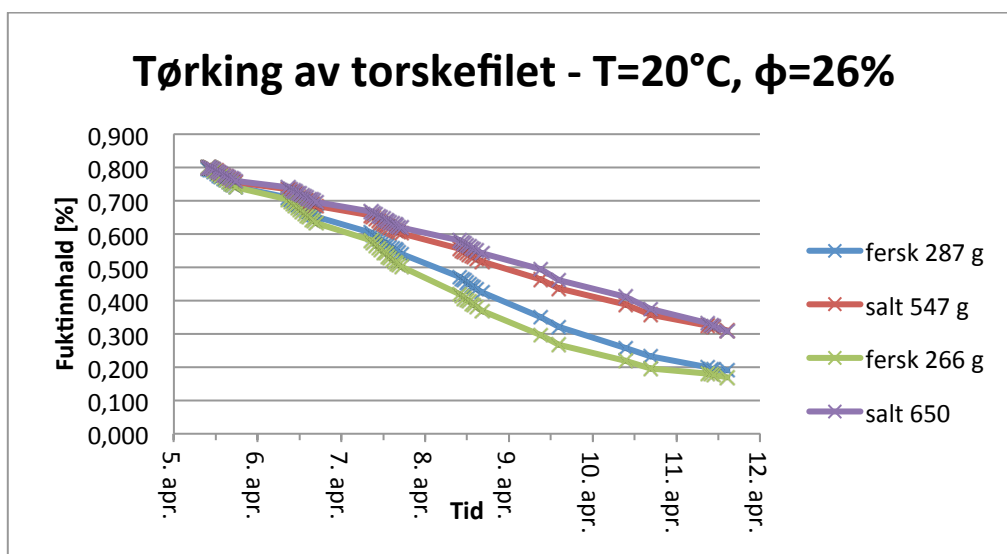
same rekkefølge. Dette kan indikera ein samanheng mellom prosentvis tørking og prosentvis krymping.

Nøkkeltal tørkeeksperiment 1					
		Filet A _{fersk}	Filet B _{salt}	Filet C _{fersk}	Filet D _{salt}
Eksperiment 1 Φ=50% T=10°C Av/på	Fersk masse	453g	623g	329g	675g
	Salt	0,16%	4,22%	0,16%	2,64%
	Fuktinnhald start	80,3%	83,0%	82,0%	82,4%
	Fuktinnhald slutt	32,9%	41,7%	30,4%	43,9%
	Differanse fuktinnhald	47,4%	41,3%	51,6%	38,5%
	Breidde start	88,0mm	109,0mm	71,0mm	132,0mm
	Breidde slutt	69,5mm	87,0mm	54,0mm	117,0mm
	Prosent krymping	21,0%	20,2%	23,9%	11,4%

Tabell 4-6 Nøkkeltal - eksperiment 1

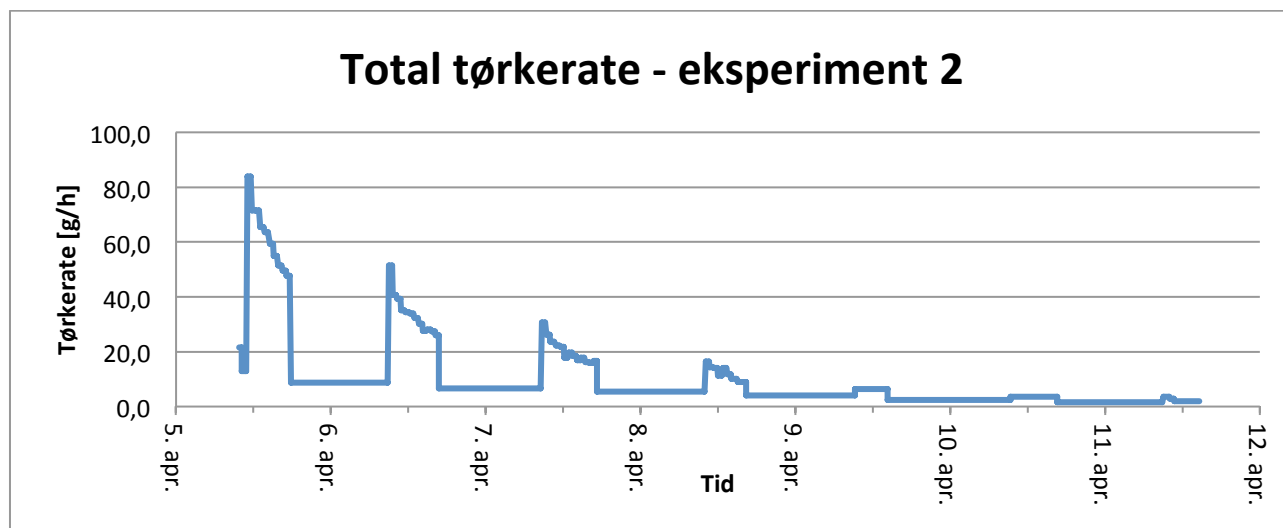
4.4.2 Eksperiment 2

Registreringa av tørkeprosessen vart i dette eksperimentet starta klokka 09:46 og avslutta 14:37, litt over 6 døgn seinare. Tørkinga føregjekk om lag 7 dagar og 6 netter, altså om lag ei natt og ein halv dag kortare enn i eksperiment 1. Av totalt 148,4 timar gjekk tørka i 40,2 timar, og sto stille i 108,2 timar. Sjølve tørkinga byrja ikkje før klokka 11:02, altså litt over ein time etter registreringa av vekt og breidde byrja. I dette tidsrommet vart det gjort fargemåling av filetane. Figur 4-6 syner fuktinnhaldet til kvar enkelt filet som funksjon av tid.



Figur 4-6 Fuktinnhald som funksjon av tid - eksperiment 2.

Frå figuren framkjem det at dei ferske fiskane har oppnådd lågare fuktinnhald enn dei salte. Den lettaste av dei ferske filetane har vorte tørrare enn den tyngre. Dei lettsalta filetane hadde begge intitielt fuktinnhald lik 80,0%. Dei har tørka til henholdsvis 31% og 30,8%. Den tyngre filet D har altså tørka 0,2% lengre ned i fuktinnhald enn den lettare filet B. Dette er eit avvik frå tendensen ein såg i eksperiment 1 om at lettare filetar tørka fortare enn tyngre filetar.

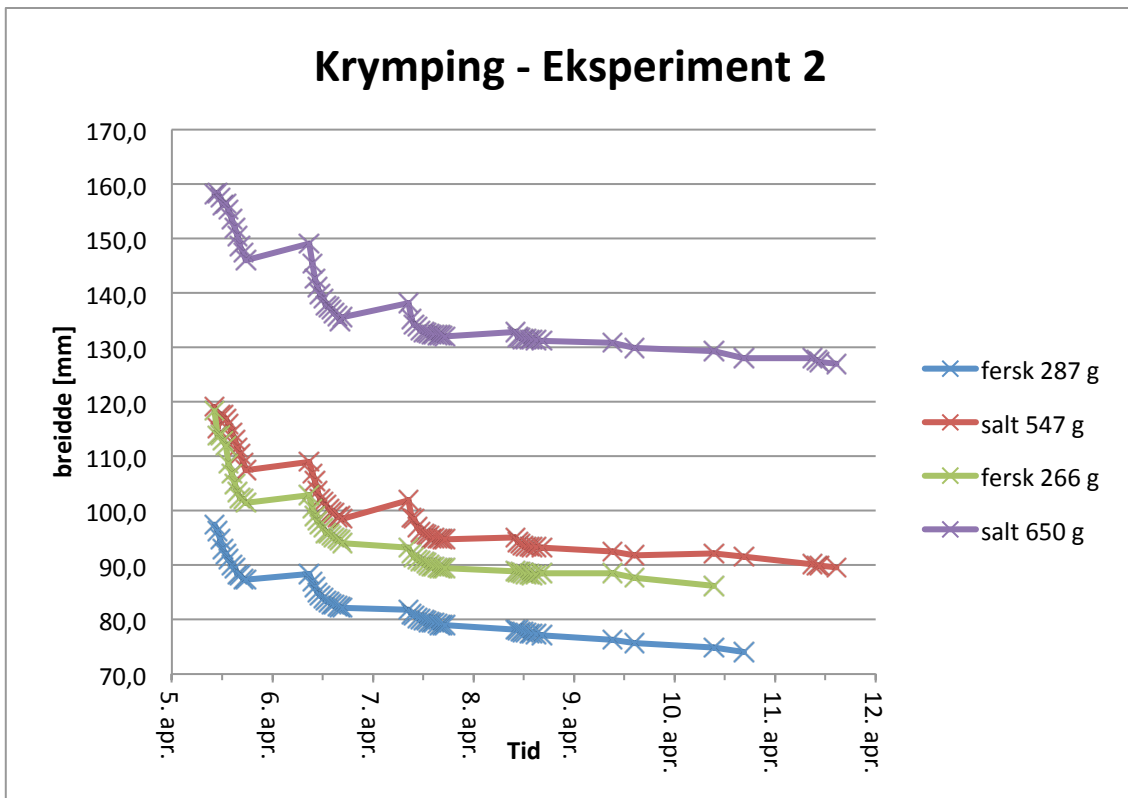


Figur 4-7 Samla tørkerate for heile tørkelasta - eksperiment 2.

Figur 4-7 syner samla tørkerate for dei fire filetane som funksjon av tid. Variasjonen av total tørkerate over tid syner hovudsakleg dei same tendensane som ein såg i eksperiment 1. Tørkeraten når sitt dagsmaksimum i byrjinga av kvar dag. Heilt i byrjinga av fyrste tørkedag er det tilsynelatande eit unntak frå denne regelen, men grunnen til den låge tørkeraten i byrjinga av den fyrste dagen er at dei fyrste registreringane er gjort før filetane var lagt i tørka. Dei fyrste målingane syner altså tørkeraten medan filetane er eksponert for omgjevnadslufta i laboratoriet, altså ved same tørkebetingelsar som i kvileperiodane. Som i eksperiment 1 er det også variasjonar i tørkeraten over dagen som strid mot den generelle tendensen med fallande tørkerate. Dette er truleg grunna ulik strauming forskjellige stader i tørkekammeret, og rotering av filetar med ulik masse og geometri.

Som i eksperiment 1, ser den teoretiske tørkeperiode a (sjå kapittel 3.1), med høg og konstant tørkerate, ut til å vere ikkje eksisterande eller av særskilt kort varighet.

2. og 3. dagen er tørkeraten ved fyrste måling om morgonen høgare enn tørkeraten ved siste måling ettermiddagen før. I dei andre tilfella er den lågare eller lik.



Figur 4-8 Breidde som funksjon av tid - eksperiment 2.

Figur 4-8 syner breidde som funksjon av tid for dei fire filetane. Alle filetane krympar utover i tørkeforløpet. Alle filetane krympar også fortare i byrjinga av tørkeforløpet enn lenger uti. Krymping over dagen syner ein liknande utvikling som for tørkeraten. Alle filetane ser ut til å krympa fortast tidleg på dag, før krympinga avtek utover dagen. Dette er tydeleg frå figuren på dag 2, 3 og 4. Det er også påfallande at alle filetane i nokre tilfelle veks over natta. Fyrste natta aukar breidda på alle filetane. Resten av nettene krympar dei ferske filetane, medan dei lettsalta filetane veks både den andre og tredje natta. Resten av nettene krympar også dei lettsalta filetane. Dei ferske filetane, A og C, løsna frå bretta sine før tørkeprosessen var over. Då var det ikkje lenger mogleg å måla breidde eksakt same stad ved kvar måling, og registreringa av krymping vart difor avslutta for dei to filetane før tørkinga var ferdig.

I tabell 4-7 er krympinga på tvers av kvar filet oppgjeven i prosent av opprinneleg breidde. Den prosentvise krympinga til dei ulike filetane følger denne rekkefølga, frå dei som har krympa minst til dei som har krympa mest: D-B-A-C. Dette er den same rekkefylgja som prosentvis tørking (opphavleg fuktinnhald [%] – endeleg fuktinnhald [%]) fram til tidspunktet breidde målingane for filet A opphørte. Dei filetane som hadde tørka mest hadde altså også krympa mest.

Nøkkeltal tørkeeksperiment 2					
		Filet A _{fersk}	Filet B _{salt}	Filet C _{fersk}	Filet D _{salt}
Eksperiment 2 Φ=26% T=20°C Av/på	Masse	287g	547g	266g	650g
	Salt	0,16%	4,65%	0,16%	4,51%
	Fuktinnhald start	79,5%	80,0%	80,1%	80,0%
	Fuktinnhald slutt	19,1%	31%	17%	30,8%
	Differanse fuktinnhald	60,4%	49%	63,1%	49,2%
	Breidde start	97,4mm	119,1mm	118,4mm	158,1mm
	Breidde slutt ⁵	74,9mm	92,1mm	86,2mm	129,3mm
	Prosent krymping ⁴	23,1%	22,7%	27,2%	18,2%
	Differanse fuktinnhald ⁴	53,7%	41,1%	58,2%	38,9%

Tabell 4-7 Nøkkeltal - eksperiment 2

⁵ disse målingane er per 10.april 09:23, tidspunktet der breidde målingane opphørte for filet A

Bilete før og etter tørking – Eksperiment 2

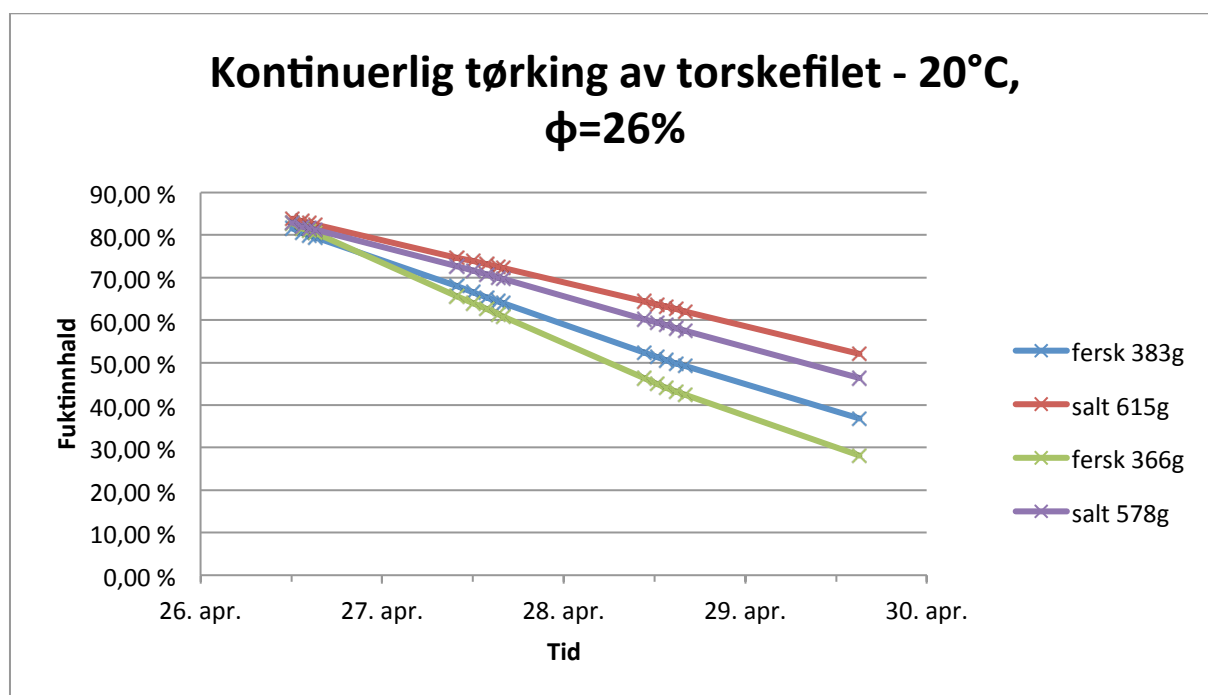
	før	Etter
A	 A rectangular fish fillet, pale pinkish-white, resting on a perforated metal tray. The fillet is relatively flat and moist.	 The same fish fillet after drying, appearing significantly darker (brownish) and more shriveled. The texture is firmer and more irregular.
B	 A fish fillet, similar to A, but with a more pronounced white layer (possibly skin or fat) on one side. It is on a perforated metal tray.	 The fish fillet after drying, showing a dark brown color and a more textured, slightly curled appearance.
C	 A fish fillet, similar to A, resting on a perforated metal tray.	 The fish fillet after drying, appearing dark brown and more compact.
D	 A fish fillet, similar to A, resting on a perforated metal tray.	 The fish fillet after drying, appearing dark brown and more compact.

Bilde 4-5 Fisk før og etter tørking - eksperiment 2

4.4.3 Eksperiment 3

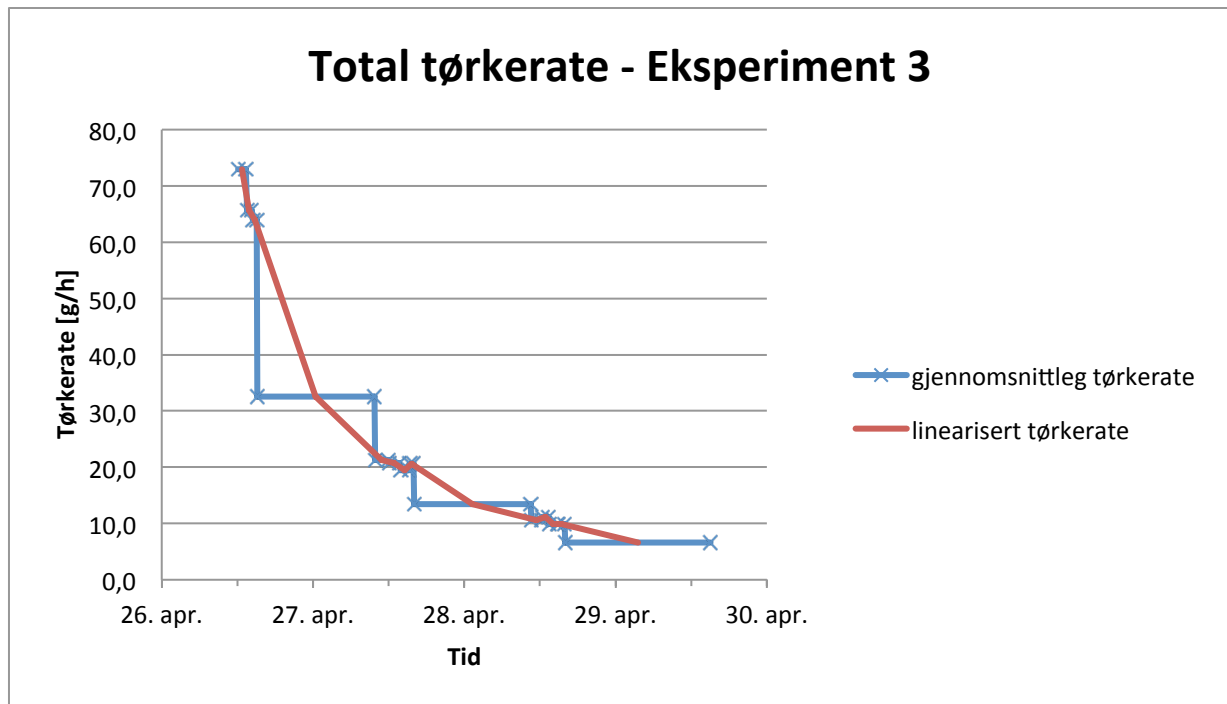
I motsetning til eksperiment 1 og 2 var tørkeprosessen i eksperiment 3 kontinuerlig. Det vil seie at tørka gjekk både dag og natt, berre avbroten i korte periodar for å mogleggjera målingar.

Tørkebetingelsane er elles like som i eksperiment 2. Registreringa av tørkeprosessen starta klokka 11:48 og vart avslutta klokka 15:06 litt over 3 døgn etter. I løpet av totalt 75,3 timar var tørka på i 73,25 timar og av i 2,05 timar.



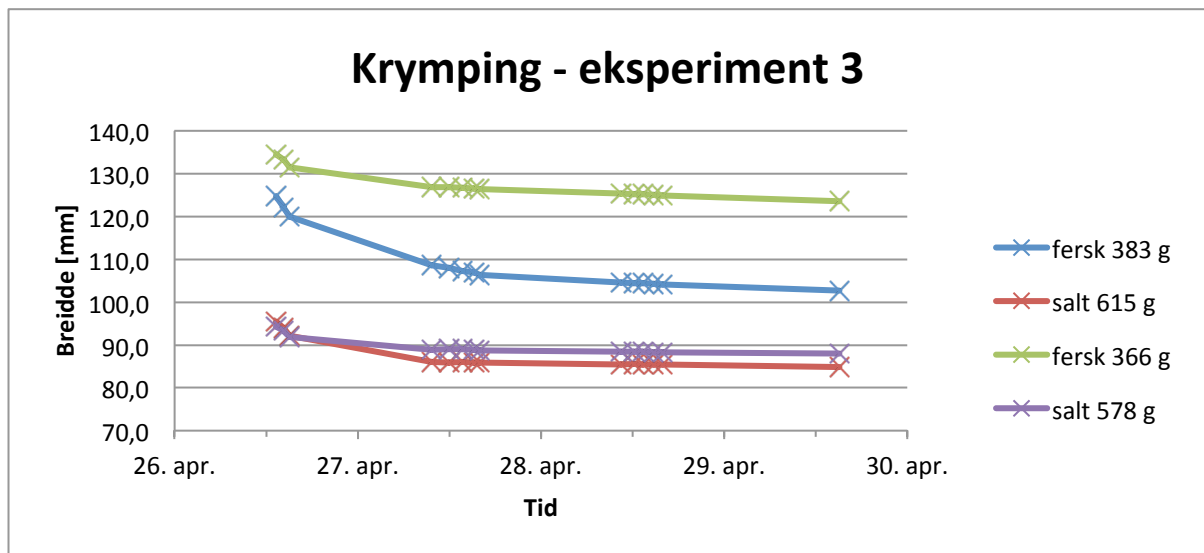
Figur 4-9 Fuktinnhald som funksjon av tid - eksperiment 3.

Figur 4-9 syner fuktinnhaldet i kvar enkelt filet som funksjon av tid. Dei ferske filetane har oppnådd lågare fuktinnhald enn dei lettsalta. Ein ser også her at dei lettare filetane har tørka lenger ned i fuktinnhald enn dei tyngre. Dette er konsistent for alle fire filetar.



Figur 4-10 Samla tørkerate for heile tørkelasta - eksperiment 3.

Den blå lina i figur 4-10 syner stykkvis gjennomsnittleg tørkerate mellom målepunkta. Den raude lina framkjem frå antagelsen om at den gjennomsnittlege tørkeraten i ein tidsperiode er den same som den reelle tørkeraten midt i den same tidsperioden. Mellom punkta er lina linearisert. Dette gjev eit godt bilete av tørkeraten under kontinuerlig tørking. Ein ser tydeleg at tørkeraten avtek fortast i byrjinga og flatar ut etter kvart. Som i dei føregåande eksperimenta, ser den teoretiske tørkeperiode a (sjå kapittel 3.1), med høg og konstant tørkerate, ut til å vere ikkje eksisterande eller av særskilt kort varighet.



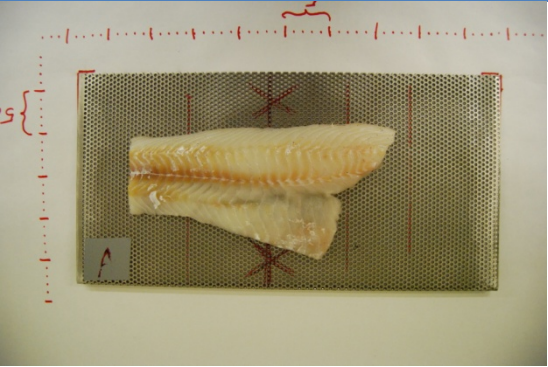
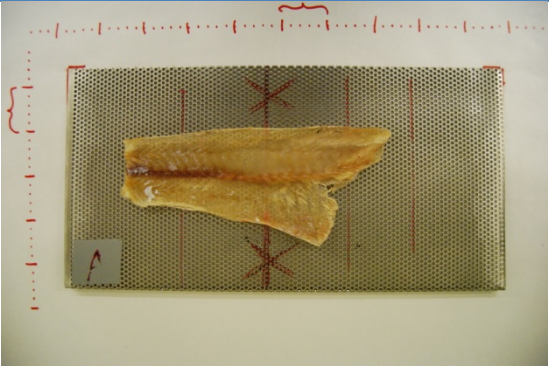
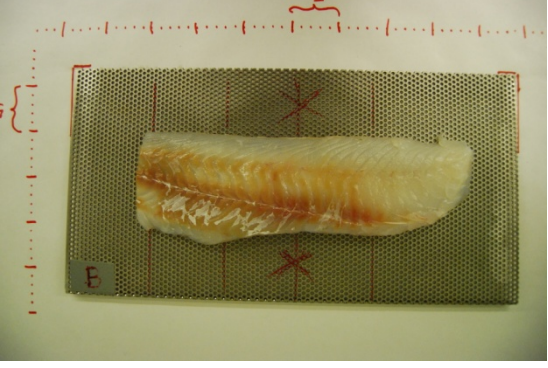
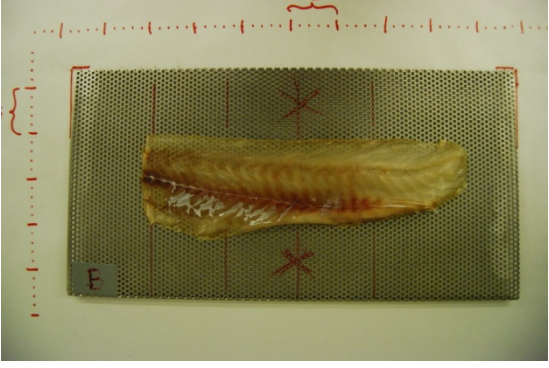
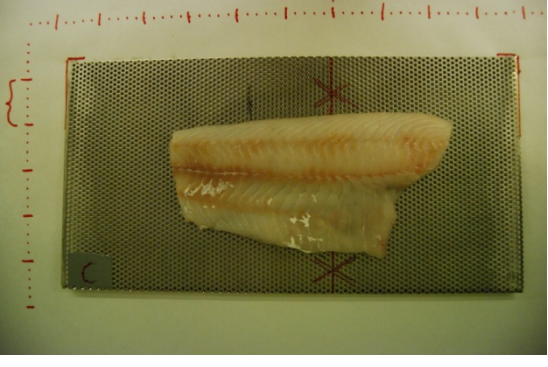
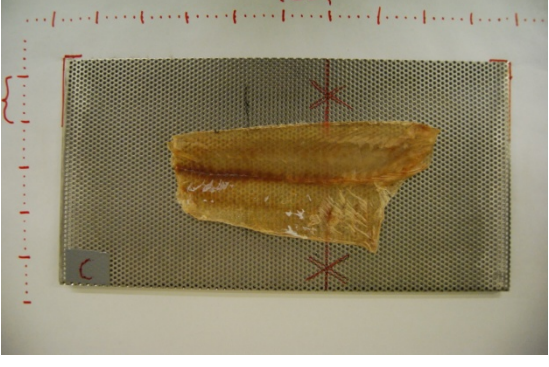
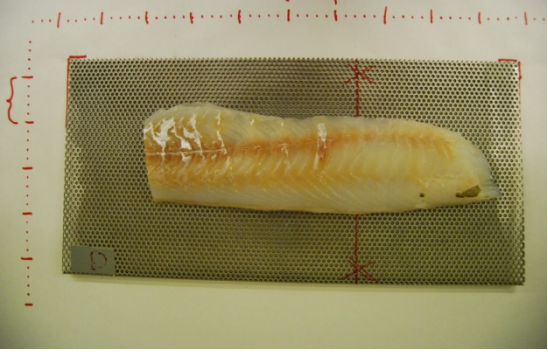

Figur 4-11 Breidde som funksjon av tid - eksperiment 3.

Alle filetene krympa gjennom tørkeforløpet, og ein ser at krympinga går fortast i byrjinga og avtek så etter kvart. I tabell 4-8 er det oppgjeve krymping for kvar filet som prosent av opprinneleg breidde. Kor mykje kvar filet har tørka er også oppgjeve i tabellen som prosent tørking, altså differansen på opprinneleg og endeleg fuktinnhald (våt basis). Her finn me ikkje noko samanheng mellom prosent krymping og prosent tørking, slik som tendensen var i eksperiment 1 og 2. Filetene var i dette eksperimentet i mykje høgare grad fastklistra til tørkebretta, noko som truleg har påverka krympinga. At filetene i dette eksperimentet i større grad klistra seg fast til tørkebretta enn dei gjorde i dei føregåande eksperimenta kan kanskje vera eit resultat av kontinuerlig tørking, i motsetning til veksling mellom tørkeperiodar og kvileperiodar. Kanskje kan kvileperiodane i dei føregåande eksperimenta, der krympinga avtok, og i ein del tilfelle vart reversert gjera att filetene ikkje klistrar seg like mykje til tørkebretta. Det er også verdt å merka seg at i dette eksperimentet var dei ferske filetene breiare enn dei lettsalta. I dei to føregåande eksperimenta var dei lettsalta filetene breiare enn dei ferske.

Nøkkeltal tørkeeksperiment 3					
		Filet A _{fersk}	Filet B _{salt}	Filet C _{fersk}	Filet D _{salt}
Eksperiment 3 Φ=26% T=20°C kontinuerlig	Masse	383g	615g	366g	578g
	Salt	0,16%	2,1%	0,16%	2,25%
	Fuktinnhald start	81,6%	83,8%	82,7%	82,9%
	Fuktinnhald slutt	36,9%	52,0%	28,1%	46,4%
	Differanse fuktinnhald	44,7%	31,8%	54,6%	36,5%
	Breidde start	127,7mm	95,6mm	136,5mm	96,6mm
	Breidde slutt	102,7mm	84,8mm	123,5mm	88,0mm
	Prosent krymping	19,6%	11,3%	9,5%	8,9%

Tabell 4-8 Nøkkeltal eksperiment 3

Bilete før og etter tørking – Eksperiment 3

	Før tørking	Etter tørking
A fersk		
B salt		
C fersk		
D salt		

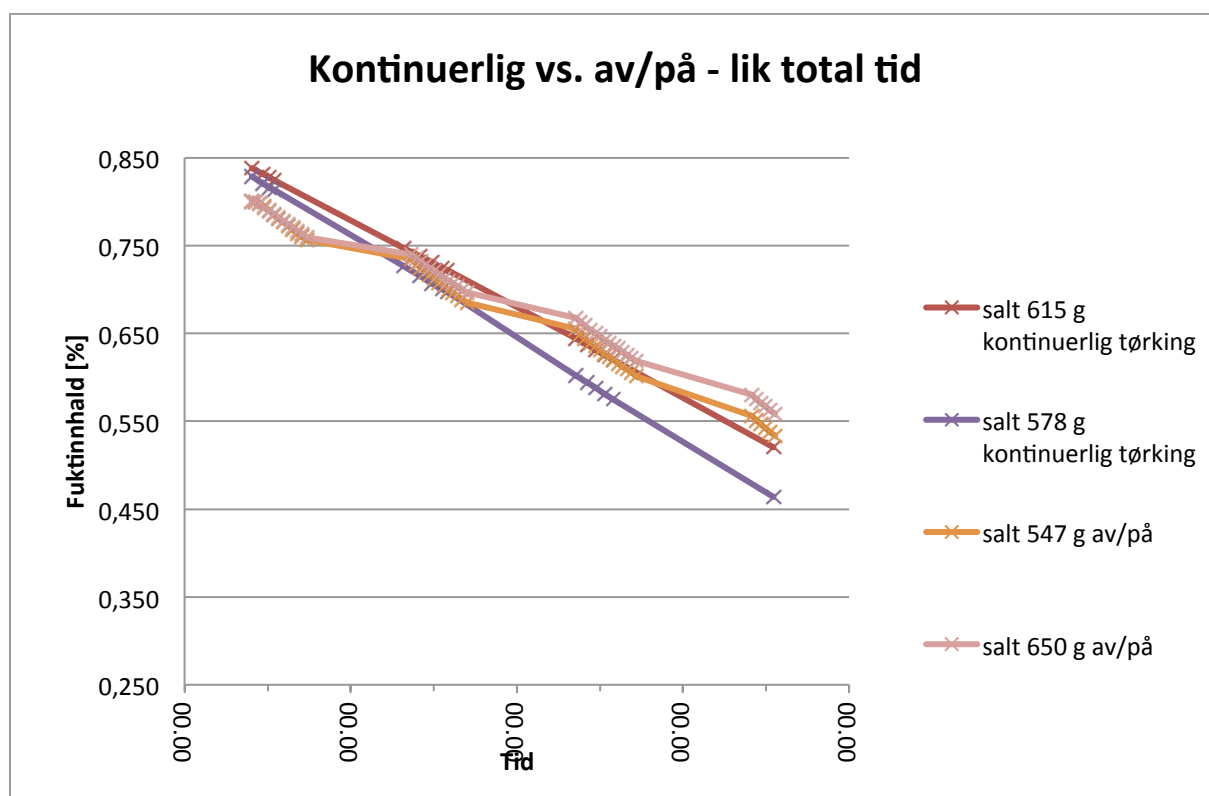
Bilde 4-6 Fisk før og etter tørking - eksperiment 3

4.4.4 Samanlikning av kontinuerlig tørking og av/på tørking

For samanlikning av kontinuerlig tørking og av/på-tørking vert det vald å hovudsakleg samanlikna dei lettsalta filetane frå eksperiment 2 og 3. Dette er fordi dei fire lettsalta filetane har samanliknbar masse, i motsetning til dei ferske filetane som var mykje større i eksperiment 3 enn dei var i eksperiment 2. Eksperiment 2 og 3 hadde identiske tørkeforhold, sett bort frå driftsplanen. I eksperiment 2 gjekk tørka om dagen og sto stille ettermiddag og natt, medan i eksperiment 3 gjekk tørkinga kontinuerlig. Tørketemperatur var 20°C og relativ fuktighet 26%.

Lik total tid

Figur 4-12 syner fuktinnhald (våt basis) mot tid for dei lettsalta filetane i eksperiment 2 og 3. Figuren syner heile det kontinuerlige tørkeforløpet, altså 75,3 timar totalt, og dei fyrste 75,14 timane av eksperiment 2.



Figur 4-12 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, fuktinnhald som funksjon av tid, lik totaltid.

Me ser at i løpet av dette tidsrommet har filetane som har gjennomgått kontinuerlig tørking oppnådd lågare fuktinnhald enn dei som har gjennomgått ein syklus der tørka har stått stille om natta. Dette til tross for at filetane som gjennomgjekk kontinuerlig tørking hadde høgare fuktinnhald i utgangspunktet. Det er altså ikkje tvil om at den kontinuerlige tørkinga var meir tidseffektiv enn

av/på-syklusen innanfor den delen av tørkeforløpet som er synt i figur 4-12. Men dersom ein i staden for total tidsbruk samanliknar med effektiv driftstid/energibruk som basis vert bilete eit anna. Tabell 4-9 oppsummerer litt meir informasjon om same perioden som er synt i figur 4-12.

Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, tørkeratar relativt til totaltid og driftstid						
	tid-på [h]	tid-av [h]	Tid total [h]	Total tørking (lettsalta filetar) [g _{H2O}]	Tørking/total tid [g _{H2O} /h _{total}]	Tørking/driftstid [g _{H2O} /h _{drift}]
kontinuerlig	73,25	2,05	75,30	800,9	10,6	10,9
av/på	20,22	54,92	75,14	667,9	8,9	33,0

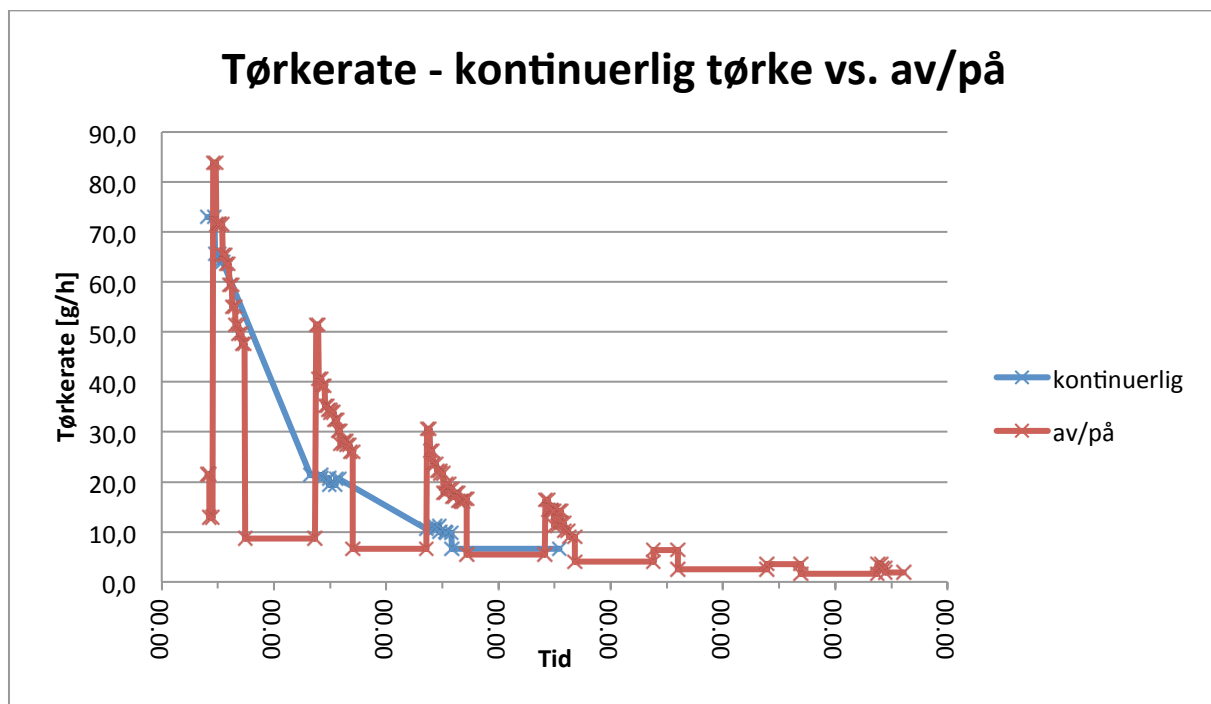
Tabell 4-9 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, tørkeratar relativt til totaltid og driftstid

Den samla ferske massen av dei lettsalta filetene i eksperiment 2 og 3 var henholdsvis 1197g og 1193g. Under kontinuerlig tørking vart det tørka ut 800,9 g vatn frå dei lettsalta filetene i løpet av 75,3 timar. Under av/på-driftsplanen vart det tørka ut 667,9g vatn frå dei lettsalta filetene i løpet av dei fyrste 75,14 timane. Med total tid som basis vart det i løpet av om lag dei fyrste 75 timane tørka ut 10,6 g/h under kontinuerlig tørking, og 8,9 g/h for av/på-regimet. Dersom me i staden nyttar tida der tørka går som samanlikningsgrunnlag vert verdiane 10,9 g/h_{drift} for kontinuerlig tørking, og 33,0 g/h_{drift} for av/på-regimet. Det er desse tala som er relevante når det kjem til energibruk.

Resultata syner at av/på-tørking med dei gjevne betingelsane kan vera energisparande, men vil til gjengjeld krevja lengre total tørketid. I litteraturstudiet vart det henvist til litteratur der ein ikkje berre hadde påvist energisparing, men også reduksjon av total tørketid som fylgje av tidsvarierande tørkeplanar. Kvifor det, i motsetning til Chou et al. (Chou, Chua et al. 2000), ikkje her vart påvist reduksjon i total tørketid som resultat av av/på-tørking kan ha mange forklaringar, då det er mange skilnader mellom forsøka utført her, og forsøka utført av Chou et al. (Chou, Chua et al. 2000); råmaterial (potet/torsk), dimensjonar på prøvane (15*30*30mm/≈400*130*30mm), periode (tørketid+kviletid=1 time/tørketid+kviletid≈24 timar) osv. Det vert ikkje gått vidare inn på om tidsvarierande tørking kan redusera total tørketid for fisk, og i så fall kva som er betingelsane for at det skal oppnåast.

Tørkerate

Figur 4-13 syner total tørkerate for eksperiment 2 og eksperiment 3, og avslører hovudskilnadane på kontinuerlig tørking og av/på-tørking.



Figur 4-13 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, tørkeratar som funksjon av tid

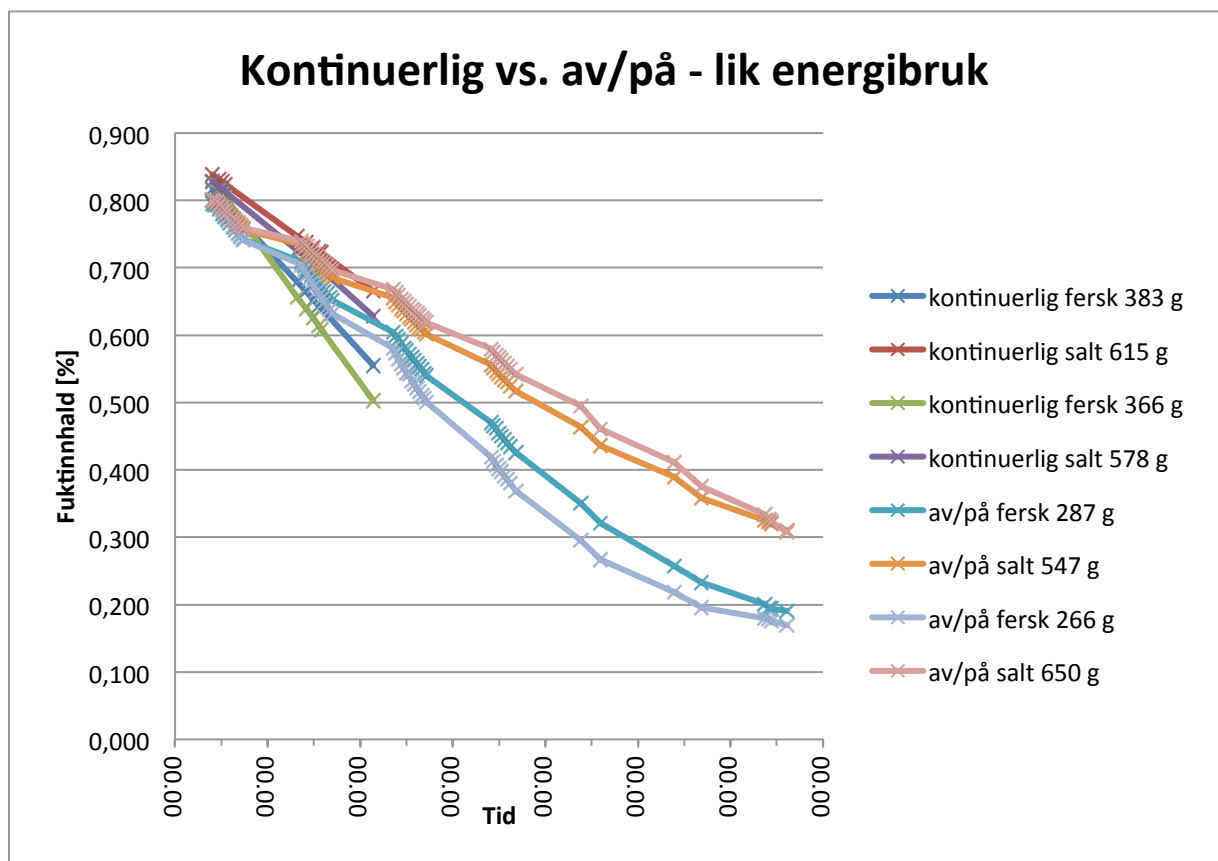
Begg grafane i figuren syner stykkvis gjennomsnittleg tørkerate mellom målepunkta. Eit unntak er for nattestid for det kontinuerlige tørkeforløpet der tørkeraten er linearisert mellom siste målte tørkerate om ettermiddagen, og fyrste målte tørkerate om morgonen.

Den fyrste dagen følger dei to linjene omtrent same utvikling der dei startar med høg tørkerate og fell utover dagen. Den låge tørkeraten heilt i byrjinga av eksperiment 2 er, som kommentert ovanfor, på grunn av at fisken ikkje vart lagt i tørka før litt etter registreringa hadde byrja. Den fyrste natta framkjem skilnaden på dei to ulike tørkeforløpa. Under av/på-syklus vert tørka skrudd av, og filetane vert utsett for stillestående omgjevnadsluft ved ca. 17°C og 30% relativ fuktighet. Som resultat fell tørkeraten drastisk. For det kontinuerlige tørkeforløpet fortset tørkinga derimot med fallande, men relativt høg tørkerate. Neste morgon, når tørka i eksperiment 2 (av/på syklus) vert sett på att ser ein att tørkeraten stig til eit høgare nivå enn tilfellet er for det kontinuerlige forløpet, og for dette tilfellet også høgare enn tørkeraten på slutten av fyrste dag. Slik fortset det med at det kontinuerlige tørkeforløpet gjev høgare tørkeratar om nettene, medan av/på-tørkeforløpet gjev høgare tørkeratar om dagen. Det kontinuerlige eksperimentet vert avbrote den fjerde dagen, men ein ser allereie her at tørkeraten nærmar seg tørkeraten under kvileperiodane i av/på-forløpet.

Dei høge tørkeratane ein ser på dagtid for av/på-regimet kjem som resultat av at fuktigheten i filetane utjevnar seg over natta, altså at fuktighet vert transportert frå kjernen til overflata av filetane i løpet av natta og slik er tilgjengeleg for fordamping når tørka vert satt i gang att om morgonen.

Lik energibruk

Figur 4-12 synte tørkeforløpet for dei lettsalta filetane for ein like lang total tidsperiode med henholdsvis kontinuerlig tørking og eit av/på-regime der tørka står stille om natta. Figur 4-14 syner tørkekurvene for alle filetane for begge driftsplanar, men i staden for å visa tørkeforløpet for same totale tidsperiode vert dei i figur 4-14 vist for same driftstid. Heile tørkeforløpet for eksperiment 2 er teke med, altså 148,4 timar. I denne perioden går tørka i berre 40,2 timar. Det kontinuerlige tørkeforløpet varte i 75,3 timar, men slik det er representert i figuren sluttar tørkekurvene etter 41,6 timar. Ved dette punktet er den effektive driftstida til tørka den same som for heile eksperiment 2, altså 40,2 timar. Endepunkta på figur 4-14 er altså oppnådd med ulik tidsbruk, men same energibruk.



Figur 4-14 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, fuktinnhald som funksjon av tid, lik energibruk

Det er tydeleg at av/på-regimet gjev mykje meir tørking for lik energibruk. Tabell 4-10 oppsummerer initielt og endeleg fuktinnhald til alle filetane tørka i eksperiment 2 (av/på). For eksperiment 3 (kontinuerlig) vert det oppgjeve initielt fuktinnhald samt fuktinnhaldet etter like lang effektiv driftstid av tørka som gjennom heile eksperiment 2.

Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking. Initielt og endeleg fuktinnhald med same driftstid										
			lettsalta				fersk			
		Fersk masse	615 g	578 g	547 g	650 g	383	366	287	266
	Total tid	driftstid	83,8%	82,9%	80,0%	80,0%	81,6%	82,7%	79,5%	80,1%
kontinuerlig	41,6	40,2	66,6%	62,8%	-	-	55,5%	50,3%	-	-
av/på	148,4	40,2	-	-	31%	30,8%	-	-	19,1%	17,0%

Tabell 4-10 Samanlikning av kontinuerlig og av/på-tørking, initielt og endeleg fuktinnhald med same driftstid

Alle filetane har initielt fuktinnhald mellom 79,5% og 83,8%. Med kontinuerlig tørking vert filetane tørka til mellom 50,3 og 66,6% i løpet av 41,6 timar. Med eit av/på-regime der tørka står stille om natta vert filetane tørka til mellom 17% og 31% i løpet av 148,4 timar. I begge tilfelle er den effektive tida der tørka går, og altså energibruken lik.

Det skal nemnast at under av/på-tørkinga føregår det betydeleg tørking også i kvileperioden, og at dette delvis forklarar kvifor av/på tørkinga gjev så mykje meir tørking for same effektive driftstid. I kor stor grad det vil føregå tørking om natta, når tørka står stille, vil avhenga av likevekts fuktinnhaldet i fisken og lufttilstanden i omgjevnadane. I eksperimenta var omgjevnadslufta om lag 17°C/30%RH, og som det kjem fram frå figurane gav dette betydeleg tørking også i kvileperiodane. Men det er ingen tvil om at av/på-tørkinga hadde vore energisparande, også dersom det ikkje hadde føregått nokon tørking i kvileperiodane. Av/på-tørkinga syner betydeleg høgare tørkeratar i driftstida enn den kontinuerlige tørkinga gjer, og denne skilnaden ville vore enno større dersom fisken under av/på-tørkinga ikkje hadde tørka om natta.

4.4.5 Eksperimentell måling av endeleg fuktinnhald

I dei føregåande kapitla framkjem verdiane for endeleg fuktinnhald frå målingar av initielt fuktinnhald og registrert vekttap gjennom tørkeprosessen. For å verifisera verdiane av det endelege fuktinnhaldet vart dette også målt eksperimentelt for alle filetar i alle eksperiment, som beskrive i kapittel 4.3.1. Resultatata vert her presentert i lag med verdiane basert på initielt fuktinnhald og vekttap.

Endeleg fuktinnhald. Målte verdiar og verdiar kalkulert på grunnlag av initielt fuktinnhald og vekttap					
Eksperiment 1		A fersk 453g	B salt 623g	C fersk 329g	D salt 675g
	Frå initielt fuktinnhald og vekttap	32,9%	41,7%	30,4%	43,9%
	Eksperimentell måling	19,5%	25,3%	21,1%	25,1%
	Avvik	13,4%	16,4%	9,3%	18,8%
Eksperiment 2		A fersk 287g	B salt 547g	C fersk 266g	D salt 650g
	Frå initielt fuktinnhald og vekttap	19,1%	31%	17%	30,8%
	Eksperimentell måling	19,8%	27%	17,6%	27,0%
	Avvik	-0,7%	4%	-0,6%	3,8%
Eksperiment 3		A fersk 383g	B salt 615g	C fersk 366g	D salt 578g
	Frå initielt fuktinnhald og vekttap	36,9%	52,0%	28,1%	46,4%
	Eksperimentell måling	20,9%	46,5%	20,1%	41,2%
	Avvik	16%	5,5%	8%	5,2%

Tabell 4-11 Endeleg fuktinnhald – målte verdiar og verdiar kalkulert på grunnlag av initielt fuktinnhald og vekttap

Måleverdiane syner store og varierende avvik. Dei fleste og største avvika er i retning av at det målte endelege fuktinnhaldet er lågare enn det kalkulerte endelege fuktinnhaldet. Slike avvik kan moglegvis koma frå at dei eksperimentelle målingane er gjort på prøvar frå halestykkje av tørka filetar. Halestykkja er jevnt over mindre både i breidde og tjukkelse, og kan difor ha oppnådd eit lågare fuktinnhald enn snittet i resten av fileten. For dei to lettsalta filetene i eksperiment 2 tilseier målingane av endeleg fuktinnhald at det er marginalt høgare enn kalkulert.

Målingane er basert på skilnad i massen til fiskeprøvar før og etter tørking i omn ved 105°C i 24 timar. Det vert blåst varm luft gjennom omnen. På grunn av ein defekt i omnen var denne luftstraumen større enn ønskeleg. Dersom luftstraumen har blese delar av fiskeprøvane ut av behaldarane sine vil dette gjeva avvik som tilseier for høgt fuktinnhald.

Antagelsen er at etter 24h ved 105°C skal alt vatnet i prøvane vere fordampa. Molnár (Molnár 2007) tilrår å nytta bitar på 1-2 mm² for å få gode målingar av fuktinnhald. Dimensjonane til prøvane som

vart tørka i ovnen vart delvis på grunn av den uønska store luftstrauminga i ovnen, i samråd med medretteiar (Alves-Filho, 2011) bestemt til om lag 5*5*5 mm, altså om lag 100 gonger større enn tilrådd av Molnár. Dersom ikkje alt vatnet har fordampa i ovnen, grunna for store bitar, skulle dette gjeva avvik som tilseier for lågt fuktinnhald.

Dei høge og varierende avvika i målingane for endeleg fuktinnhald gjer at dei vert sett bort frå. Verdier for endeleg fuktinnhald vil altså vera basert på opprinneleg målt fuktinnhald og vekttap under tørkinga.

4.4.6 Fargeendring

Fargemåling før og etter tørking for alle filetar i alle eksperiment						
			A _{fersk}	B _{salt}	C _{fersk}	D _{salt}
Eksperiment 1	start	L	57,90	47,45	58,57	49,57
		a	-1,20	1,29	-1,22	0,77
		b	-4,50	-11,44	-3,17	-4,91
	slutt	L	36,56	37,61	43,15	37,94
		a	-1,21	-1,04	-0,64	-1,74
		b	3,94	-1,06	7,87	-0,28
	endring	L	-21,34	-9,84	-15,42	-11,63
		a	-0,01	-2,33	0,58	-2,51
		b	8,44	10,38	11,04	4,63
Eksperiment 2	start	L	43,88	41,14	49,03	43,94
		a	-0,94	-1,11	-1,32	-0,85
		b	-6,95	-7,10	-3,68	-8,02
	slutt	L	40,22	39,39	43,79	41,04
		a	-0,76	-1,79	-0,87	-1,38
		b	6,49	3,71	10,14	5,88
	endring	L	-3,65	-1,75	-5,23	-2,91
		a	0,18	-0,68	0,46	-0,54
		b	13,44	10,80	13,82	13,90
Eksperiment 3	start	L	53,01	48,01	54,08	46,54
		a	-1,41	-0,58	-1,72	-1,56
		b	-5,53	-10,53	-3,57	-6,65
	slutt	L	39,34	41,21	45,22	37,43
		a	-1,09	-2,86	-0,06	-2,65
		b	4,92	3,25	10,21	2,65
	endring	L	-13,67	-6,80	-8,86	-9,11
		a	0,32	-2,28	1,66	-1,09
		b	10,44	13,78	13,78	9,30

Tabell 4-12 Fargemålingar før og etter tørking for alle eksperiment

I tolkinga av fargemålingane er det viktig å hugsa kva som er målt og korleis det er målt. Dette er beskrevet i kapittel 4.3.1, der tydinga til dei tre variablane også vert forklart. Det vert minna om at det

inngår ein god dose skjønn i vurderinga av kvar på fileten fargen skal målast, og resultatata bør lesast i lys av det.

Lat oss fyrst sjå på fargemålingane som er gjort før tørkinga startar. L-verdien til dei ferske filetanen i alle tre eksperiment ligg mellom 49,03 og 58,57, med unntak av 2A som har L-verdi 43,88. For dei lettsalta filetane ligg L-verdien mellom 41,14 og 49,57. Jamt over så er altså dei ferske filetane lysare i fargen enn dei lettsalta. Ein kan også leggja merke til at filetane i eksperiment 2 jamt over har lågare initielle L-verdiar enn i dei andre eksperimenta.

For alle filetar i alle eksperiment har L-verdien gått ned i løpet av tørkinga. Dvs at dei har vorte mørkare i fargen. Innad i kvart eksperiment ser me at dei ferske filetane har gjennomgått større endring i lyshet enn dei lettsalta. Dette er konsistent utanom for eksperiment 3, der den eine lettsalta fileten har gjennomgått større endring i lyshet enn den eine ferske fileten i same eksperiment.

Endringa i lyshet ser også generelt ut til å vera markant mindre i eksperiment 2, enn i dei andre eksperimenta. Dette har nok ein samanheng med at den initielt målte lysheten til filetane i eksperiment 2 var mindre enn for dei andre eksperimenta.

For endringa av a-verdien gjennom tørkinga ser me ein skilnad mellom dei lettsalta og dei ferske filetane. For dei ferske filetane aukar a-verdien gjennom tørkinga, medan for dei lettsalta minkar a-verdien gjennom tørkinga. Dette er konsekvent utanom for eksperiment 1 der den eine ferske fileten har ein marginal minke i a-verdien.

b-verdien aukar gjennom tørkeforløpet for alle filetar i alle eksperiment.

Generelt så er dei ferske filetane lysare i fargen enn dei lettsalta før tørking. Under tørking vert alle filetane mørkare i fargen, samstundes som dei bevegar seg mot gul på blå-gul-aksen. På grøn-raud aksen gjekk dei ferske filetane mot raud, medan dei lettsalta gjekk mot grøn.

Sjølv om nokre skilnadar er peika ut mellom lettsalta og ferske filetar, er det ikkje nødvendigvis slik at skilnadane er resultat av saltinnhaldet. Det vert minna om at dei lettsalta filetane har større masse enn dei ferske filetane i alle undersøkte tilfelle.

4.4.7 Oppsummering

Torskefiletar har vorte tørka heile med skinnsida opp ved ulike temperaturar, luftfuktighetar og driftsplanar. Driftsplan og tørkebetingelsar er oppsummert i fyrste kolonne i tabell 4-13. Filetane var varierende i storleik og saltinnhald. Dei ferske filetane varierte i storleik frå 266-453g, og vart anteke å ha saltinnhald på 0,16%. Dei hadde fuktinnhald mellom 79,5% og 82,7% og vart tørka til fuktinnhald

mellom 17,0% og 36,9%. Dei lettsalta filetane varierte i masse frå 547g til 675g og hadde saltinnhald mellom 2,1% og 4,65%. Dei hadde fuktinnhald mellom 80% og 83,8%, og vart tørka ned til mellom 30,8% og 52%. Den registrerte krympinga av filetane i breidderetninga var mellom 8,9% og 27,2% av opprinneleg breidde. Den totale tørketida varierte frå 75,3 timar til 167 timar, og det vart gjort tørkeforsøk både med kontinuerlig tørking, og med av/på-regime der tørka gjekk om dagen, og sto stille ettermiddag og natt. I eksperimenta med av/på-regime vart filetane eksponert for stillestående luft ved om lag 17°C/30%RH i kvileperiodane. Nokre nøkkeltal for alle eksperimenta er oppsumert i tabell 4-13.

Nøkkeltal for alle eksperiment					
		Filet A _{fersk}	Filet B _{salt}	Filet C _{fersk}	Filet D _{salt}
Eksperiment 1 Φ=50% T=10°C Plan: Av/på På: 50,7 h Av: 116,4 h Total: 167,1 h	Fersk masse	453g	623g	329g	675g
	Salt	0,16%	4,22%	0,16%	2,64%
	Fuktinnhald start	80,3%	83,0%	82,0%	82,4%
	Fuktinnhald slutt	32,9%	41,7%	30,4%	43,9%
	Differanse fuktinnhald	47,4%	41,3%	51,6%	38,5%
	Krymping (breidde)	21,0%	20,2%	23,9%	11,4%
Eksperiment 2 Φ=26% T=20°C Plan: Av/på På: 40,2 h Av: 108,2 h Total: 148,4 h	Masse	287g	547g	266g	650g
	Salt	0,16%	4,65%	0,16%	4,51%
	Fuktinnhald start	79,5%	80,0%	80,1%	80,0%
	Fuktinnhald slutt	19,1%	31%	17%	30,8%
	Differanse fuktinnhald	60,4%	49%	63,1%	49,2%
	Krymping (breidde) ⁶	23,1%	22,7%	27,2%	18,2%
Eksperiment 3 Φ=26% T=20°C Plan: Kontinuerlig På: 73,3 h Av: 2,0 h Total: 75,3 h	Masse	383g	615g	366g	578g
	Salt	0,16%	2,1%	0,16%	2,25%
	Fuktinnhald start	81,6%	83,8%	82,7%	82,9%
	Fuktinnhald slutt	36,9%	52,0%	28,1%	46,4%
	Differanse fuktinnhald	44,7%	31,8%	54,6%	36,5%
	Krymping (breidde)	19,6%	11,3%	9,5%	8,9%

Tabell 4-13 Nøkkeltal for alle eksperiment

⁶ desse målingane er for tidspunktet der breidde målingane opphørte, altså dagen før tørkinga vart avslutta.

Forutan eit lite avvik i eksperiment 2 var det ein konsistent tendens at lettare filetar tørka meir enn tyngre filetar innanfor same tidsrom.

For alle filetar i alle forsøka vart det registrert krymping i breiddretninga i løpet av tørkeforløpet. Krympinga ser ut til å vere mest markant i byrjinga av tørkeforløpet og avtek etter kvart. Den same tendensen ser me isolert for kvar einskilde dag i eksperimenta med av/på-tørking, altså at filetene krympar mest tidleg på dagen og avtek utover. Dette er den same utviklinga som me ser ved tørkeraten. At den er høgast i byrjinga og avtek utover, både for tørkeforløpet som heilhet, og for kvar tørkeperiode isolert i dei tilfella med av/på-tørking. Det kan altså sjå ut til at tørkerate og krymperate har ein samanheng, slik at tørkeraten er høg samstundes som krymperaten er høg. I eksperimenta der filetene kviler i omgjevnadsluft om ettermiddag og natt ser me i nokre tilfelle at filetene aukar i breidden i kvileperioden, hovudsakleg relativt tidleg i tørkeforløpet. Det vart registrert at filetene i større grad klistrar seg til tørkebretta i det kontinuerlige forsøket, enn i dei to andre. Kanskje kan den vekslande krympinga/svellinga, som vart observert under av/på-tørking, gjera at filetene i mindre grad klistrar seg til tørkebretta enn i det kontinuerlige forsøket der filetene krympar gjennom heile tørkeforløpet.

I eksperiment 1 og 2 er det ein konsistent tendens til at jo meir ein filet har tørka dess meir har den krympa, der krymping er gjeve som prosent av opprinneleg breidde, medan tørking er gjeve som differansen mellom opphavleg fuktinnhald og endeleg fuktinnhald, begge delar som prosent vát basis. Denne tendensen vart ikkje observert i det kontinuerlige forsøket, moglegvis grunna større grad av fastklistring til tørkebretta.

Samla tørkerate for heile tørkelasta er for eksperiment 1 om lag 35g/h i snitt den fyrste tørkedagen. Her var tørkelufta 10°C/50%RH. For eksperiment 2 og 3 var tørkelufta 20°C/26%RH. I desse tilfella var gjennomsnittleg total tørkerate for den fyrste tørkedagen om lag 60 g/h. Sjølv om ikkje tørkelasta i dei tre forsøka var identisk, så gjev dette klare indikasjonar på at den varmare og tørrare lufta i eksperiment 2 og 3 gav meir effektiv tørking enn tilfellet var i eksperiment 1. I eksperiment 1 vart filetene tørka frå mellom 80,3% og 83% fukt til mellom 38,5% og 51,6% fukt på om lag 7,5 dagar og 7 netter. I eksperiment 2 vart filetene tørka frå mellom 79,5% og 80,1% til mellom 17% og 31% fukt i løpet på om lag 7 dagar og 6 netter. Det er tydeleg korleis den varmare og tørrare lufta i eksperiment 2 gav raskare tørking enn den kaldare og fuktigare lufta i eksperiment 1.

For det kontinuerlige tørkeforsøket ser me tydeleg korleis tørkeraten startar på maksimum og flatar ut etter kvart. Den teoretiske initielle tørkeperioden med høg og konstant tørkerate (jamfør figur 3-1) ser ikkje ut til å vera gjeldande for torsk. Dette er i samsvar med funna gjort av Strømmen (Strømmen 1980). For eksperiment 1 og 2 der tørkeperiodane var avbrotne av lengre kvileperiodar, såg me

tydeleg korleis kvileperioden med tilhøyrande låg tørkerate og fuktutjamning i fisken gav opphav til høg tørkerate når ein ny tørkeperiode starta. I fleire tilfelle var tørkeraten i byrjinga av ein tørkeperiode høgare enn i slutten av føregåande.

Ved samanlikning av eksperiment 2 og 3 ser me korleis eit av/på-tørkeregime kan vera energisparande, nettopp som resultat av kvileperiodane med låg tørkerate og tilhøyrande intern fukttransport frå kjernen til overflata av produktet. Den kontinuerlige tørkinga har føremona av høgare tørkerate enn av/på-tørkinga når av/på-tørkinga er i ein kvileperiode. Av/på-tørkinga har føremona av høgare tørkerate om dagen grunna intern fukttransport i kvileperioden.

Det vert vist at kontinuerlig tørking ved 20°C/26%rh tørkar filetane lenger ned i fuktinnhald enn av/på-tørkinga gjer på same totale tid. I løpet av om lag 75 timar var den gjennomsnittlege tørkeraten for dei lettsalta filetane under kontinuerlig tørking 10,6 g/h, mot den litt lågare gjennomsnittlege tørkeraten på 8,9 g/h for dei lettsalta filetane som gjennomgjekk av/på-tørking i omtrent like lang periode. Dersom ein samanliknar på grunnlag av den effektive driftstida til tørka innanfor same totale tidsrom finn ein derimot at tilsvarende gjennomsnittlege tørkeratar var 10,9 g/h_{drift} for kontinuerlig tørking og heile 33,0 g/h_{drift} for av/på-tørking.

Det vert funne at filetar med opphavleg fuktinnhald 79,5%-83,8% når fuktinnhald 50,3%-66,6% i løpet av 41,6 timar med kontinuerlig tørking. Med eit av/på-regime der tørka står stille ettermiddag og natt kan dei tørkast til 17%-31% med same effektive driftstid, og dermed same energibruk. Totaltida for sistnevnte forløp var 148,8 timar.

Det skal nevast at under av/på-tørkinga så vart det registrert delvis tørking også i kvileperiodane, grunna relativt tørr og varm luft i laboratoriet. Dersom lufttilstanden hadde vore slik at minimal eller ingen tørking hadde førekomme i kvileperiodane, ville dette truleg gjort at tørkeraten i tørkeperiodane ville vore enno høgare. Ein driftsplan med tørking om dagen og stillstand om natta ser altså ut til å vera energisparande, men tidkrevjande i forhold til kontinuerlig drift.

Generelt så var dei ferske filetane lysare i fargen enn dei lettsalta, før tørking. Under tørking vert alle filetane mørkare i fargen, samstundes som dei bevegar seg mot gul på blå-gul-aksen.

4.4.8 Konklusjon

Ved samanlikning av to tørkeforløp med tilsvarande driftsplan, der tørka går om lag 7 timar om dagen og står stille dei resterande timane av døgeret, vert det funne at torskefiletar tørkar fortare ved 20°C/26%RH enn ved kaldare og fuktigare 10°C/50%RH. Ved samanlikning av eit tørkeforløp med ein slik av/på-driftsplan og eit tørkeforløp med kontinuerlig drift vert det funne at ein av/på-driftsplan kan redusera energibruken for tørking betydeleg, men vil til gjengjeld vera meir tidkrevjande.

Alle filetane krympa i breidderetninga under tørking, og det kan sjå ut til at høg krymperate er samanfallande med høg tørkerate. Alle filetane vert mørkare i fargen under tørking, samstundes som dei bevegar seg mot gul på blå-gul-aksen.

Angående kvalitetskaraktistikkar i ferdig tørka produkt, og korleis dei ulike driftsplanane påverkar dette, har de ikkje vorte konkludert i favør av verken den eine eller andre driftsplanen. Det var for mange betingelsar som varierte mellom forsøka til at det kunne trekkast slutningar rundt dette⁷.

⁷ I samband med ein storstilt bacalaofest 14.juni 2011, vart produktets organoleptiske kvalitetar testa av underteikna et. al. Då festen og testen ikkje var gjennomført innan innleveringsfristen, er resultatata ikkje inkludert i denne rapporten. Ein førebels test vart gjennomført av katten Kattulf 13.juni 2011, og ein meir oppglødd katt hadde aldri før vorte observert i Alfred Larsens gt. 5. Han var ikkje nøgd før han hadde fått dobbel porsjon.

5 System for varmpumpetørking drive av solenergi

Det skal i denne delen av oppgåva gjerast ein gjennomgang av nokre ulike prinsipp for solbasert varmpumpetørking. Utgangspunktet for tørka er det same for alle driftsprinsipp. Ei lukka tørke der tørkelufta vert kjølt og avfukta av ei kald flate (luftkjølar/fordampar) før lufta varmest opp att til ønska tørketemperatur med ein varm flate (luftvarmar/kondensator). Ei varmpumpe skal driva luftkjølar og –varmaren. Dei varmpumpande systema som vert vurdert er følgande.

- Dampkompresjon med R-717 som arbeidsmedium
- Ejektorsystem
- Eitt-trinns absorpsjonsvarmpumpe med vatn/LiBr som arbeidspar
- To-trinns absorpsjonsvarmpumpe med vatn/LiBr som arbeidspar

Varmpumpa treng mekanisk/elektrisk energi, medan ejektorsystemet og absorpsjonsvarmpumpa treng hovudsakleg termisk energi. Tørka treng i alle tilfelle elektrisk/mechanisk energi for å driva vifta. Følgande konsept skal vurderast for å skaffa energi.

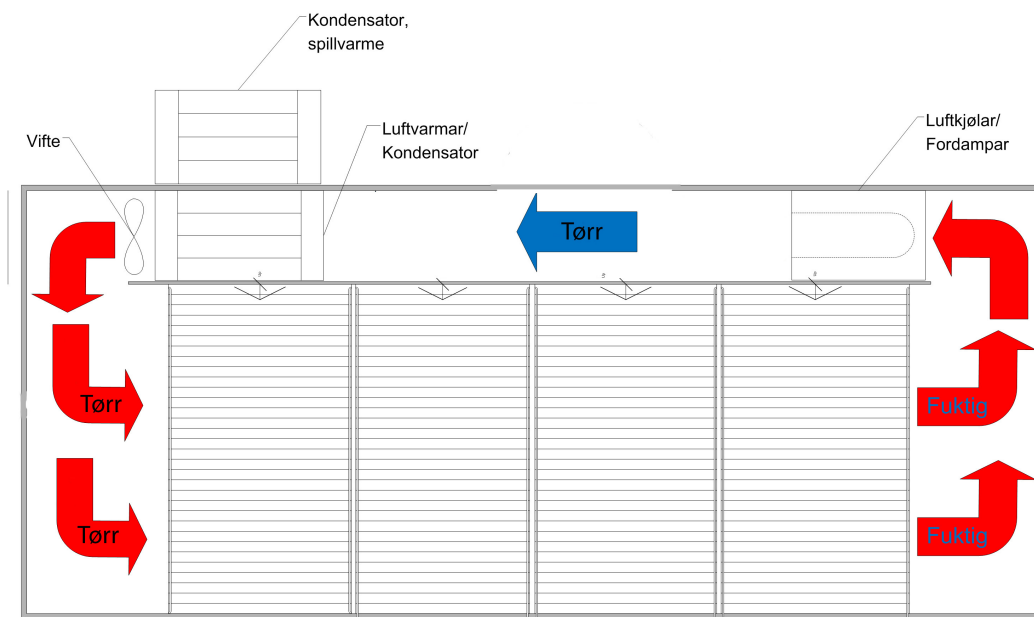
- Solcellepanel
- Uisolerte og isolerte flatplatesolfangerar (+varmemotor)
- Vakuumrøyrsofangerar (+varmemotor)

Det skal gjerast beregningar for energibruk, effektivitet, tørkekapasitet og arealbruk . Det vert også gjort overslag over mogleg reduksjon i naudsynt solfangarareal ved bruk av konsentrerende solfangarar (parabolisk disk- og parabolisk trausolfangerar). Produktet som skal tørkast er fiskefilet med fuktinnhald 75% wb, og dimensjonerande klimaforhold er Mumbai, India.

Eit energiforsyningsystem basert på solenergi vil levera mykje energi midt på dagen, når sola står høgt, og mindre energi morgon og kveld (og ingenting om natta). Tørka vert rekna å gå med konstant effekt i dei timane den går kvar dag. For å jamna ut dette tidsavviket mellom energibehov og energiforsyning krevst det eit system for lagring av energi. Eventuelt kunne supplerande firing med andre energikjelder nyttast morgon og kveld, men systema vurdert i denne rapporten er tenkt å gå utelukkande på lokal solenergi . Det vert ikkje gått inn på løysingar for energilagring. Det vert for enkelhets skuld rekna med tapsfri energilagring over døgnet, og ingen energilagring over året. Energiforsyningsystemet skal dimensjonerast slik at tørka kan gå i snitt 10 timar dagleg, 365 dagar i året.

5.1 Tørka

Som utgangspunkt for dimensjonering av tørka vart det valgt ein ISO-standard 40-fots container. Isolerte eller kjølte containerar har omtrent 70mm isolasjon i veggane, og polyurethane er mest brukt. Som oftast vert det også nytta ein låg-konduktivitet halocarbon-gass i lukka celler for å gjeva høgare isolasjonsytelse. Ein ny 40-fots kjølecontainer bør ha ein varmelekkasje på max 35 W/K (Heap, 1988). Dette vert utgangspunkt for berekningane.



Figur 5-1 Tørkecontaineren

5.1.1 Fysiske mål og lastekapasitet

Det vert satt av 0,5m til varmevekslarar og aparatur under taket. Tørketunellen vert då 1,88m høg, 2,35m breid, og 12,03m lang. For å finna lastekapasiteten for tunellen vert det teke utgangspunkt i lasting av ei klippfisktørke, som beskrive i Sintef-rapporten *driftsforhold og energibruk i klippfisktørka ved Olga Godø AS* (Magnussen, Indergård, & Eikevik, 2008). Biletet under syner tilsvarende stablingsmetode med brett på vogner.



Figur 5-2 Fisk på brett, stabla på vogner

Det vert rekna med brett-tjukkelse 30mm og klossar mellom bretta på 0,55mm. Vogn med hjul byggjer 225mm frå golvet, og det nederste brettet ligg rett på vognramma. Med 20 brett vert klaringa frå øverste brett til taket berre 1,5 cm. Dette er ikkje tilstrekkeleg for eit fiskelag og klaring. Maksimal lastehøgde vert 19 brett med ei klaring på 10 cm frå øverste brett til tak. Det er ikkje oppgjeve lengde- og breidde mål for bretta, men ut i frå oppgjeven stablingshøgde og bilete frå Olga Godø vert det anslått kvadratiske brett med sider 1,14m. Då kan ein lasta to vogner i breidda med klaring 72mm, som nok vert på smertegrensa p.g.a. vanskar med å lasta perfekt vertikalt. To vogner i breidda vert uansett utgangspunktet for vidare berekningar. Dersom me lastar 8 vogner i lengden får me ein restlengde på 2,91m fordelt på begge endane av tunnelen til sning av luft. Med denne lastinga kan det lastast $2 \cdot 8 \cdot 19 = 304$ brett med fisk. Antek same fiskelast per brett som hjå Olga Godø AS, altså 17,7 kg. Den tenkte tørka har altså ein lastekapasitet på $304 \cdot 17,7 = 5380,8$ kg fisk.

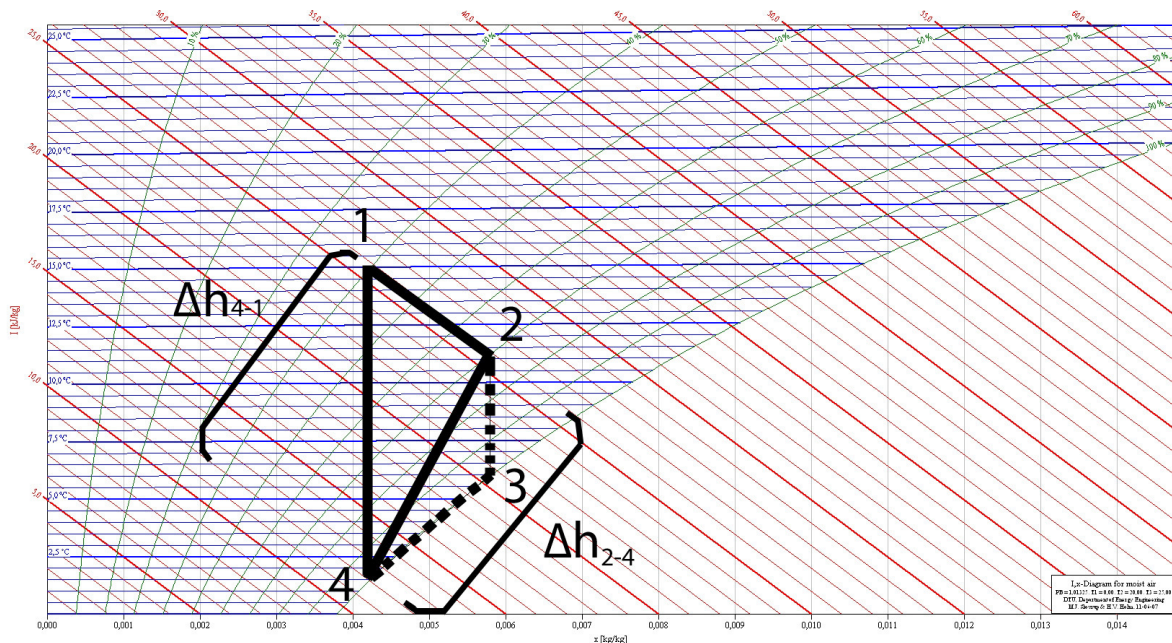
For berekningar på luftstraum gjennom tørketunnelen vert det antek at det effektive tverrsnittet som lufta kan strauma i er halvparten av totalt tunelltverrsnitt.

Dersom fisken vert tørka frå 75%wb til 20%wb må det takast ut 0,69 kg vatn per kg råvare. For ei tørkelast på 5380 kg 75%wb må det altså takast ut 3700 kg vatn for å nå 20%wb.

5.1.2 Tørkelufta

Utgangspunktet for berekningar på tørkelufta er at lufta skal halda 15°C og relativ fuktighet 40% inn på produktet. Over produktet (1-2) vert lufta isentalpisk oppfukta til relativ fuktighet 70%. Det vert

også tilført litt varme (35W/K) til tørkelufta grunna varmelekkase gjennom containerveggar. Luftkjøleren/fordamparen kjøler så tørkelufta ned til duggpunktet (2-3), og vidare ned slik at det vert kondensert ut like mykje vatn som vart teke opp over produktet (3-4)⁸. Luftvarmar/kondensator varmar tørkelufta til korrekt innløpstemperatur(4-1). Dei ulike tilstandane til tørkelufta vert rekna ut ved hjelp av HxLib og Excel, og er vist i tabell 5-1. Tala i kursiv er inngangsvariablar for berekningane. Det vert teke utgangspunkt i ein lufthastighet over produktet på 1,5 m/s, og med resulterande massestrøm på 4,09 kg/s må luftkjølar og luftvarmar ha henholdsvis kjøle-/varmeeffekt på 53,6 kW. Kjøleren skal kjøla lufta til 1,52 °C, og varmaren skal varma opp til 15 °C. For varmelekkasjen vert det dimensjonert med utetemperatur 26,65 °C, som er snitt-lufttemperaturen over året i Mumbai (Synergy Enviro Engineers, 2010).



Figur 5-3 Mollierdiagram fuktig luft - tørkeluftkretsen

Tørkeluft tilstandstabell						
	T [°C]	φ [%]	h [J/kg]	x [kg/kg]	p [Pa]	v[m3/kg]
Tilstand 1	15	40	25717,74	0,004215	101325	0,818433
Tilstand 2	11,22	70	25833,67	0,005777	101325	0,808461
Tilstand 3	5,96	100	20493,42	0,005777	101325	0,793498
Tilstand 4	1,52	100	12082,23	0,004215	101325	0,780153

Tabell 5-1 Tørkeluft tilstandstabell

⁸ Dersom tørkelufta hadde vorte perfekt uniformt nedkjølt ville den fylgd den stipla linja på figuren. I realiteten vil den ikkje det.

Nøkkeldata for tørka	
Fordampareffekt	56212W
Tørkerate dag	6,38 g _{H2O} /s
Tørkerate natt	0 g _{H2O} /s
Massestraum tørkeluft	4,09 kg/s
Total tørketid (5380 75%wb -> 1680kg 20%wb)	160,9 h drift + 225,26 h av = 16,1 døgn
Årleg kjølebehov ved 10 t _{drift} /dag	205 MWh _{kjøling} /år
Årleg produksjon	122,0 tonn _{fersk fisk} /år

Tabell 5-2 Nøkkeldata for tørka

Kjøleanlegget vert dimensjonert ved å anta fuktopptaket til tørkelufta gjennom tørketunellen. Eit anna spørsmål er om tørkelasta (fisken) er i stand til å fukta opp luftstraumen slik som anteke. For å sjå om antakelsane er realistiske med tanke på fukttransporten frå tørkelast til tørkeluft vert det samanlikna med eksperimentelle data frå kapittel 4.

I eksperiment 2 i kapittel 4 vart totalt 1750g torskfilet (blanding av fersk og lettsalta) tørka frå fuktinnhald 80,0% - 27,3% i løpet av totalt 148,4 timar. Tørka gjekk i om lag 6timar kvar dag, og sto stille resten av døgeret. Medan tørka gjekk var tørketemperatur 20°C, relativ fuktighet 26% og lufthastighet over produktet om lag 1,3m/s. Når tørka sto stille var fisken eksponert for stillestående luft ved 17°C og relativ fuktighet 30%. Gjennomsnittleg tørkerate frå start til slutt var 4,88 g_{H2O}/(h*kg fersk masse). Gjennomsnittleg tørkerate i tørkeperiodane var 7,9 g_{H2O}/(h*kg fersk masse)

Tørka som er dimensjonert her er tenkt å tørka 5380kg fersk masse frå fuktinnhald 75%-20% i løpet av 160,9h drift og 93,8h stillstand. Gjennomsnittleg tørkerate i tørkeperiodane er 6,38 g_{H2O}/s. Dette er det same som 4,27 g_{H2O}/(h*kg fersk masse), altså heile 46% lågare gjennomsnittleg tørkerate per fiskemasse i tørkeperiodane enn det som var tilfellet i eksperimentet. Både tørketemperatur, fuktighet, og tidsplan er dimensjonert litt ulikt her i forhold til eksperimentet det vert samanlikna med, og ulike faktorar kan trekka i ulike retningar. Basert på eksperimentelle data verkar det likevel realistisk at den tenkte tørkelasta kan fukta opp tørkelufta slik som anteke.

Dersom avdampingen frå fisken ikkje er den begrensande faktoren i oppfuktinga av tørkelufta, kan ein vurderer å dela opp tørketunellen i fleire etasjar, og slik laga ein lengre veg for tørkelufta. Med

same lufthastighet vil då lufta vere i kontakt med fisken i eit lengre tidsrom, og slik kan lufta verta meir oppfukta. Dette vil også føre til mindre massestraum, og dermed mindre energi til vifta.

Det vert understreka at anteken oppfukting av tørkelufta og resulterande tørkerate er meint som gjennomsnittsverdiar. Slik ein såg i eksperimenta i kapittel 4 så vil tørkeraten generellt vera fallande utover i tørkeforløpet. I tillegg vil ein sjå ein tilsvarande utvikling på dagsbasis, altså at tørkeraten er høg når tørka startar om morgonen, og fallande utover dagen. Særskild i fyrste del av tørkeforløpet vil tørkeraten når ein startar tørka om morgonen, grunna fuktutjamning over natta, vera høgare enn tørkeraten var når tørkinga vart avslutta dagen før.

For å få ei mest mogleg jamn tørking av heile tørkelasta, og unngå at fisken som ligg lengst oppstraums i tunellen er ferdig tørka før den som ligg lengst nedstraums kan ein enten snu luftstraumen i periodar, eller ha ei ordning der ein tek ut ei vogn med ferdig tørka fisk i eine enden, og set inn ei vogn med fersk fisk i andre enden. Strømmen (Strømmen 1980) anbefalar for tunelltørking av fisk generelt ein langsblåst tunell, med innmating av ferskt produkt lengst nedstraums i tunellen og motstraums bevegelse av fisken. For meir informasjon om slike løysingar vert det henvist til Sokhansanj og Jayas (Sokhansanj and Jayas 2007).

5.2 Energibehov

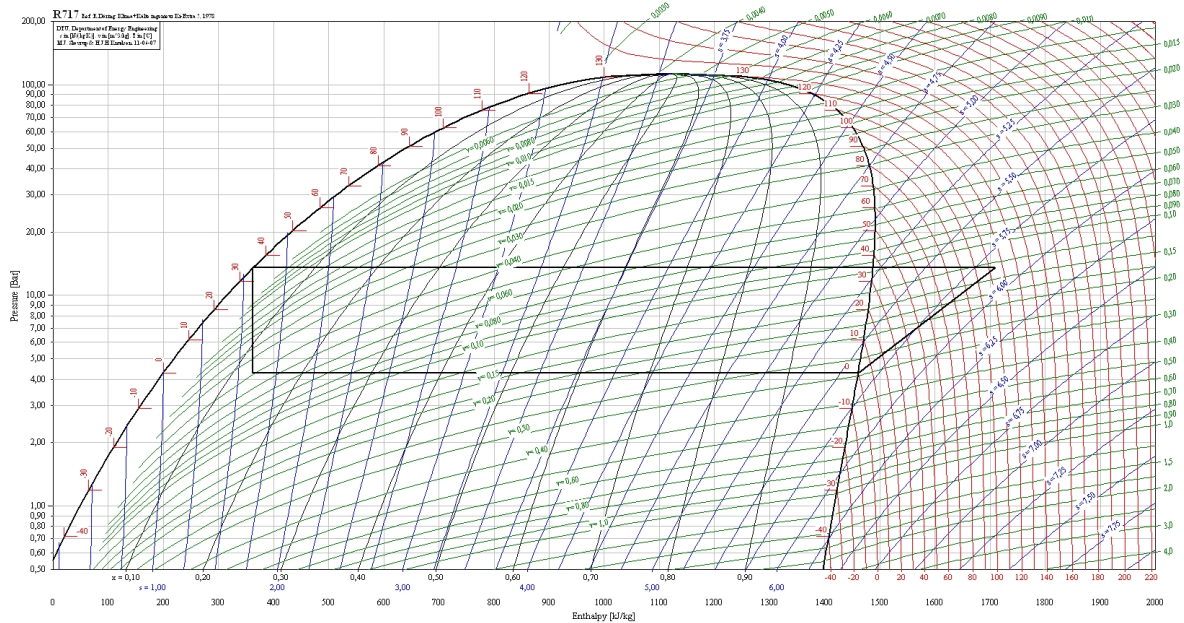
I denne delen av oppgåva vert energibehovet til dei ulike komponentane i tørka funne

5.2.1 Vifteenergi

Trykkskilnaden over vifta vert satt til 1500Pa, og virkningsgraden vert satt til 0,3. Ved bruk av formel 3.10 finn ein naudsynt vifteeffekt 16,3kW.

5.2.2 Dampkompresjon med R717-amoniakk

Tørkeluftkretsen saman med utelufta dannar dei ytre betingelsane for varmpumpekretsen. Amoniakk, R717, er valgt som kjølemedium. Tørkelufta skal kjølast til 1,5°C gjennom fordamparen, og fordampingstemperatur vert difor satt til 0 °C. Systemet skal kunne dumpa varme til uteluft og kondensasjonstemperatur vert satt til 35 °C. Isentropisk virkningsgrad (sjå formel 3.5) for kompressor vert anslått til 0,65, og me fårfølgande syklus .



Figur 5-4 ph diagram – dampkompresjon med R717-ammoniakk

Med same tilstandsreferansar som figur 3-4, altså punkt 1 før fordampar, får me følgende tilstandsvariablar.

Dampkompresjon med R717-amoniakk - tilstandstabell					
	T [°C]	P [Pa]	v [m ³ /kg]	h [J/kg]	s [J/kg*K]
Tilstand 1	0	429351,6	0,03941122	527856,5	2170,931
Tilstand 2	0	429351,6	0,289388408	1623642,4	6182,624
Tilstand 3	115,225074	1350023	0,132957588	1872988,1	6417,793
Tilstand 4	35	1350023	0,001702328	527856,46	2129,61

Tabell 5-3 Dampkompresjon med R717-ammoniakk - tilstandstabell

Ved å setja data frå tabell 5-3 inn i formel 3.6 får me COP=4,39. Med fordampareffekt 56,2kW vert effektbehovet til varmepumpa 12,8kW.

5.2.3 Ejektorkrets

I utgangspunktet var CO₂ tenkt som arbeidsmedium til ejektorsystemet. I litteraturstudiet vart det derimot funne at det var ineffektivt, eller kanskje tilmed umogleg å få tilstrekkeleg temperaturløft med CO₂ som arbeidsmedium. Det vart derimot funne litteratur om ejektorsystem med andre arbeidsmedium som kan fungera til vårt føremål, der me vil ha eit temperaturløft frå 0°C til 35°C.

Alexis et. al rapporterte om kjølevirkningsgrad 0,14 for ejektorsystem med fordampar-, kondensator- og generatortemperaturar henholdsvis 0°C, 36°C og 90°C med R134a som arbeidsmedium (Alexis and Karayiannis 2005).

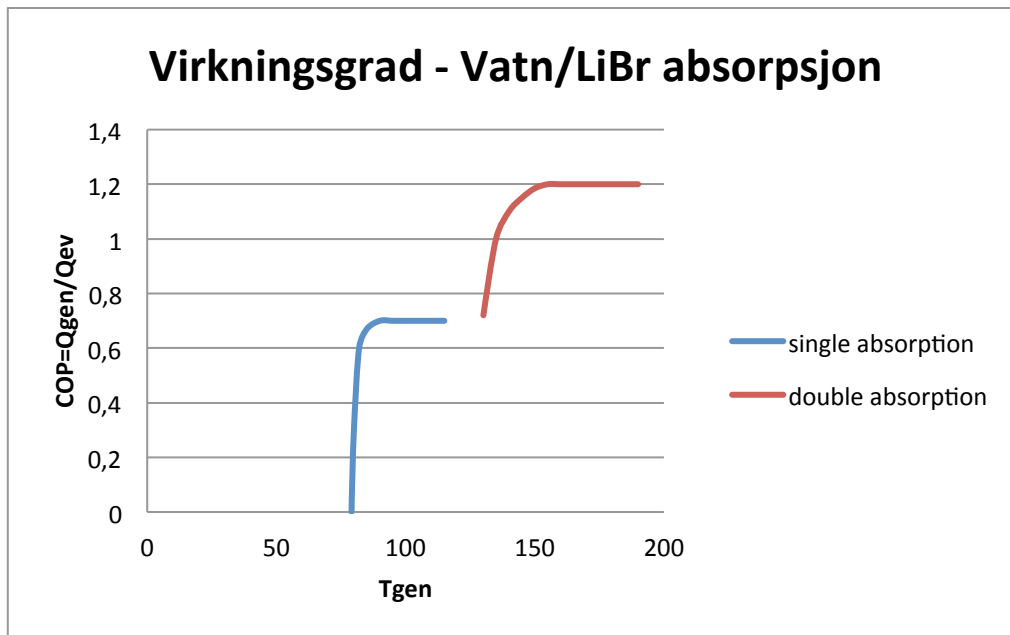
Murthy et. al rapporterer virkningsgrad rundt 0,2 med fordampar- og kondensatortemperaturar henholdsvis 0°C og 33°C, og med generatortemperaturar i området 75°C-85°C. Her vart R11 nytta som arbeidsmedium (Murthy, Balasubramanian et al. 1991)

Eit soldrive ejektorsystem med vatn/damp som arbeidsmedium vart drive med kjølevirkningsgrad 0,3 med fordampar- og kondensatortemperatur henholdsvis 1,5°C og 27°C. Generatortemperaturen var då om lag 80°C (Nguyen, Riffat et al. 2001).

Det vert ikkje konkludert noko rundt kva arbeidsmedium som eignar seg best, men på grunnlag av dette vert det anteke at ein kan driva eit ejektorsystem med eit temperaturløft frå 0°C til 35°C med 20% virkningsgrad ved drivtemperatur 80°C. Det er ikkje grunn til å tru at virkningsgraden vil auka med høgare generatortemperatur.

5.2.4 LiBr-H₂O Absorpsjonsvarmepumpe

Virkningsgraden til ei absorpsjonsvarmepumpe er i tillegg til fordampings- og kondensasjonstemperatur avhengig av generatortemperatur. Virkningsgraden til LiBr-vatn absorpsjonsvarmepumper i både eitt-trinns og to-trinns konfigurasjon er oppsummert i figur 5-5. Figuren er laga med basis i figur 3-15 (Gomri 2009), og med $T_{cd}=T_{ab}=39^\circ$ og $T_{ev}=4^\circ\text{C}$ vert virkningsgradskarakteristikken som fylgjer.



Figur 5-5 Virkningsgradar for eitt-trinns og to-trinns LiBr/vatn-absorpsjonsvarmepumpe med fordampartemperatur 4°C og kondensatortemperatur 39°C

For å kunne samanlikna med dampkompresjonssystemet og ejektormodellen vert det antekke at dei same virkningsgradskurvane gjeld for temperaturløft frå 0°C til 35°C, altså same differanse, men 4°C lågare temperaturnivå enn kurvane eigentleg gjeld for.

5.3 Energiforsyning

I denne delen av oppgåva vert det fokusert på energiforsyning til å driva kjølarane beskrivne ovanfor, samt til å driva vifta i tørka. Systemet skal gå med konstant kjøleeffekt 56,2kW_{kjøling} (ved 0°C) og vifteeffekt 16,3kW gjennomsnittleg 10 timar dagleg gjennom året.

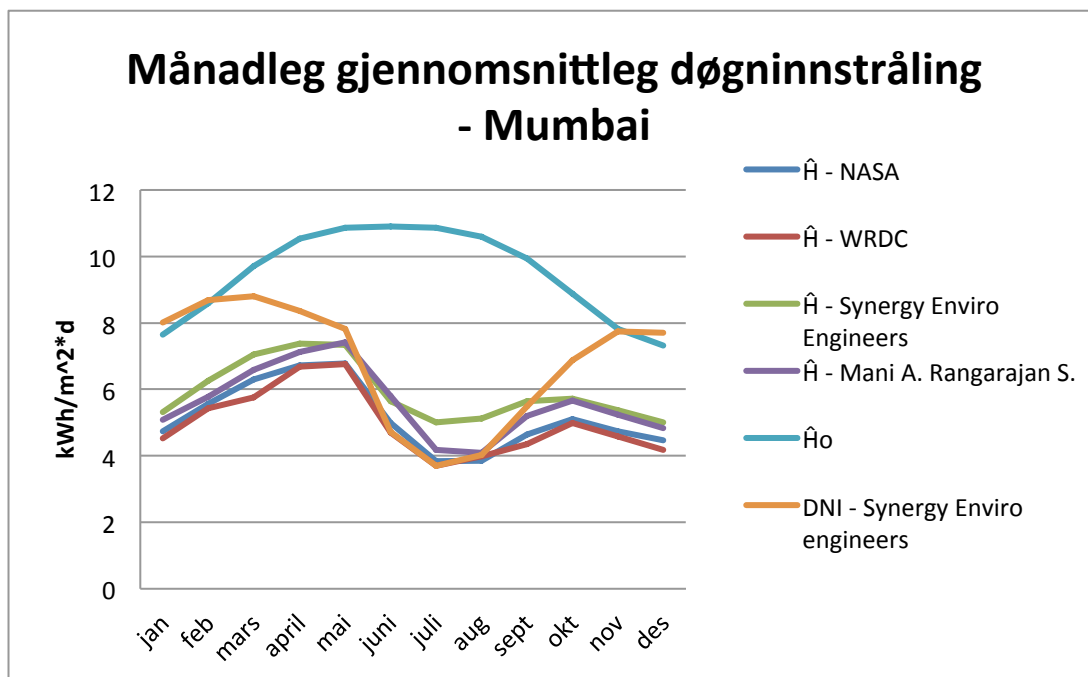
5.3.1 Meterologiske data for Mumbai

Mumbai ligg på Indias vestkyst mot det arabiske hav, på øya Salsette. Sidan Mumbai ligg ved kysten, og i den tropiske klimasona (19°N) er klimaet prega av regntid (mars – oktober) med høg luftfuktighet og temperaturar over 30°C, og tørketid (november – februar) med moderat nedbør og varmt til kjølig vær (wikipedia, 2010).

Å finna gode og eintydige data for solinnstråling skulle visa seg å vere vanskeleg. Det viser seg å vera vanskeleg å spora kjelder, og at kjeldene refererer til kvarandre. Rapporten baserer seg på fire datakjelder for solinnstråling i Mumbai.

- World Radiation Data Center (WRDC)
 - Basert på data frå 1994-2009
- NASA Surface meteorology and Solar Energy.
 - Oppgjer WRDC som kjelde
 - Basert på data frå 1969-1993
- Synergy Enviro Engineers
 - Basert på data frå NASA
- Boka "Solar radiation over India"

(World radiation data center) (NASA, 2010) (Synergy Enviro Engineers, 2010) (Mani A., 1982)



Figur 5-6 Månadleg gjennomsnittleg total døgninnstråling - Mumbai

\bar{H} er månedleg gjennomsnittleg global døgninnstråling på ei horisontal flate.

\bar{H}_0 , som er månedleg gjennomsnittleg døgninnstråling på ei horisontal flate utanfor atmosfæren er berre avhengig av breiddegrad, og er funnen for 19°N ved interpolasjon mellom 15°N og 20°N frå tabell i vedlegg B. Snittet av dei fire datasetta vert nytta for vidare berekningar med \bar{H} .

DNI (Direkte normal solinnstråling) er direkte stråling (ikkje diffus) på ei flate som alltid står vinkelrett på solstrålinga, altså direkte stråling tilgjengeleg for ei flate med to-akse solsporingssystem.

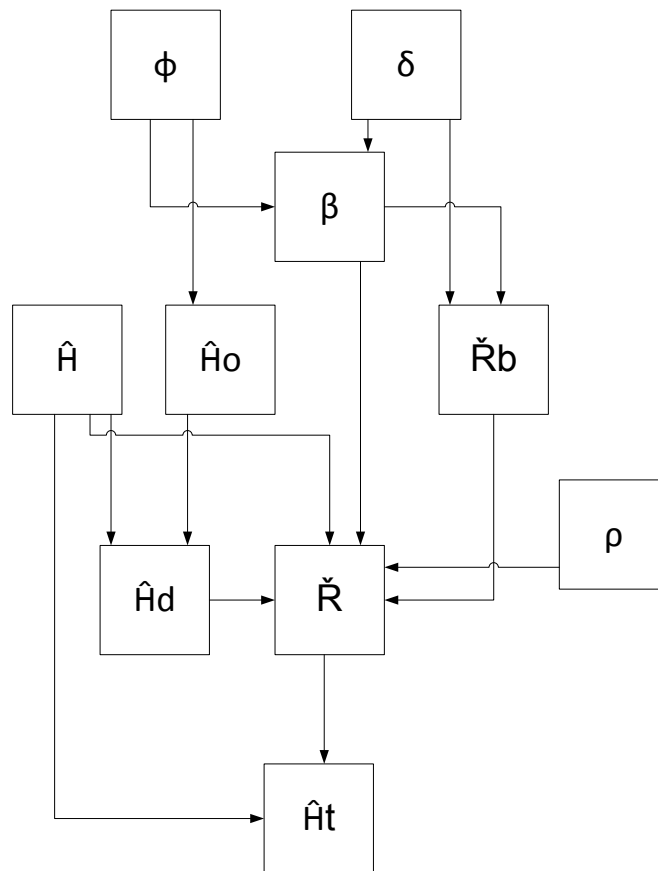
Global årleg innstråling på ei horisontal flate i Mumbai er 1972kWh/m², medan total årleg DNI for Mumbai er 2493kWh/m².

5.3.2 Tilgjengeleg solenergi

Utgangspunktet for å berekna kor mykje solenergi ein kan nytta seg av er gjeve av dei meteorologiske data for staden. Det vert vurdert to ulike regime for justering av panelvinklane, og dei er som følger.

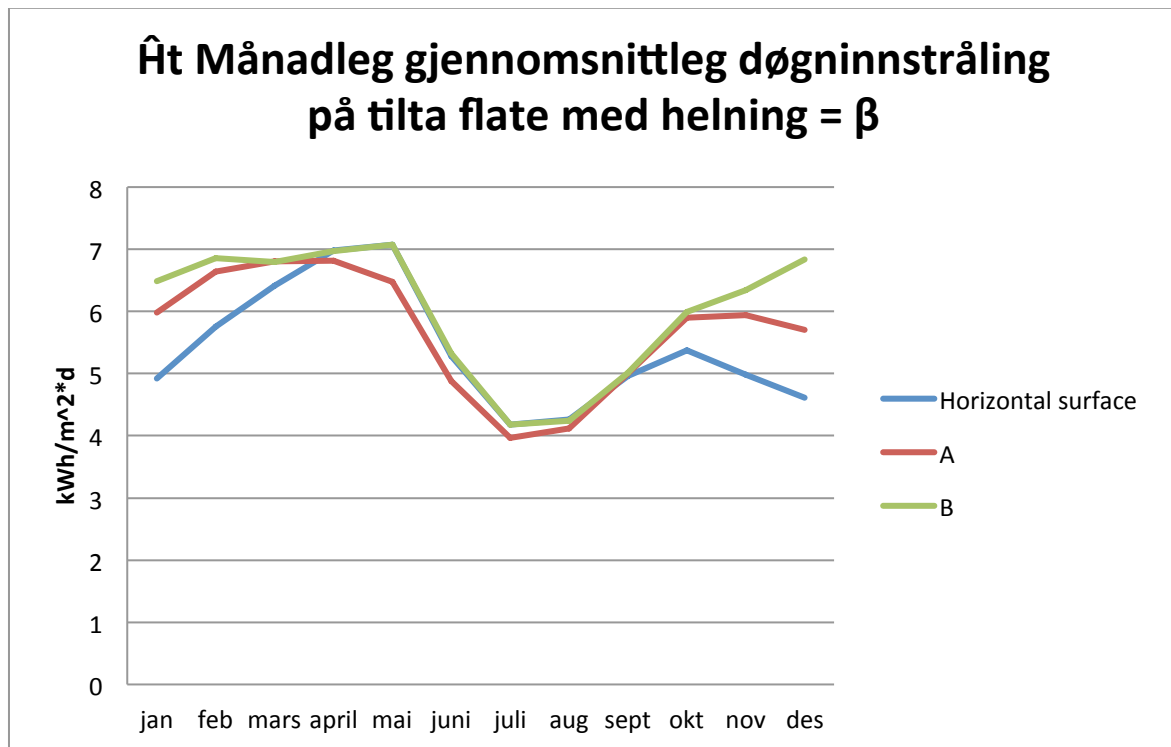
- A. Fast montering med helning $\beta = \phi = 19^\circ$ mot ekvator
- B. Montering på horisontal aust-vest akse med ein justering i månaden. Optimal helning for dette systemet vil vere gjeve av formel 3.28.

Ved bruk av formlane gjevne i teoridelen vert det laga eit rekneark som reknar ut \bar{H}_t for ein gjennomsnittleg dag i kvar månad. Gjennomsnittsdagen i ein månad er definert som den dagen i månaden med minst differanse mellom \bar{H}_0 og H_0 , og gjennomsnittsdagane som vert bruka følgjer anbefalingane til Klein frå 1977 (Duffie & Beckman, 2006), og kan finnast i vedlegg I. Albedo for bakken vert anslått til 0,2 for alle dagar i året. Figur 5-7 illustrerer dataflyten i reknearket.



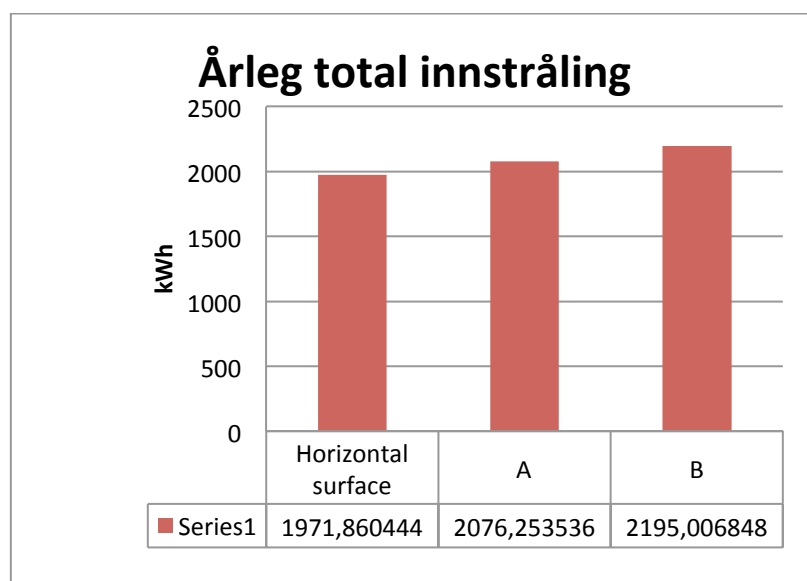
Figur 5-7 Algoritme for å finna \bar{H}_t for alle månader

Det vert på denne måten, for årets tolv månader funne månedleg gjennomsnittleg døgninnstråling på flatene ved dei to ulike justeringsregima, A og B, og for ei horisontal flate ($\beta=0$). Sjå figur 5-8 for resultatata.



Figur 5-8 \bar{H}_t for Mumbai ved ulike program for justering av flatehelninga β

Ved å summere \bar{H}_t for alle månader og multiplisera med gjennomsnittleg månadslengd, 30,44 døgn, får me årleg total innstråling på flatene.

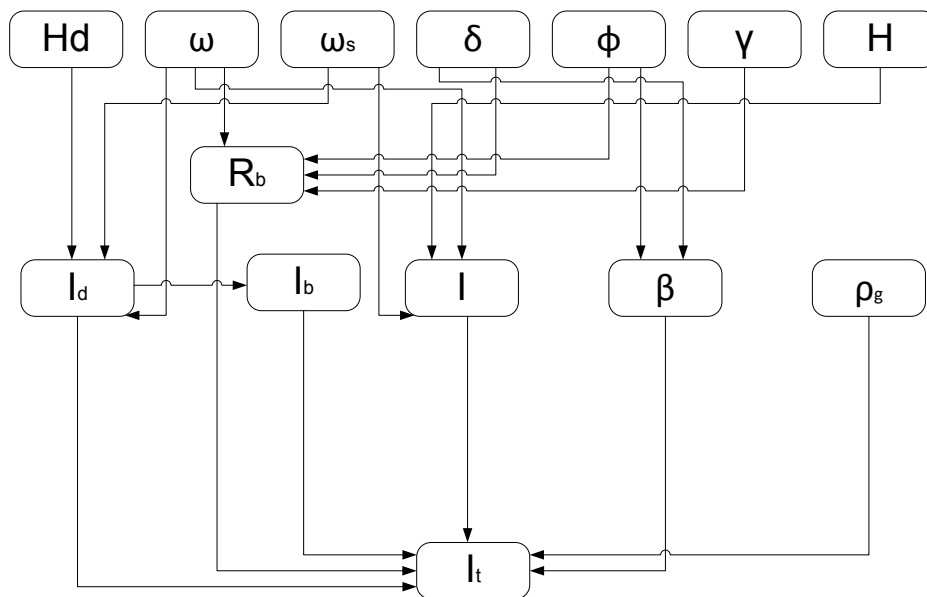


Figur 5-9 Årleg total innstråling på ved ulike program for justering av flatehelninga β

Me ser som forventa at innstrålinga vert høgast for justeringsprogram B, der helninga til flata vert justert ein gong i månaden i samsvar med formel 3.28. Fast montering med helning 19° mot ekvator gjev meir innstråling enn ein horisontal flate. I forhold til innstrålinga på ei horisontal flate, gjev fast montering med 19° helning mot sør 5,3% meir årleg innstråling, medan ein månadleg justering rundt ein aust-vest-akse gjev 11,3% meir innstråling. Sjølv om ein månadleg justering gjev høgast innstråling, vert berekningar i resten av rapporten gjort for fast montering med 19° helning mot sør. Dette fordi det gjev eit enklare system i praksis, og i større grad er standard prosedyre ved system for solenergi.

5.3.3 Tilgjengeleg solenergi: time for time

Ved bruk av formlane angjevne i teoridelen vert det laga eit rekneark som kan estimera time for time innstråling på ei flate med helning β for typiske dagar i årets 12 månader. Dataflyten i reknearket er illustrert i figur 5-10.

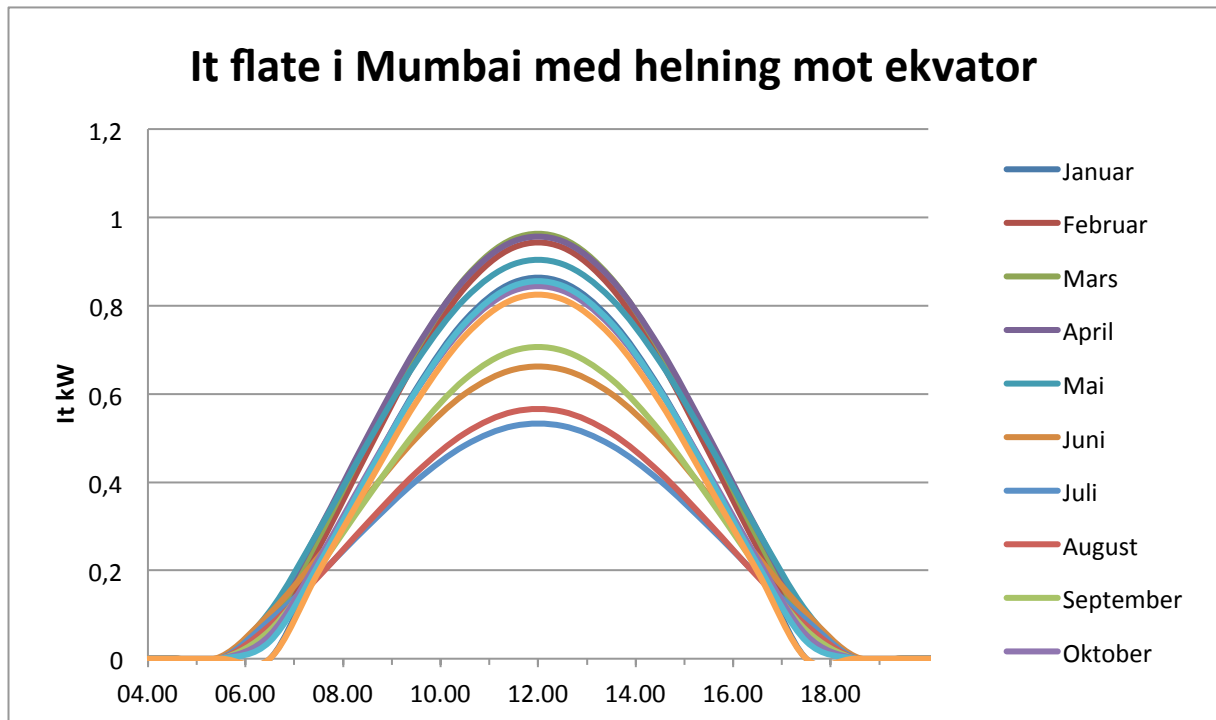


Figur 5-10 Algoritme for å estimera I_t

Ved å bruka \bar{H} som inngangsvariabel i staden for H for ein spesifikk dag får ein eit generelt estimat for I_t for alle timane gjennom ein typisk dag i ein gjeven månad. På denne måten kan ein finna korleis innstrålt energi varierer over døgnet for ei tilta flate for typiske dagar for alle månader i året.

Fordelinga vil, sidan flata er retta sørover, vera symmetrisk om klokka 12 på dagen. Verdiane for I_t vert gjevne for kvar time, midt i timen. Altså 00.30, 01.30, 02.30 osv.

Figur 5-11 syner innstrålt effekt på ei flate som er fast montert med helning 19° mot sør i Mumbai. Grafane er linearisert mellom kvart utrekna datapunkt.



Figur 5-11 Innstrålt effekt over døgnet på ei flate med helning 19° mot sør i Mumbai

5.3.4 Årsvirkningsgrad for solfangarar

Etter kvart skal årsvirkningsgrader for ulike solfangarar, både fast monterte og sporande system, samanliknast. Vanlegvis er årsvirkningsgrad definert med basis i innstråling som faktisk treff flaten. Då vil nemnaren i virkningsgradsbrøken vera ulik for monteringar med ulike helningsvinklar og for solsporande system. For å kunna samanlikna ulike solfangarar på basis av arealbruk vert årsvirkningsgrad heller definert relativt til innstrålinga på ein horisontal flate, uavhengig av om solfangaren er montert horisontalt, med helning, eller vert justert etter sola. Slik vert også helningen og eventuelt sporingssystemet til solfangaren ein del av årsvirkningsgraden. For å ha eit felles samanlikningsgrunnlag med tanke på arealbruk vert årsvirkningsgrad for solfangarar definert som følgjer.

$$\eta_{\text{år}} = \frac{\text{Årleg produsert energi per m}^2 \text{ solfangarflata}}{\text{Årleg innstrålt energi per m}^2 \text{ horisontal flata}} \quad (5.1)$$

5.3.5 Elektrisitet frå solceller

Solcellene vert anteke å produsera elektrisk energi frå all stråling som treff flaten med konstant virkningsgrad 0,10. Ved å multiplisera årleg innstrålt energi på solcellearealet med 0,10 kan ein då finna total årleg elektrisk produksjon.

Årleg innstrålt energi på ei horisontal flate, og årleg innstrålt energi på ei flate med fast montering med helning 19° mot sør er gjeven i figur 5-9. Årsvirkningsgraden til solceller med virkningsgrad 0,10 fast montert med helning 19° mot sør i Mumbai vert då:

$$\eta_{sol-el, \text{ år}} = \frac{0,10 * 2076,25 \text{ kWh/m}^2}{1971,9 \text{ kWh/m}^2} = 10,5\%$$

5.3.6 Termisk energi frå solfangarar

Flatplate- og vakuumsolfangarar

Som forklart i kapittel 3.3.7 så vil ulike typar solfangarar gjeva ulik virkningsgrad avhengig av temperaturar og strålingsforhold. Flatplate- og vakuumsolfangarar kan nyttegjera seg av all strålingsenergien som treff solfangarflaten, både direkte og diffus stråling. Virkningsgraden vil variera noko avhengig av innfallsvinkel, men det vert det sett bort frå i utrekningane i denne rapporten.

For val av solfangar vert det teke utgangspunkt i karakteristikkar basert på testdata. Karakteristikk for 497 solfangarar av ulikt slag er tilgjengeleg på nettsidene til Solar rating and certification corporation (Solar rating and certification corporation 2010).

For uisolert flatplatesolfangar fell valget på "Performance solar – Performance plus". Den har følgande karakteristikk:

$$\eta = 0,861 - 15,45X + I * 0,03X^2$$

Der

$$X = \frac{T_{in} - T_{amb}}{I}$$

Som vist i kapittel 3.3.7.

For isolert flatplatesolfangar fell valget på "Alternate Energy – AE-21", som har følgjande karakteristikk:

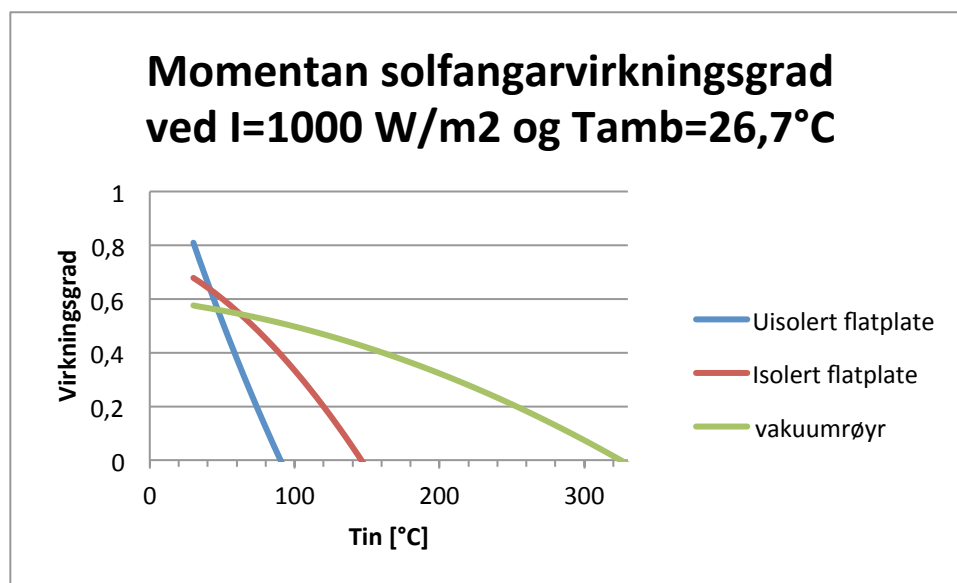
$$\eta = 0,691 - 3,4X - I * 0,02X^2$$

For vakuumsolfangar fell valget på "Ritter Solar Tubular CPC 12 XL INOX" frå Ritter Energie - und Umwelttechnik GmbH & Co. KG. Den har følgande virkningsgradkarakteristikk.

$$\eta = 0,578 - 0,82770X - I * 0,00372X^2$$

Virkningsgradkarakteristikk for alle tre solfangarane er basert på bruttoareal. Sertifiseringskriv for dei tre solfangarane finst i vedlegg J.

I figur 5-12 er momentan-virkningsgraden til dei ulike solfangarane plotta som funksjon av fluidtemperaturen ved innløpet til solfangaren. Omgjevnadstemperatur er satt til 26,65°C og solinnstråling er satt til 1000 W/m².

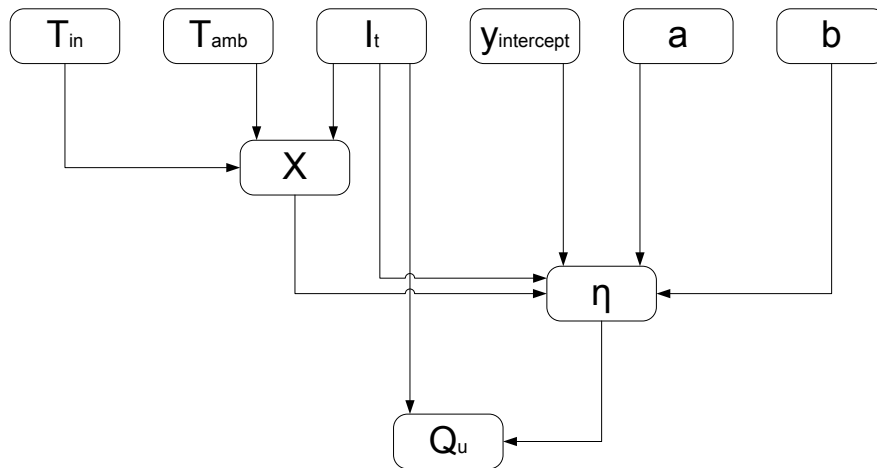


Figur 5-12 Momentan sol-varme-virkningsgrad for ulike typar solfangarar som funksjon av fluidtemperatur

Som me ser så er uisolert flatplate mest effektiv opp til om lag 45°C, der den vert forbigått av isolert flatplate. Frå 60°C og oppover så er vakuumsolfangaren den mest effektive. Figur 5-12 viser virkningsgraden til solfangarane ved konstant innstråling I=1000W/m². I praksis vil innstrålinga variera over året og slik påverka virkningsgraden frå time til time.

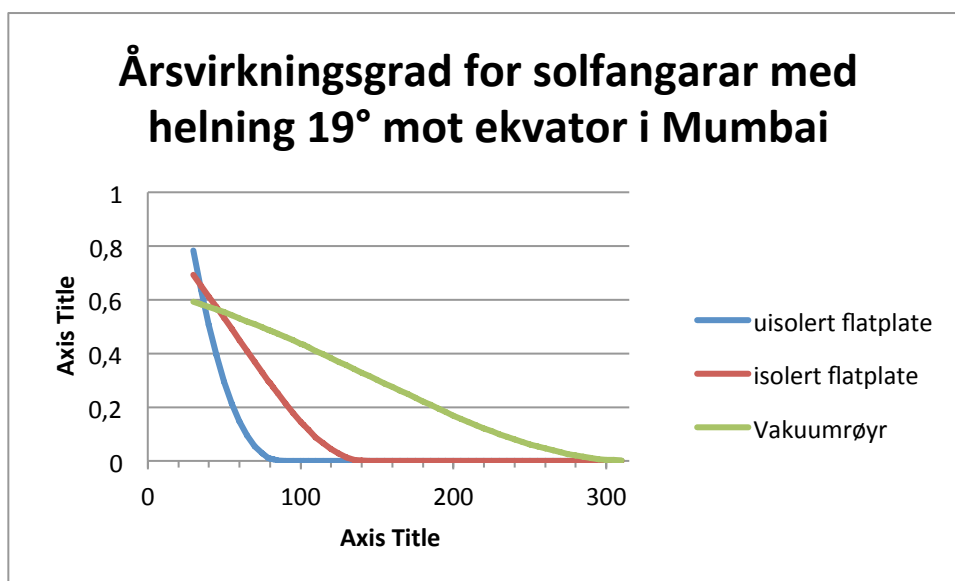
Ved å nytta formlane angjeve i teoridelen med dei gjevne solfangarkarakteristikkane vert det laga eit rekneark i excel som bereknar produsert nyttbar termisk energi, time for time over døgnet på ein

typisk dag for kvar av årets tolv månader. Dataflyten i reknearket er illustrert i figur 5-13. I_t vert henta frå algoritmen illustrert i figur 5-10.



Figur 5-13 Algoritme for å estimera produsert nyttbar termisk energi på grunnlag av innstrålt effekt

Ved liten innstråling og høg temperaturskilnad mellom solfangar og omgjevnadane kan varmetapet verta større enn varmeopptaket. I slike tilfelle vert det rekna at strauminga gjennom solfangaren vert stogga, og at virkningsgraden dermed vert 0 i staden for negativ. Ved hjelp av algoritmen i figur 5-13 vert det estimerast kor mykje termisk energi ein gjeven solfangar kan produsera for kvar time gjennom heile året. Ved addering finn ein då potensiell årleg energiproduksjon frå kvar av dei tre solfangarane. I figur 5-14 er årleg produksjon uttrykt som årsvirkningsgrad. Årsvirkningsgraden er definert som i formel 5.1.



Figur 5-14 Årsvirkningsgrad for ulike typar termiske solfangarar med fast helning 19° mot sør i Mumbai

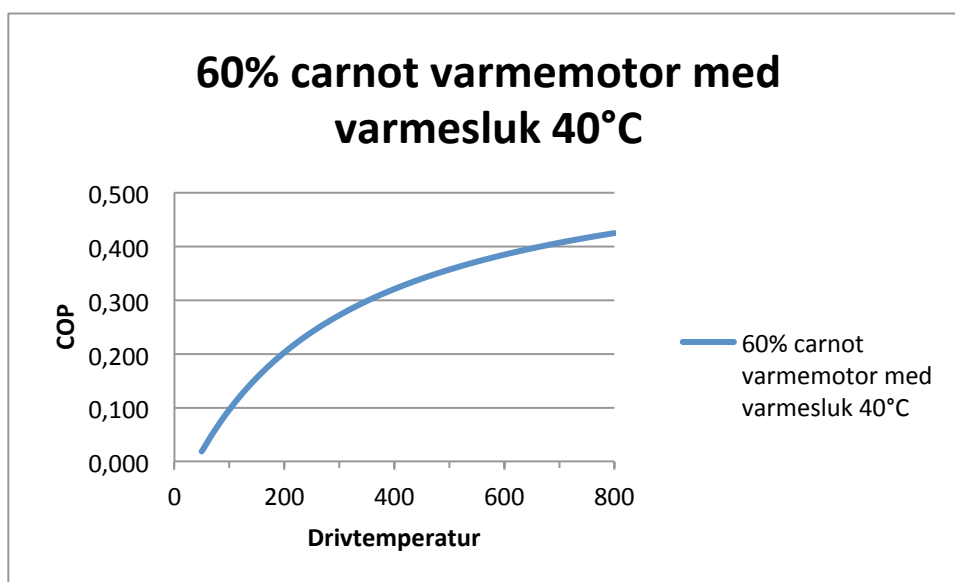
Årleg innstrålt energi på ei horisontal flate i Mumbai er, som synt i figur 5-9, $1971,9\text{kWh/m}^2$. Ved å multiplisera årsvirkningsgraden til ein solfangar ved ein gjeven T_{in} med $1971,9\text{kWh/m}^2$, finn ein altså årleg produsert energi ved eit visst temperaturnivå. Dersom innstrålinga på solfangaren ikkje er høg nok til å produsera energi ved det gjevne temperaturnivå, vert det rekna at solfangaren ikkje produserer i det heile den timen.

5.3.7 Varmemotor

Eit alternativ til produksjon av elektrisitet frå solcellepanel er å nytta termisk energi til å driva ein varmemotor. I dette avsnittet vert virkningsgraden til ein generell varmemotor anslått.

I litteraturstudiet om solkjøling, kapittel 2.5, er det nemnd ein del varmemotorar. Rankine-maskiner som arbeidde med temperaturar $101,7^\circ\text{C}$, 268°C og 516°C hadde 2.lovsvirkningsgrad henholdsvis 58%, 57% og 58%. Kim og Infante Ferreira (Kim and Infante Ferreira 2008) gjorde overslag, der varmemotorar som arbeider med temperaturar 150°C og 200° vart anteke å yta 2.lovsvirkningsgrad henholdsvis 60% og 58%. Stirlingmotorar har, ifølge Kim og Infante Ferreira (Kim and Infante Ferreira 2008), 2.lovsvirkningsgrad mellom 55% og 88%.

Med bakgrunn i ovanfor nemnde litteratur vert det gjort ei forenkling, og anteke at ein varmemotor kan gjera om varmeenergi til mekanisk energi med 60%-carnotvirkningsgrad. Virkningsgrad for varmemotor med 60%-carnotvirkningsgrad og varmesluk på 40°C er vist i figur 5-15.



Figur 5-15 Virkningsgrad for varmemotor med varmesluk 40°C som funksjon av drivtemperatur

Ved drift av dampkompresjonsanlegget frå solfangar + varmemotor, vert det rekna tapsfritt frå mekanisk energi ut frå varmemotoren til mekanisk energi inn på kompressoren. Tap i konvertering frå mekanisk til elektrisk energi, og vice versa, vert altså sett bort frå.

5.4 Samanlikning av systemløysingane på grunnlag av solfangarareal og solfangarkostnader

Ved kombinasjon av solfangarar og kjølemaskiner kan solenergi omdannast til kjøleenergi. Alle teknisk moglege kombinasjonar av kjølerar og solfangarar frå kapittel 5.2 og 5.3 har vorte vurdert, men før det vert gjort ein grundig samanlikning, vert dei minst effektive systema luka ut.

Dampkompresjon fora av elektrisitet frå flatplatesolfangarar + varmemotor er ei teoretisk mogleg løysing. Men ein varmemotor opererer sær ineffektivt sjølv med dei høgast tilgjengelege temperaturane frå flatplatesolfangarar. Sol-kraft-virkningsgrad for varmemotor i kombinasjon med uisolert flatplatesolfangar når maksimalverdi 0,6% ved 55°C, og med isolert flatplatesolfangar vert maksimalvirkningsgraden 2% ved 75°C. Sjølv om dampkompresjon på si side gjev høg el-kjøling-virkningsgrad vil totalvirkningsgraden verta forsvinnande liten. Kraftproduksjon frå flatplatesolfangar + varmemotor vert difor ikkje vurdert vidare.

Av dei termisk drivne systema krev eitt-trinns absorpsjon og ejektorsystema lågast temperatur, då dei kan drivast frå 80°C. Ved 80°C yter den uisolerte flatplatesolfangaren årsvirkningsgrad 0,8%. To-trinns absorpsjon kan drivast frå 130°C. Ved 130°C yter den uisolerte- og den isolerte flatplatesolfangaren virkningsgrader på henholdsvis 0 og 1,4%. Grunna låg eller ingen virkningsgrad vert uisolert flatplatesolfangar ikkje vurdert vidare i det heile. Av same grunn vert isolert flatplatesolfangar ikkje vurdert vidare i kombinasjon med to-trinns absorpsjonskjølar, som er den termisk drivne kjølararen som krev høgast drivtemperatur.

Dei resterande løysingane vert vurdert vidare i neste avsnitt.

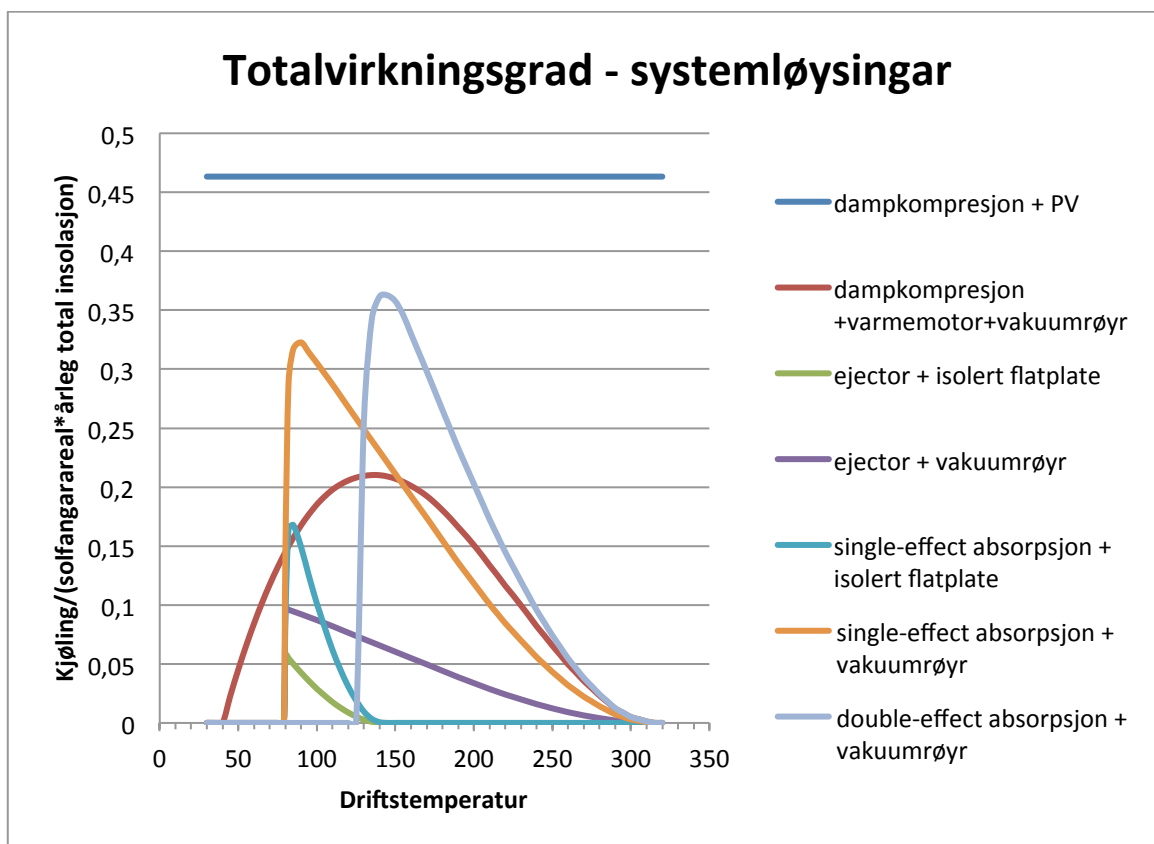
5.4.1 Systemvirkningsgrad

Dei gjenstående systemløysingane er oppsummert i figur 5-16, med totalvirkningsgrad definert som følgjer:

$$\text{Systemvirkningsgrad}_{\text{sol-kjøling}} = \frac{\text{Årleg produsert kjøleenergi}}{\text{Årleg innstråling på horisontal flate} * \text{Solfangarareal}} \quad (5.2)$$

Der produsert kjøleenergi og innstrålinga på horisontal flate er integrert over eit år.

Systemvirkningsgraden er funnen ved å multiplisera årsvirkningsgraden til solfangaren ved ein gjeven temperatur med virkningsgraden til kjølaren ved same driftstemperatur. Det er rekna tapsfritt mellom solfangar og kjølar, altså at temperatur ut frå solfangar = temperatur inn på termisk driven kjølar. Alle solfangarar er montert i fast posisjon med 19° helning mot sør.



Figur 5-16 Total sol-kjøling-årsvirkningsgrad for ulike systemløysingar

Alle kjølesystema fjernar varme frå 0°C og dumpar varme til 35°C. Ved å ganga systemvirkningsgraden med den årlege totale insolasjonen i Mumbai, 1972 kWh/m², får ein årleg kjøleenergi per solfangarareal for dei ulike systemløysingane.

Det fyrste ein ser frå figuren er at eit konvensjonelt dampkompresjonssystem kombinert med solceller er det mest arealeffektive systemet, med systemvirkningsgrad 46%. Deretter kjem vakuumsolfangarar kombinert med eitt-trinns og to-trinns absorpsjon. To-trinns absorpsjon + vakuumsolfangar har maksimal systemvirkningsgrad 36% ved 145°C, og eitt-trinns absorpsjon + vakuumsolfangar når systemvirkningsgrad 32% ved 90°C. Dampkompresjon driven av termisk solkraft frå vakuumsolfangarar og varmemotor når maksimal systemvirkningsgrad 21% ved 135°C. Eitt-trinns absorpsjonskjøling kan drivast med isolerte flatplatesolfangarar med systemvirkningsgrad 17% ved 85°C. Ejektorkjøling kan drivast med både vakuumsolfangarar og isolerte flatplatesolfangarar, med maksimal systemvirkningsgrad henholdsvis 10% og 6% ved 80°C.

5.4.2 Solfangarareal, solfangarkostnader, og kjølerkostnad for dei ulike systemløysingane

Overslagskostnader for ulike typar solfangarar og absorpsjonskjølerar er henta frå Kim og Infante Ferreira (2008), og er oppsummert i tabell 5-4.

Kostnader for solfangarar og kjølemaskiner				
Solfangar	Kostnad [€/m ²]		Kjølar	Kostnad [€/kW _{kjøling}]
Solcellepanel ($\eta=0,1$; €5/W _p)	500		Dampkompresjon	200
Isolert flatplate	250		Eitt-trinns absorpsjon	400
Vakuumsolfangar	550		To-trinns absorpsjon	300

Tabell 5-4 Kostnader for solfangarar og kjølemaskiner

Tabell 5-5 oppsummerer systemløysingar som kan levera 205,2 MWh_{kjøling}/år utelukkande frå solenergi i Mumbai. For kostnad for kjølar er det rekna med kjølekapasitet 56,2kW. (205,2MWh_{kjøling}/år og 56,2kW er henholdsvis kjølebehov og kjøleeffekt for tørka som er dimensjonert i kapittel 5.1). Systemet med dampkompresjon drive av solcellepanel er valgt som referansesystem. For dei ulike systemløysingane gjev Tabell 5-5 fyrst den optimale driftstemperaturen. Dei to påfølgande kolonnene gjev virkningsgraden til kjølar og årsvirkningsgraden (som definert i formel 5.1) til solfangarane ved den gjevne driftstemperaturen, før systemvirkningsgrad (som definert i formel 5.2) for kombinasjonen kjølar og solfangar vert oppgjeven. Systemvirkningsgraden er for kvar systemløysing den same som maksimalverdien til

grafen i figur 5-16, og er lik produktet av dei to føregåande virkningsgradane. Solfangarareal og solfangarkostnad er fyrst oppgjeve som relative verdiar til referansesystemet, før dei vert gjevne som absolutte verdiar. Kostnad for ein kjølar med kjølekapasitet 56,2kW er oppgjeven før total kostnad for kjølar og solfangarar vert slått saman i siste kolonne.

Systemløyningar for solkjøling med kjølekapasitet 56,2kW _{kjøling} med 205,2MWh _{kjøling} /år										
Systemløyning	Driftstemperatur [°C]	Årsvirkningsgrad kjølar	Årsvirkningsgrad solfangar	Systemvirkningsgrad _{sol-kjøling}	Relativt solfangarareal pr. kjøleeffekt	Relativ solfangarkostnad pr. kjøleeffekt	Naudsynt solfangarareal [m ²]	Samla solfangarkostnad [€]	Kostnad for kjølar [€]	Kostnad for solfangar + kjølar [€]
Dampkompressjon + PV	-	4,4	0,11	0,46	1	1	224,59	112 299	11 242	123 541
			0,21 - 0,25 ⁹	0,92 - 1,10	0,42 - 0,50	-	94 - 112			
To-trinns absorpsjon + vakuumsrør	145	1,15	0,32	0,36	1,28	1,41	287	158 342	16 864	175 206
			155	1,20	0,65 - 0,80	0,78 - 0,96	0,48 - 0,59			
Eitt-trinns absorpsjon + vakuumsrør	90	0,7	0,46	0,32	1,43	1,60	321	179 678	22 485	202 163
			90	0,7	0,65 - 0,80	0,46 - 0,56	0,82 - 1,00			
Dampkompressjon + vakuumsrør + varmemotor	135	4,4	0,05 ⁴	0,21	2,19	2,41	492	270 641 ¹⁰	11 242	281 883 ³
Eitt-trinns absorpsjon + isolert flatplate	85	0,67	0,25	0,17	2,71	1,35	609	151 603	22 485	174 088
			90	0,7	0,65 - 0,80	0,46 - 0,56	0,82 - 1,00			
Ejektor + vakuumsrør	80	0,2	0,48	0,10	4,6	5,06	1033	568 233	-	-
Ejektor + isolert flatplate	80	0,2	0,29	0,06	7,67	3,80	1723	426 737	-	-

Tabell 5-5 Oppsummering av solfangarareal, solfangarkostnad og kjølar kostnad for ulike systemløyningar. Skuggelagde celler representerer konsentrerende solfangarar (+ varmemotor i tilefellet med dampkompressjon)

⁹ Årsvirkningsgrad solfangar + varmemotor

¹⁰ Sidan dette systemet krev ein varmemotor mellom solfangar og kjølar er ikkje denne kostnaden direkte samanliknbar med solfangarkostnaden for dei andre systema

Dei skuggelagde cellene i tabellen representerer konsentrerende solfangarar, og vert drøfta i eige avsnitt for seg sjølv. Lat oss fyrst analysere tabellen, utan å trekka inn konsentrerende solkraft.

For alle løysingane ser me at solfangarane utgjer ein mykje større kostnad enn kjølarane. Dei to systema med ejektorkjøling representerer dei to definitivt mest arealkrevjande systema. Med dampkompresjon drive av solceller som referanse, krev ejektorkjøling drive av vakuumsolfangerar 4,6 gonger større solfangarareal, medan ejektorkjøling drive av isolerte flatplatesolfangerar krev 7,7 gonger større solfangarareal. Dette er også dei to systema med høgast solfangarkostnad pr. kjøleeffekt. Ein kan likevel legge merke til at kostnaden for solfangarar i systemet med flatplatesolfangerar vert mindre enn for systemet med vakuumsolfangerar, til tross for eit 67% større solfangarareal. Sidan ejektorsystema både er mest arealkrevjande og har høgast kostnader for solfangarar, vert dei vurdert som ikkje konkurransedyktige systemløysingar.

Av dei resterande systemløysingane er dampkompresjon drive av termisk solkraft frå vakuumsolfangerar+varmemotor det absolutt dyraste alternativet, med 2,4 gonger høgare solfangarkostnad enn for referansesystemet. Kostnad for varmemotor vil koma i tillegg, og med 2,2 gonger høgare solfangarareal enn referansen er det også særskilt arealkrevjande, og slik lite konkurransedyktig.

Ved samanlikning av eitt-trinns og to-trinns absorpsjonsvarmepumpe, der begge er drivne av vakuumsolfangerar, ser me at eitt-trinns systemet krev 12% større solfangarareal og dermed har det også 12% høgare solfangarkostnader enn to-trinns systemet. Også kjølarane er litt dyrare for eitt-trinns systemet. Både solfangarareal, solfangarkostnad og kjølararkostnad er lågare for to-trinnsabsorpsjon enn for eitt-trinns systemet, der begge systema er drivne av vakuumsolfangerar. Det er likevel verdt å leggja merke til ein vesentleg skilnad mellom systema, nemleg driftstemperaturen som for eitt-trinns og to-trinns systemet er henholdsvis 90°C og 145°C. Systemet som krev 12% høgare solfangarareal og –kostnader går altså ved betydeleg lågare temperatur. Det vert ikkje gått i detalj på korleis dette påverkar resten av systemet, men det er truleg at høgare driftstemperatur vil medføre høgare kostnader for røyr og andre komponentar, samt høgare termiske tap i systemet mellom solfangar og kjølar. Kim og Infante Ferreira (2008) anbefalar også generelt låg-temperatur absorpsjonskjøling framfor høg-temperatur absorpsjonskjøling, med grunnlag i kompatibilitet med eksisterande solvarme-system for varmt tappevatn. Termisk energilagring er også truleg meir komplisert for temperaturnivå 145°C enn for 90°C. Desse faktorane vil moglegvis oppvega det litt lågare arealbruket og dei litt lågare kostnadane for kjølar og solfangarar i to-trinns systemet, og trekka i favør av eitt-trinns absorpsjonskjøling i kombinasjon med vakuumsolfangerar.

Eit eitt-trinns absorpsjonssystem kan også drivast av isolerte flatplatesolfangerar. Det vil krevja 90% større solfangarareal enn tilsvarande kjølar driven av vakuumsolfangerar, men grunna mykje rimeligare solfangerar vil den totale solfangarkostnaden likevel verta 16% lågare. Dette systemet har optimal driftstemperatur 85°C. Samanlikna med referansesystemet krev eit slikt system 2,7 gonger større areal og 35% høgare solfangarkostnader.

Dampkompresjon drive av solcellepanel kjem ut som det beste systemet både med tanke på arealbruk, solfangarkostnad og kjølkostnad. For å produsera nok kjøleenergi til ei tørke med konstant kjøleeffekt 56,2kW, som skal gå gjennomsnittleg 10 timar dagleg heile året, krevst det 225m² solceller til ein estimert kostnad €112.299. Kostnaden for ein dampkompresjonskjølar med 56,2kW kjølekapsitet er estimert til €11.242, og samla kostnad for solcellepanel og kjølar vert då €123.541.

Konsentrerende solkraft

Konsentrerende solfangerar kan vera eit alternativ for å gjera solkjølingssystema meir kompakte. Føremona med termiske solfangerar i forhold til flatplate- og vakuumsolfangerar er at der virkningsgraden for sistnemnde går mot null (og vert negativ dersom ein ikkje stoppar fluidgjennomstrauminga) relativt fort etter kvart som driftstemperaturen stig, kan konsentrerende system effektivt produsera termisk energi opp til mange hundre grader celcius. I kombinasjon med absorpsjonskjølarane er det ønskeleg med arealeffektiv produksjon av termisk energi ved 90°C og 155°C for henholdsvis eitt-trinns og to-trinns system, og for dampkompresjonssystemet er det ønskeleg med arealeffektiv elektrisk energiproduksjon frå termisk solkraft. Det vert her gjort overslag over potensiell reduksjon i solfangarareal som følgje av høgare solfangarvirkningsgrad. For konsentrerende solkraft er innfallsvinkel essensielt, og ved høge konsentrasjonsforhold lyt solsporing nyttast. Konsentrerende solkraft kan heller ikkje nyttegjera diffus stråling. Solsporing er ikkje implementert i modellen som er nytta for å finna årsvirkningsgrader for flatplate- og vakuumsolfangerar. Modellen tek heller ikkje hensyn til innfallsvinkel, og er såleis uskikka for å gjera berekningar for konsentrerende solkraft. Overslag for potensialet i konsentrerende solkraft vert difor basert på litteraturstudiet.

Tabell 5-6 syner overslagsmessige verdiar for årsvirkningsgrader for paraboliske trausolfangerar og paraboliske diskolfangerar. Vedlegg K syner korleis årsvirkningsgradar for dei konsentrerende systema er estimert.

Årsvirkningsgrader for konsentrerende solkraft i Mumbai		
	Parabolisk trausolfanger (+Rankine dampsyklus 400°C)	Parabolisk disk (+ Stirlingmotor 750°C)
Termisk energi ved 90°C	65-75%	70-80%
Termisk energi ved 155°C	65-75%	70-80%
Elektrisk energi	21%	25%

Tabell 5-6 Årsvirkningsgrad for konsentrerende solkraft i Mumbai

Overslag for årsvirkningsgrader for konsentrerende solenergisystem er basert på data frå eksisterande solkraftanlegg. For parabolisk trausolfanger er virkningsgraden basert på eit solkraftanlegg med totalt solfangarareal 300 000m², installert effekt 50MW_{el} og årleg kapasitet 113GWh, og som altså er fleire tusen gonger større enn systemet som er tenkt her. Det vert ikkje gått inn på korleis slik nedskalering vil påverka systemvirkningsgraden. For Parabolisk disk har systema som antakelsane er basert på kapasitet i størrelsesorden 9-50kW_{el}, altså liknande størrelsesorden som i vårt tilfelle.

Dei skuggelagde cellene i tabell 5-5 er estimat for virkningsgradar og solfangarareal for konsentrerende system med parabolisk disk eller parabolisk trausolfanger. Det er omtrentlege estimat, og virkningsgradar og solfangarareal er for dei konsentrerende alternativa oppgjevne som eit felles intervall for både disk og trausolfanger-system. Generellt så vil parabolisk disk gjeva høgare virkningsgrad og dermed mindre solfangarareal enn system med trausolfangerar. I tilfellet dampkompresjon vil ein konsentrerende solfangar vera kombinert med med Stirlingmotor (parabolisk disk) eller Rankinemotor (parabolisk trausolfanger) for å produsera elektrisitet.

For systemet med dampkompresjon og solceller kan ein truleg meir enn halvera solfangararealet ved å bytta ut solcellene med konsentrerende solkraft. For to-trinns absorpsjon kan ein også meir enn halvera solfangararealet ved å bytta ut vakuumbørersolfangerane med konsentrerende system. For eitt-trinns absorpsjon kan ein redusera solfangararealet med om lag 1/3 og 2/3 i forhold til henholdsvis vakuumbør- og isolerte flatplatesolfangerar. Det er ikkje gjort noko kostnadsestimat for systema med konsentrerende solfangangerar.

Vifteenergi

I tillegg til kjøling trengst det 16,3kW_{el} til vifta som driv tørkeluftstraumen. Naudsynt solcelleareal for å skaffa nok energi til å driva vifta 10 timar dagleg gjennom året vert då

$$A_{PV} = \frac{16,3kW * 10 \frac{h}{d} * 365 d}{0,105 * 1971,9 kWh/m^2} = 287m^2$$

Til ein kostnad 287m²*500€/m² = 143 500

Eller ved innsetjing av årsvirkningsgrad for konsentrerende solkraft vert dette solfangararealet 144m² for parabolisk traum med varmemotor, eller 121m² for parabolisk disk med Stirling-motor.

5.5 Diskusjon

Ei tørke, basert på ein standard 40-fots isolert container, har vorte dimensjonert med tilhøyrande energiforsyningsystem basert på solenergi. Tørka er dimensjonert for å tørka 5380kg fisk frå 75 – 20% fuktinnhald. Tørkelufta held temperatur 15°C, relativ fuktighet 40% inn på produktet og lufthastighet over produktet skal vera 1,5m/s. Det vert antekt at lufta vert isentalpisk oppfukta til 70% relativ fuktighet før luftkjølaren/fordamparen. For å kondensera ut tilstrekkeleg mengde vatn skal fordamparen ha kjøleeffekt 56,2kW ved fordampingstemperatur 0 grader. Kondensatoren dumpar varme ved 35°C. I tillegg til energi for å driva luftkjølar/luftvarmar, treng vifta 16,3kW for å driva luftstraumen. Det vert gjort berekningar for eit driftsregime der tørka går 10 timar i døgeret og står stille dei resterande 14 timane. Med konstant tørkerate 6,38 g H₂O/s under drift, og ingen tørking når tørka står stille, inneber dette ei tørketid på 161 timar drift + 225 timar stillstand, altså totalt 386 timar, eller om du vil 16,1 døgn.

Som varmepumpande system vert dampkompresjonssystem med R717 ammoniakk som arbeidsmedium, ejektorsystem, samt LiBr-H₂O absorpsjonsvarmepumpe vurdert.

Dampkompresjonskjølaren kan yta virkningsgrad 4,4. Ejektorsystemet vert antekt å kunna yta virkningsgrad 20% ved drivtemperatur 80°C. Absorpsjonsvarmepumpa kan yta virkningsgrad 0,7 med drivtemperatur 90°C i eitt-trinns konfigurasjon, eller virkningsgrad 1,2 med drivtemperatur 155°C i to-trinns konfigurasjon.

For energiforsyning til systema vert hovudsakleg solcellepanel, flatplatesolfangerar og vakuummørørsolfangerar vurdert. Det vert også vurdert å kombinera dei termiske solfangarane med varmemotor for å produsera elektrisk energi. Under klimatiske forhold for Mumbai vert ulike

systemløysingar vurdert med henhold til naudsynt solfangarareal, og solfangarkostnader for å kunna driva tørka gjennomsnittleg 10 timar om dagen, 365 dagar i året med konstant kjøleeffekt 56,2kW. Sidan det vert rekna med tapsfri energilagring over døgnnet er einaste kravet til systemløysingane at dei skal kunne levera 205,2MWh_{kjøling}/år ved 0°C. Energi til å driva vifta i tørka kjem i tillegg.

Kjølarane har litt ulik kostnad, men kostnaden for kjølararen har likevel lite å seie for totalkostnaden då den for dei fleste systema berre utgjer om lag 10% av kostnaden for solfangerar.

Basert på solfangarareal og solfangarkostnad, viser løysingar som involverer ejetorkjøling seg å vera lite konkurransedyktige i forhold dei andre systemløysingane, då ejetorkjølinga ved dei dimensjonerte forhold berre er anteke å yta kjølevirkningsgrad 20% ved drivtemperatur 80°C. Eitt-trinns absorpsjonssystem yter tilsvarande 70% kjølevirkningsgrad med berre 10°C høgare drivtemperatur. Når det er sagt, så er det grunn til å tru at ejetorsystemet kunne ytt betydeleg betre ved eit lågare temperaturløft, men det har ikkje vorte undersøkt i denne rapporten.

Drift av dampkompresjonskjølararen med elektrisk energi frå varmemotor kombinert med vakuumsolfangerar viser seg også å vere både arealkrevjande og dyrt. Virkningsgraden til vakuumsolfangeraren fell med driftstemperatur, medan varmemotoren yter betre ved høgare temperaturar. Ved 135°C yter kombinasjonen best, men det vert berre oppnådd 5% sol-el-virkningsgrad. Både solfangarareal og solfangarkostnader er estimert over dobbelt så store i forhold til same kjølararen drive av solcellepanel. I tillegg kjem kostnad for varmemotoren.

Med vakuumsolfangerar kan ein driva både eitt-trinns og to-trinns absorpsjonskjølarar med samanliknbar systemvirkningsgrad. Løysinga med eitt-trinns absorpsjon inneber 12% høgare areal og kostnader for solfangerar enn to-trinns systemet, men der to-trinns systemet opererer med relativt høge 145°C, går eitt-trinns løysinga ved 90°C, noko som truleg gjev mindre kostnader for andre komponentar i systemet, og mindre tap. Det er grunn til å tru at særskild energilagring er enklare, meir effektivt og billigare ved 90°C. Ei løysing med eitt-trinns absorpsjonskjøling drive av vakuumsolfangerar vil ha solfangarareal og -kostnader henholdsvis 43% og 60% høgare enn for systemet med dampkompresjon og solceller.

Eitt-trinns absorpsjonskjøling drive av isolerte flatplatesolfangerar krev 2,7 gonger større solfangarareal enn dampkompresjon/solceller, men på grunn av billige solfangerar vert det likevel det systemet med nest-lågast solfangarkostnader, med 35% høgare solfangarkostnader enn for dampkompresjon/solceller.

Løysinga med dampkompresjon drive av elektrisitet frå solcellepanel er både billegast og minst arealkrevjande. Dette er hovudsakleg på grunn av at kjølararen yter ein virkningsgrad på heile 4,4. For å

levera 205,2MWh_{kjøling}/år krevst det 225m² solcellepanel til ein total kostnad €112 299. For kjølekapasitet 56,2kW er kjøleren estimert til å kosta €11242.

For alle systema krevst det 16,3kW for å driva vifta i tørka. Dette inneber 287m² ekstra solceller til ein kostnad €143 500

Det er og gjort overslag over naudsynt solfangarareal ved nytting av konsentrerende system med parabolisk traue eller parabolisk disk, eventuelt i kombinasjon med varmemotor for å produsera elektrisitet. For system med dampkompresjon kan ein truleg meir enn halvera solfangararealet ved å nytta konsentrerende solkraft i staden for solceller. For to-trinns absorpsjon kan ein også meir enn halvera solfangararealet ved å nytta konsentrerende system i staden for vakuumsolfangarar. For eitt-trinns absorpsjon kan ein redusera solfangararealet med om lag 1/3 og 2/3 i forhold til henholdsvis vakuumsolfangarar og isolerte flatplatesolfangarar. Det er ikkje gjort kostnadsestimat for systema med konsentrerende solkraft.

Ein type solfangar som ikkje er undersøkt i denne rapporten er såkalla CPC-solfangar (Compound parabolic collector). CPC-kollektorar har konsentrerende eigenskapar, men ikkje i så stor grad at det krevst sol-sporing. Dei kan operera meir effektivt ved høgare temperaturar enn vakuumsolfangarar, og slik truleg gjera to-trinns absorpsjon meir attraktivt. Det er grunn til å tru at eit system med CPC-solfangarar og to-trinns absorpsjon kunne konkurrert med dampkompresjon/solceller.

Samanlikning med Kim og Infante Ferreira (2008)

Kim og Infante Ferreira (Kim and Infante Ferreira 2008) har gjort ein liknande samanlikning av solkjølingsteknologiar, men har kome til litt andre konklusjonar enn det som er gjort her. Basert på solfangarkostnader vert det der funne at både eit-trinns absorpsjon med flatplatesolfangarar, og to-trinns absorpsjon med vakuumsolfangarar gjev lågare solfangarkostnader enn kostnader for solcellepanel til å driva eit konvensjonelt dampkompresjonsanlegg med tilsvarende kjøleytelse. Pris per areal av dei ulike solfangartypene er likt antekne av Kim og Infante Ferreira og underteikna, og antekne virkningsgradar for kjølesystema viser også små avvik mellom rapportane. Hovudårsaken til at konklusjonane er avvikande ser ut til å vera at dei har antekne betydeleg høgare virkningsgradar for både flatplatesolfangarar og vakuumsolfangarar, enn det som er gjort her. Virkningsgradane som er nytta i arbeidet til Kim og Infante Ferreira kan så vidt underteikna forstå berre vera gyldige under standardforhold for testing av solfangarar (typisk 1000W/m²), og kan såleis spegla virkningsgraden midt på dagen med blank sol, eller i system med to-akse-solsporing, men vil vera grovt

overdimensjonerte for årsgjennomsnittlege forhold. Årsvirkningsgradane som er nytta i denne rapporten tek høgde for varierende solinnstråling over døgnet og året. Rangeringa som er gjort av Kim og Infante Ferreira vil difor vera relevant dersom maksimal kjøleeffekt frå systemet er det viktige, medan resultatane her truleg er meir relevante dersom total kjøleenergi gjennom året er det viktige.

5.6 Konklusjon

Ei varmpumpetørke, bygd med utgangspunkt i ein standard isolert 40-fots ISO-container, kan med dei antakelsane som er gjort her tørka 122 tonn (fersk vekt) fisk årleg med tørketemperatur 15°C, relativ luftfuktighet 40%, og 10 timar dagleg drift. For å levera naudsynt kjøleenergi til lufthandteringssystemet i tørka vart ulike teknologiar vurdert, og felles for alle løysingane er at dei baserer seg utelukkande på solenergi. Av dei undersøkte løysingane vert ei konvensjonell elektrisk driven varmpumpe med R717 som arbeidsmedium, kombinert med eit solcellebasert energiforsyningssystem funne å vera den minst kostbare og minst arealkrevjande løysinga. Ved 10 timars drift i døgnet, kan tørka drivast utelukkande frå solenergi frå 512 m² solcellepanel til ein estimert kostnad €255.800. Vifta i tørka står for over halvparten av energibruken. Antakelsar om tilgjengeleg solenergi og andre klimatiske forhold vart gjort med utgangspunkt i Mumbai, India.

Alle andre systemløysingar for anskaffelse av naudsynt kjøleenergi innebar høgare solfangarkostnader og større solfangarareal.

Ejektorkjøling vert, så langt det er undersøkt her, vurdert som ei uaktuell løysing for lufthandtering i ei tørke med tørketemperatur 15°C og kjøling mot omgjevnadstemperatur i Mumbai.

Dampkompresjon kombinert med varmemotor og vakuumpørsolfangarar vil også innebera både uforholdsmessig stort solfangarareal og –kostnader i forhold til alternativa.

Samanlikna med konvensjonell varmpumpe med solcellebasert energiforsyning, vil eit system med eitt-trinns absorpsjonskjøling og isolerte flatplatesolfangerar berre gjeva 35% høgare solfangarkostnader, men kreva nesten 3 gonger større solfangarareal for tilsvarande kjølekapasitet. Av løysingane som er vurdert i denne rapporten, ser vakuumpørsolfangerar i kombinasjon med eitt- eller to-trinns absorpsjonsvarmpumpe ut til å vera dei mest interessante alternativa til dampkompresjon/solceller. To-trinnsløysinga inneber litt mindre solfangarareal og –kostnader, men krev til gjengjeld eit system som tåler 145°C i forhold til eitt-trinnsystemet som går ved 90°C. Høgare temperaturar vil truleg føre til større termiske tap i systemet mellom solfangarar og tørka, samt gjere

det dyrare og meir komplisert med termisk energilagring. Ved nytting av konsentrerende solfangerar kan solfangararealet i fleire av systemløyisingane meir enn halverast.

CPC-vakuumbørersolfangerar (compound parabolic concentrator) har ikkje vorte undersøkt her. Det er grunn til å tru at slike solfangerar i kombinasjon med to-trinns absorpsjonskjøling kan utgjera eit konkurransedyktig alternativ til elektrisk varmpumpe og solcellebasert energiforsyning.

5.7 Forslag til vidareføring av arbeid

Tidsvarierende energitilgang og lagring av energi

Det er i denne rapporten teke utgangspunkt i tapsfri energilagring over dagen. Slik er det rekna at den varierende energitilførselen frå solenergi kan jamnast ut til å dekkja eit konstant effektbehov 10 timar dagleg. Det er openbart at ein slik energilagring ikkje vil vera tapsfri, og det bør gjerast berekningar kring både elektrisk energilagring, og termisk energilagring ved dei ulike temperaturnivå. Det bør også undersøkast korleis tørka eventuelt kan drivast utan energilagring, altså med varierende kjøle- og vifteeffekt.

Adsorbersystem for avfukting av tørkelufta

I denne rapporten vert det rekna at all fukt vert fjerna frå systemet ved kondensering på luftkjølaren. Eit alternativ er å fjerna fukta ved hjelp av eit adsorbersystem. Det bør undersøkast korleis integrering av eit adsorbersystem i tørkekretsen kunne påverka energibruken.

Solfangerar og tilgjengeleg solstråling

Prisar for solfangerar varierer mykje. Solfangarprisane som er nytta i denne rapporten er overslagsmessige kostnader for ulike hovudtypar solfangerar og solcellepanel, henta frå Kim og Infante Ferreira (2008). Det fyrste som bør gjerast for å verifisera/falsifisera den rangeringa som er gjort mellom systemløyisingane er å sjekka solfangarprisar. Ein kan starta med å finna prisane på dei faktiske solfangerane det er gjort berekningar for (sjå vedlegg J), og sjå om dei stemmer med overslagsprisane som er nytta (tabell 5-4).

CPC-vakuumbørersolfangerar er ikkje vurdert i denne rapporten, men kan truleg vere eit interessant alternativ, særskild i kombinasjon med to-trinns absorpsjonsvarmpumpe. Dette bør undersøkast.

Konsentrerende solfangarar er i denne rapporten kun vurdert ut frå arealbruk. Her bør det også gjerast ein økonomisk analyse. Vidare så er virkningsgraden for paraboliske trausolfangarar basert på solkraftsystem som er fleire tusen gonger større enn systemet som er dimensjonert her. Det bør undersøkast kva følgjer ei slik nedskalering vil ha for resten av systemet.

Vidare så bør ein kontrollera berekningane som er gjort kring tilgjengeleg solstråling, ved bruk av datasimulering, t.d. i programmet TRNSYS.

Optimalisering av tørkeprosessen

Optimaliseringa i denne rapporten er fyrst og fremst gjort kring val av solkjølingsteknologi for å levera ei gjeven mengd kjøling, og mindre fokus har vorte via optimalisering av sjølve tørkeprosessen. Andre tidsplanar, tørketemperaturar osv. vil kunne redusera naudsynt kjøleenergi. Vifteenergien står for over halve energibruken i tørkesystemet, og det bør undersøkast korleis denne kan reduserast. Ein kan t.d. vurdere å dela tørketunellen i fleire lag, og slik laga lengre veg for tørkelufta. Dersom produktet vert eksponert for kvar eining tørkeluft i eit lengre tidsrom, kan lufta fuktast meir opp og ein kan få meir tørking pr. massestrøm tørkeluft. Dette vil gjeva mindre vifteeffekt.

Ejektorkjøling og lågare temperaturløft

Ejektorkjøling kom dårlegast ut i samanlikninga av dei undersøkt systemløyningane. Dette er fyrst og fremst grunna antakelse om særst låg virkningsgrad ved det aktuelle temperaturløft (35°C). Det er grunn til å tru at ejektorkjøling kan yta betydeleg høgare virkningsgrad ved lågare temperaturløft. Dette bør undersøkast og vurderast, då den enkle konstruksjonen til eit ejektorsystem inneber fordelar ein gjerne skulle nytta seg av.

Samanlikning med andre løysingar for energiforsyning

Systema som vert vurdert for energiforsyning til tørka vert berre samanlikna med kvarandre, og ikkje mot t.d. elektrisitet frå nettet eller fyring med fossil energi. Kraftforsyning frå solcellepanel vil t.d. neppe vera ei konkurransedyktig løysing på stader med god tilgang på elektrisitet frå nettet. For stader utan tilgang til el-nettet må systema vurderast opp mot t.d. oljefyring. Ein breid samanlikning bør gjerast for å kartlegga om systema er konkurransedyktige, og i så fall i kva tilfelle dei er det. Her bør det også inngå ein økonomisk analyse rundt verdiauken til produktet undervarmepumpetørking kontra varmluftstørking.

6 Referanseliste #1

Referanselista er todelt grunna dataproblem. Det er ikkje noko system for kva referanseliste dei ulike referansane er sortert under. Dersom ein ikkje finn ein referanse i den eine, må ein sjekka den andre.

(2004). Collector catalogue 2004. Rapperswil, Sveits, Institut für solartechnik SPF.

(2011). "The engineering toolbox." Retrieved 09.juni, 2011, from http://www.engineeringtoolbox.com/fans-efficiency-power-consumption-d_197.html.

Alexis, G. and E. Karayiannis (2005). "A solar ejetor cooling system using refrigerant R134a in the Athens area." Renewable energy **30**(9): 1457-1469.

Bal, L. M., S. Satya, et al. (2011). "Review of solar dryers with latent heat storage systems for agricultural products." Renewable and Sustainable Energy Reviews **15**(1): 876-880.

Becker, M., W. Meinecke, et al. (2000). Solar thermal power plants, EUREC-Agency (Prepared for).

Brakmann, G. (2003). Theseus 50MWe Solar thermal power plant for Crete - Europe`s largest solar project. Umweltfreundliche Energieerzeugung in Griechenland. Athen.

Chou, S., K. Chua, et al. (2000). "On the intermittent drying of an agricultural product." Food and bioproducts processing **78**(4): 193-203.

Chou, S. K. and K. J. Chua (2007). Heat pump drying systems. Handbook of industrial drying. A. S. Mujumdar, CRC.

Chunnanond, K. and S. Aphornratana (2004). "Ejektors: applications in refrigeration technology." Renewable and Sustainable Energy Reviews **8**(2): 129-155.

Colak, N. and A. Hepbasli (2009). "A review of heat pump drying: Part 1-Systems, models and studies." Energy Conversion and Management **50**(9): 2180-2186.

Eikevik, T. M. (2011). O. Øygarden.

Ekechukwu, O. V. and B. Norton (1999). "Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology." Energy Conversion and Management **40**(6): 615-655.

Fernández-García, A., E. Zarza, et al. (2010). "Parabolic-trough solar collectors and their applications." Renewable and Sustainable Energy Reviews **14**(7): 1695-1721.

Fudholi, A., K. Sopian, et al. (2010). "Review of solar dryers for agricultural and marine products." Renewable and Sustainable Energy Reviews **14**(1): 1-30.

GCEP (2006). An assessment of solar energy conversion technologies and research opportunities. GCEP energy assessment analysis, Stanford university.

Gomri, R. (2009). "Second law comparison of single effect and double effect vapour absorption refrigeration systems." Energy Conversion and Management **50**(5): 1279-1287.

Heldman, D. R. and D. B. Lund (2007). Handbook of food engineering, CRC.

Henning, H. M. (2007). "Solar assisted air conditioning of buildings-an overview." Applied Thermal Engineering **27**(10): 1734-1749.

Henning, H. M., I. E. A. S. Heating, et al. (2004). Solar-assisted air-conditioning in buildings: a handbook for planners, Springer Austria.

Hundseth, Ø. (2011). O. Øygarden.

Kilic, A. (2009). "Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality." Journal of Food Engineering **91**(1): 173-182.

Kim, D. and C. Infante Ferreira (2008). "Solar refrigeration options-a state-of-the-art review." International journal of refrigeration **31**(1): 3-15.

Kleih, J. (1991). "Dish-Stirling test facility." Solar energy materials **24**(1-4): 231-237.

Molnár, K. (2007). Experimental techniques in drying. Handbook of industrial drying. A. S. Mujumdar, CRC.

Moran, M. J. and H. N. Shapiro (2004). Fundamentals of engineering thermodynamics, Wiley.

Murthy, S. S., R. Balasubramanian, et al. (1991). "Experiments on vapour jet refrigeration system suitable for solar energy applications." Renewable energy **1**(5-6): 757-768.

Nguyen, V., S. Riffat, et al. (2001). "Development of a solar-powered passive ejector cooling system." Applied Thermal Engineering **21**(2): 157-168.

Ordnett.no (2011). Kunnskapsforlagets blå språk- og ordboktjeneste.

Rahman, M. S. (2007). Drying of fish and seafood. Handbook of industrial drying. A. S. Mujumdar, CRC: 547-561.

Sokhansanj, S. and D. S. Jayas (2007). Drying of foodstuffs. Handbook of industrial drying. A. S. Mujumdar, CRC.

Srikhirin, P., S. Aphornratana, et al. (2001). "A review of absorption refrigeration technologies." Renewable and Sustainable Energy Reviews **5**(4): 343-372.

Strumillo, C., P. Jones, et al. (2007). Energy aspects in drying. Handbook of industrial drying. A. S. Mujumdar, CRC.

Strømmen, I. (1980). Tørking av klippfisk. Trondheim, NTH.

Strømmen, I. and K. Kramer (1994). "New applications of heat pumps in drying processes." Drying technology **12**(4): 889-901.

Tierney, M. J. (2007). "Options for solar-assisted refrigeration--Trough collectors and double-effect chillers." Renewable energy **32**(2): 183-199.

Vega-Gálvez, A., M. Miranda, et al. (2011). "Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*)." LWT-Food Science and Technology **44**(1): 16-23.

7 Referanseliste #2

- A.H. Al-Muhtaseb, W. M. (2002). Moisture sorption isotherm characteristics of food products: A review. *Food and bioproducts processing* , 118-128.
- Alves-Filho, O. (2011, februar). (O. Øygarden, Intervjuar)
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2006). *Solar engineering of thermal processes*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hawas, M., & Muneer, T. (1984). Generalized monthly Kt-curves for India. *Energy Conversion Management* , 185-189.
- Heap, R. D. (1988). Design and performance of insulated and refrigerated ISO intermodal containers. *International Journal of Refrigeration* , 137-145.
- Hundseth, Ø. (2011). (O. Øygarden, Intervjuar)
- Hundseth, Ø. (2011). Varmegjenvinning i fryseanlegg med bruk av ejektorsystem.
- Magnussen, O. M., Indergård, E., & Eikevik, T. (2008). *Driftsforhold og energibruk i klippfisketørka ved Olga Godø AS*. Trondheim: Sintef Energiforskning AS.
- Mani A., R. S. (1982). *Solar radiation over India*. Bangalore: Allied publishers private limited.
- Markvart, T. (2000). *Solar Electricity*. John Wiley & Sons, Ltd.
- NASA. (2010, 5 4). *NASA Surface meteorology and Solar Energy: Ground Site Data* . Henta 12 13, 2010 frå NASA Surface meteorology and Solar Energy: <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/ground.cgi?email=>
- Solar Rating and Certification Corporation. (2010, 12 11). *Solar Rating and Certification Corporation*. Henta 12 11, 2010 frå Solar Rating and Certification Corporation: www.solar-rating.org
- Stavros Yanniotis, J. B. (2009). Model analysis of sorption isotherms. *LWT - Food science and technology* , 1688-1695.
- Synergy Enviro Engineers. (2010). *Synergy Enviro Engineers - Tools - Climate Conditions*. Henta 12 13, 2010 frå Synergy Enviro Engineers: http://www.synergyenviron.com/tools/climate_conditions.asp?loc=mumbai
- Synergy Enviro Engineers. (2010). *Synergy Enviro Engineers*. Henta 12 13, 2010 frå Synergy Enviro Engineers - Tools - Solar insolation: http://www.synergyenviron.com/tools/solar_insolation.asp?loc=Mumbai%2CMaharashtra%2CIndia
- wikipedia. (2010). *Wikipedia - Mumbai*. Henta 12 14, 2010 frå Wikipedia: <http://no.wikipedia.org/wiki/Mumbai>

World radiation data center. (u.d.). *World radiation data centre - WRDC database*. Henta 12 13, 2010
frå World radiation data centre : <http://wrdc.mgo.rssi.ru/wrdccgi/protect.exe?wrdc/wrdc.htm>

Vedlegg A - \bar{R}_b som funksjon av $(\Phi-\beta)$ for $\phi=20$

\bar{R}_b er forholdet mellom månedleg gjennomsnittleg direkte (ikkje diffus) døginnstråling på ei horisontal flate, og tilsvarende stråling på ei flate med helning β . Breiddegraden er gjeve ved ϕ .

\bar{R}_b for $\phi=20$												
	jan	feb	mars	april	mai	juni	juli	aug	sept	okt	nov	des
$(\Phi-\beta)=25$	0,9	0,93	0,96	0,99	1,01	1,02	1,02	1	0,97	0,94	0,91	0,89
$(\Phi-\beta)=20$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$(\Phi-\beta)=15$	1,1	1,07	1,03	1	0,98	0,97	0,98	0,99	1,02	1,06	1,09	1,11
$(\Phi-\beta)=10$	1,18	1,13	1,06	1	0,96	0,94	0,94	0,98	1,04	1,1	1,17	1,2
$(\Phi-\beta)=5$	1,26	1,18	1,08	0,99	0,92	0,89	0,91	0,96	1,04	1,14	1,24	1,29
$(\Phi-\beta)=0$	1,33	1,22	1,09	0,97	0,88	0,84	0,86	0,93	1,04	1,17	1,3	1,37
$(\Phi-\beta)=-5$	1,39	1,25	1,09	0,94	0,84	0,8	0,82	0,9	1,03	1,2	1,35	1,44
$(\Phi-\beta)=-10$	1,44	1,27	1,09	0,91	0,79	0,74	0,76	0,86	1,01	1,21	1,39	1,49
$(\Phi-\beta)=-15$	1,48	1,28	1,07	0,87	0,74	0,68	0,7	0,81	0,99	1,21	1,42	1,54
$(\Phi-\beta)=-20$	1,5	1,29	1,05	0,83	0,68	0,61	0,64	0,76	0,96	1,21	1,44	1,57
$(\Phi-\beta)=-25$	1,67	1,38	1,06	0,78	0,6	0,53	0,56	0,7	0,94	1,27	1,59	1,77

Vedlegg B – Månadleg gjennomsnittleg kosmisk døgninnstråling

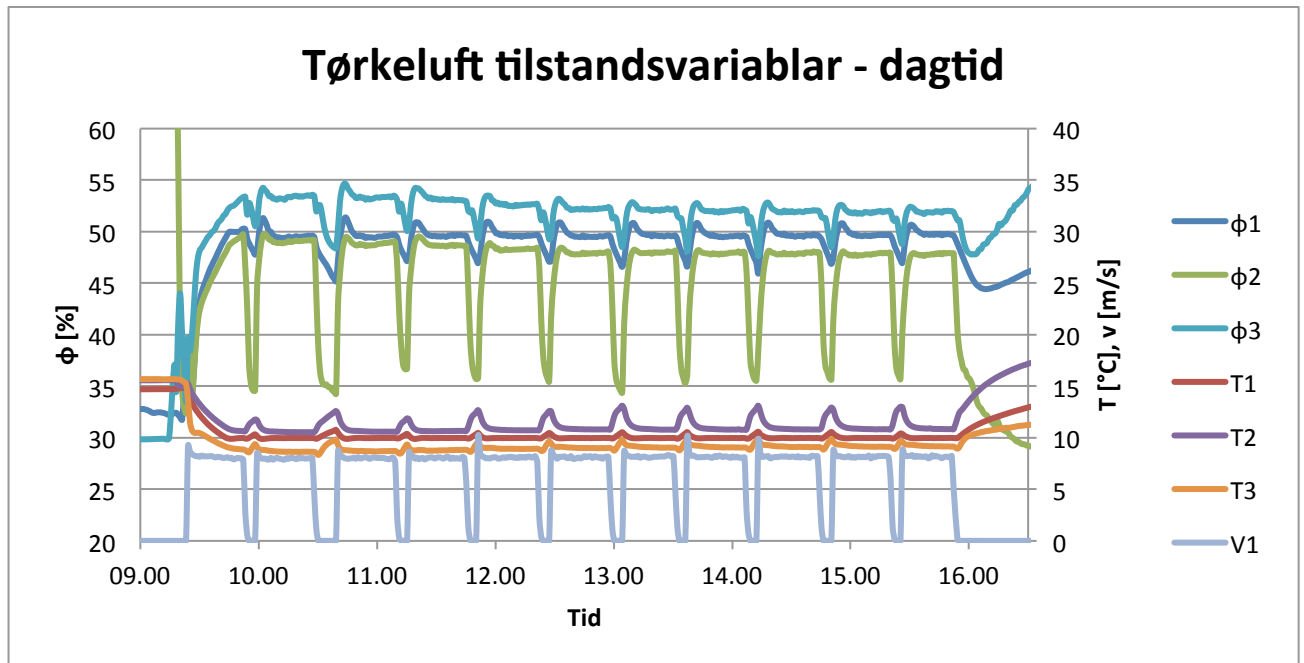
\bar{H}_0 = Månadleg gjennomsnittleg kosmisk døgninnstråling [MJ/m²]

Φ = Breiddegrad

\bar{H}_0 for $\Phi=15$ og $\Phi=20$												
	jan	feb	mars	april	mai	juni	juli	august	sept	okt	nov	des
$\Phi=20$	27,0	30,5	34,7	37,9	39,3	39,5	39,3	38,2	35,6	31,6	27,7	25,8
$\Phi=15$	29,6	32,6	35,9	38,0	38,5	38,4	38,3	38,0	36,4	33,4	30,1	28,5

Vedlegg C – Tilstand tørkeluft

Lufthastighet ved innløpet til tørkekammeret, og temperatur og luftfuktighet tre ulike stader i tørkeluftkretsen vart registrert gjennom heile tørkeforløpet for alle tre eksperimenta. På det meste vart data registrert kvart 10. sekund. Figuren under syner alle registrerte variablar for 1.april, ein typisk dag under eksperiment 1.



Relativ fuktighet og temperatur på tørkelufta er målt tre stader i luftkretsen. Punkt 1 er rett før tørkekammeret, punkt 2 er rett etter tørkekammeret, og punkt 3 er etter luftkjøleren men før luftvarmaren. V1 er lufthastigheten i røyret rett før innløpet til tørkekammeret. Dei tre øverste grafane i figuren refererer til aksene til venstre som gjev relativ fuktighet i %. Dei fire nedste grafane refererer til aksene til høgre som både gjev temperatur i °C, og lufthastighet i m/s. Den nedste grafen er lufthastighet før kammeret, og dei tre neste er lufttemperatur i dei tre ulike målepunkta.

Om lag to gongar i timen vart det gjort målingar. Då vart vifta skrudd av og døra til tørkekammeret opna. Som resultat av dette ser me tydelege sykliske variasjonar i alle variablar. Lufthastigheten fell til 0 m/s som resultat av at vifta vert slått av. Temperaturane aukar og dei relative fuktighetane minkar som resultat av at den varmare og tørrare lufta i laboratoriet sig inn i tørkekammeret og vidare inn i systemet. Det største utslaget i temperatur og relativ fuktighet ser me i målepunkt 2, rett etter tørkekammeret. Målepunkt 3 ligg lenger inn i systemet, og dette er truleg grunnen til den relativt stabile tilstanden der, i forhold til i målepunkt 2. Grunnen til at det er mindre utslag i

målepunkt 1, som ligg like nærme tørkekammeret som punkt 2, er truleg at den perforerte plata i stor grad hindrar blanding av luft oppstrøms i systemet. Etter om lag 5 minutt, når målingane var gjennomført, vart vifta starta att og variablane stabiliserte seg på ønska verdiar.

Lat oss så sjå på dei ulike variablane i den stabile perioden mellom to målingar. Klokka 14:30 den 1. april (sjå figuren over) er representativt for stabil drift av tørka. V1, lufthastigheten i røyret før innløpet til tørkekammeret er 8,2 m/s. Temperaturen og luftfuktigheten i same målepunkt, T1 og ϕ 1, ligg stabilt på henholdsvis 10,0°C og 49,6%. Når tørkelufta har passert gjennom tørkekammeret og kjem til målepunkt 2 så har temperaturen stige til 10,8°C og den relative fuktigheten har sunke til 47,9%. Etter luftkjølaren er temperaturen 9,1°C og den relative luftfuktigheten er 52%.

Det er uunngåeleg å hindra varmetransport inn i systemet. Luftkretsen er isolert, men det er nok likevel betydeleg varmetransport frå omgjevnadane og inn i systemet. Uansett termisk lekkasje, så kunne ein, dersom systemet hadde vore fullstendig lufttett (og dersom målingane hadde vore representative for heile tverrsnittet i strauminga), rekna ut den absolutte fuktigheten i ulike punkt og funne ut kor mykje fukt som vert teke opp frå fisken, og kor mykje som vert kondensert ut i luftkjølaren. I eit hermetisk tett system skulle tørkelufta hatt lågare temperatur og høgare relativ (og absolutt) fuktighet etter å ha passert gjennom tørkekammeret. Ved utrekning av differansen i absolutt fuktighet før og etter tørkekammeret får me vekselvis positive og negative differansar i absolutt fuktighet¹¹. Det er opplagt at det er ein grad av varmelekkasje ulike stader i kretsen. Det er også utettleikar rundt døra i tørkekammeret som vil føra til luftlekkasjar. Det er grunn til å tru at det også er mindre luftlekkasjar andre stader i kretsen.

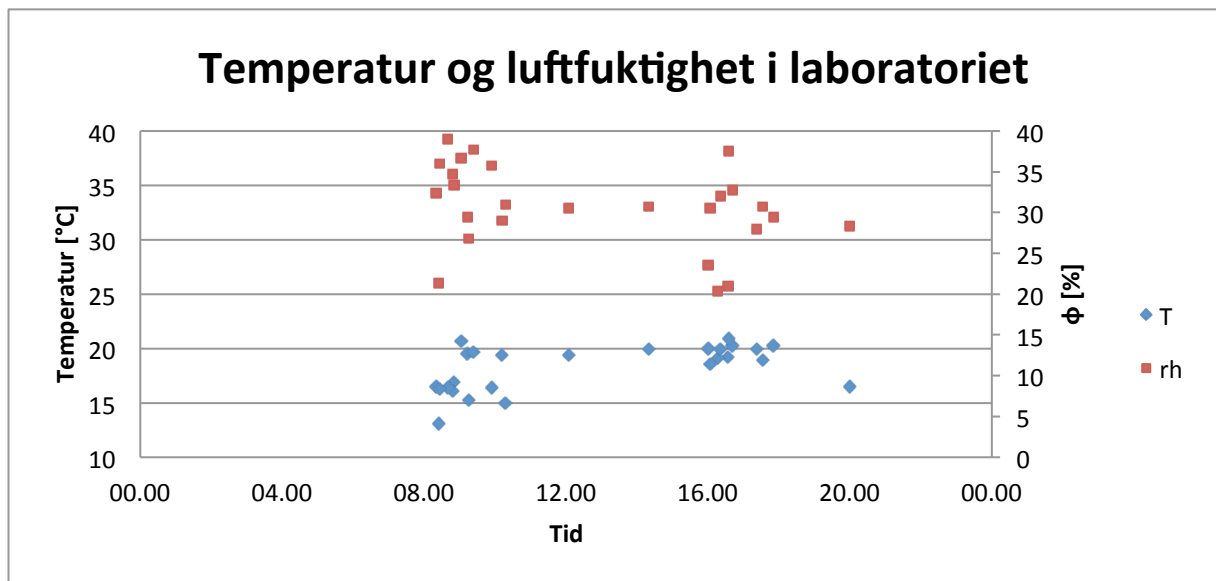
Sjølv om systemet ikkje er perfekt, så gjev det gode og stabile temperaturar og luftfuktigheter som ønska ved innløpet til tørkekammeret. Tilstanden på tørkelufta vert rekna som konstant $T=10^{\circ}\text{C}$ og $\phi=50\%$ for eksperiment 1, og $T=20^{\circ}\text{C}$ og $\phi=26\%$ for eksperiment 2 og 3.

Under utførelsen av dei regelmessige målingane ligg fisken delvis på brettet i tørkekammeret med open kammerdør, og delvis på arbeidsbenken i laboratoriet. I perioden der vifta ikkje går vert det rekna at fisken vert eksponert for omgjevnadslufta i laboratoriet.

¹¹ I utrekning av absolutt fuktighet er det rekna med totalt trykk 101325 Pa over alt i kretsen.

Vedlegg D – Lufttilstand i kvileperiodar

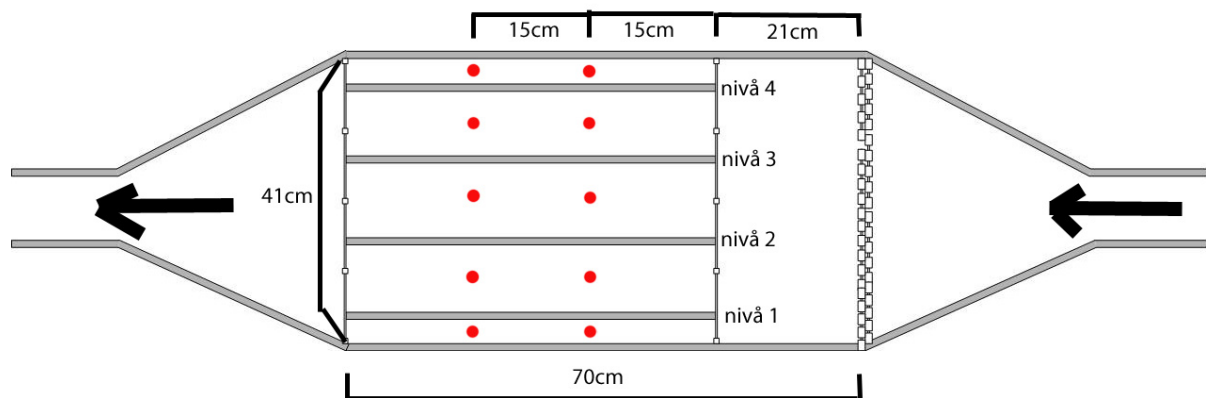
Om natta ligg fiskefiletane på bretta i kammeret, men vifta og resten av tørkesystemet er avslage og kammerdøra er open. Lufta som fisken er eksponert for om natta vert rekna som den same som omgjevnadslufta i laboratoriet. Temperatur og luftfuktighet i laboratoriet vart målt morgon og ettermiddag for dei fleste tørkedagar. Resultata er oppsummert i tabbelen under.



På grunnlag av dette datamaterialet vert det gjort ei forenkling slik at me seier at lufta i laboratoriet ligg konstant på 17°C og $\phi=30\%$

Vedlegg E – Luftstrauming i tørkekammer

Lufthastighetsmålar er plassert i luftrøyret før innløpet til tørkekammeret. Då røyret har mykje mindre tverrsnitt enn kammeret må ein finna ut korleis lufthastigheten i kammeret og lufthastigheten i røyret varierer i forhold til kvarandre. Døra i tørkekammeret vart midlertidig skifta ut med ei kryssfinerplate. I denne plata vart det bora 10 hol på strategiske stader der ein hastighetsmålar kunne stikkast inn. Ved måling gjennom eit hol vart dei resterande 9 hola tildekt med teip.



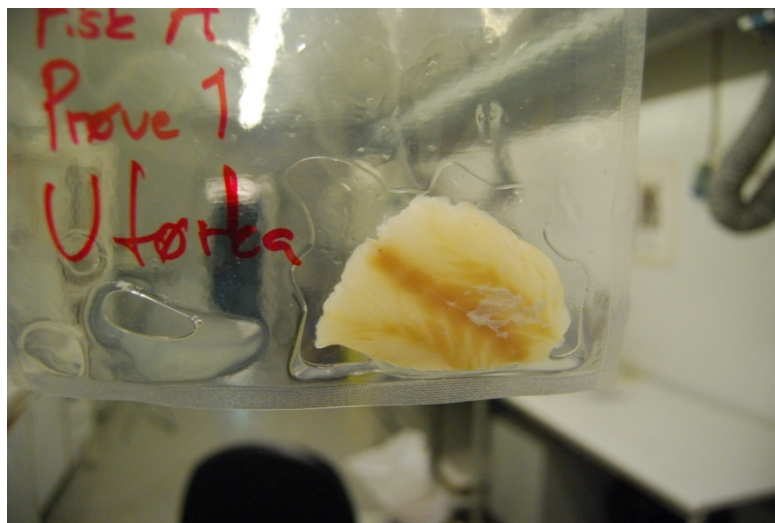
Hastighetsmålingar vart gjort midt mellom alle nivå, mellom nedste nivå og golv, og mellom øverste nivå og tak. Det vart gjort målingar 15cm og 30cm nedstraums på tørkebretta. Målepunkta er markert med raudt i figuren over. Etter å ha eksperimentert litt med ulik forskyving av trykkfallsplatene, vert det funne at strauminga i kammeret er langt frå uniform. Den beste strauminga som vart oppnådd for målsetjinga om lufthastighet 1-2 m/s over produktet er oppsummert i tabellen under. Denne strauminga vart oppnådd med lufthastighet i røyret, V1, lik 8,1m/s.

Luftstrauming i tørkekammer		
	15 cm nedstraums på tørkebrett	30 cm nedstraums på tørkebrett
Nivå 4	1,387 m/s	1,289 m/s
Nivå 3	0,472 m/s	0,74 m/s
Nivå 2	0,725 m/s	0,505 m/s
Nivå 1	2,02 m/s	1,737 m/s
Nivå 0	2,659 m/s	1,563 m/s

Kvar måling er ein gjennomsnittsverdi målt over 60 sekund. Med så stor variasjon i strauminga vert det ekstra viktig å rotera filetane mellom nivåa i kammeret for å oppnå tilnærma like betingelsar over tid. Måling av lufthastighet i kammeret vart gjort med lufthastighetsmålar "kimo AMI 300". Testing av apparatet mot kalibreringsrigg avslørte at den målte jevnt 10% lågare hastighet enn reell hastighet. Dette er teke inn i berekningane i tabellen over.

Snittet av alle verdiane i tabellen over vert 1,3 m/s. Denne verdien nytta som generell lufthastighet i tørkekammeret.

Vedlegg F – Vatn i pose



Vedlegg G – Måling av saltinnhold

”De mottatte prøver av fiskekjøtt ble hakket i hurtig hake. Deretter ble de oppveid og vekten ble notert med 4 desimaler. Fiskeprøvene ble deretter hatt i erlenmeyer kolber og tilsatt 195 ml vann. Erlenmeyer kolbene ble satt på magnetrøring i 45 minutter for røre saltet i fisken ut i vannet. Deretter ble det pipetert 20 ml av fiskeekstraktet over i nye erlenmeyer kolber. Det ble laget 2 paralleller for hver prøve. I tillegg ble det tatt vare på ekstraktet som ble analysert på nytt dagen derpå. Etter at de 20 ml med fiskeekstrakt var titrert over i erlenmeyer kolber ble disse kolbene tilsatt 5ml sølvnitrat og 2,5 ml ferric indikator. Deretter ble denne blandingen filtrert over i atter nye erlenmeyer kolber. De nye silte blandingene fikk deretter tittret inn ammonium thiocyanid til fargen ble en jevn rødlig farge. Ideelt skal fargen være omentrent som på tomat suppe. Blir den rød som husholdningsssaft er det tilsatt for mye ammonium thiocyanid. Det er markert i excel arket der fargen har blitt for sterk. Det ble skrevet ned hvor mye ammonium thiocyanid det ble tilsatt før fargeendringen ble registrert.

For å minimere effekten av eventuelle menneskelige svikt i tittrening ble prøvene først analysert den 07.04 deretter ble ekstraktet som ble laget den 07.04 analysert på nytt den 08.04.

I tillegg ble det laget nye ekstakter fra fiskemasse som var til overs den 08.04 som også ble analysert. Det var desverre fritt for prøve E2Fc så denne ble det bare laget et ekstrakt av.”

Koder i resultattabellen.

E1 Fa	E1 Fb	E1 Fc	E1 Fd	E2 Fa	E2 Fb	E2 Fc	E2 Fd
Eksperiment 1 Fisk a prøve1 28/3 d	Eksperiment 1 Fisk b prøve1 28/3 d	Eksperiment 1 Fisk c prøve1 28/3 d	Eksperiment 1 Fisk d prøve1 28/3 d	Eksperiment 2 Fisk a prøve1	Eksperiment 2 Fisk b prøve1	Eksperiment 2 Fisk c prøve1	Eksperiment 2 Fisk d prøve1

Saltinnholdet som er utregnet er egentlig klorinnhold og er utregnet etter denne formelen.

$$\% \text{ NaCl} = \frac{(\text{ml Ag NO}_3 - \text{ml NH}_4\text{SCN}) * N * 58,45 \text{ g/mole} * 200 \text{ ml} * 100}{\text{g (sample)} * 20 \text{ ml} * 1000}$$

Annalysert 07.04.2011																			
Sample code	weight of sample	Added water.	amount of AgNO3	Amount of NH4SCN	Salt % wekt	Gjennomsnitt %													
E1 Fa	5,2816	200	5	4,7	0,33														
E1 Fa	5,2816	200	5	4,4	0,66														
E1 Fa	5,2816	200	5	5,2	-0,22														
E1 Fa	5,2816	200	5	5,2	-0,22	0,14													
E1 Fb	5,0281	200	5	1,4	4,18														
E1 Fb	5,0281	200	5	1,5	4,07														
E1 Fb	5,0281	200	5	1,2	4,42	4,22													
E1 Fb	5,0281	200	5	-	-														
E1 Fc	4,8821	200	5	5,3	-0,36														
E1 Fc	4,8821	200	5	4,9	0,12														
E1 Fc	4,8821	200	5	5,3	-0,36														
E1 Fc	4,8821	200	5	5,4	-0,48	-0,27													
E1 Fd	5,9803	200	5	2	2,93														
E1 Fd	5,9803	200	5	2,4	2,54														
E1 Fd	5,9803	200	5	2,1	2,83														
E1 Fd	5,9803	200	5	2,7	2,25	2,64													
E2Fa	5,364	200	5	5,1	-0,11														
E2Fa	5,364	200	5	4,8	0,22														
E2Fa	5,364	200	5	5,2	-0,22														
E2Fa	5,364	200	5	5,8	-0,87	-0,25													
E2 Fb	5,6247	200	5	0,5	4,68														
E2 Fb	5,6247	200	5	0,5	4,68														
E2 Fb	5,6247	200	5	0,6	4,57														
E2 Fb	5,6247	200	5	0,5	4,68	4,65													
E2 Fc	4,8554	200	5	4,6	0,48														
E2 Fc	4,8554	200	5	5	0,00														
E2 Fc	4,8554	200	5	4,8	0,24														
E2 Fc	4,8554	200	5	5,2	-0,24	0,12													
E2 Fd	4,9215	200	5	1	4,75														
E2 Fd	4,9215	200	5	1,2	4,51														
E2 Fd	4,9215	200	5	1,4	4,28	4,51													
E2 Fd	5,4337	200	5	-	-														
E3 Fa	5,5918	200	5	4,9	0,10														
E3 Fa	5,5918	200	5	4,6	0,42														
E3 Fa	5,5918	200	5	5	0,00														
E3 Fa	5,5918	200	5	4,9	0,10	0,16	OK snitt for usaltet fisk												
E3 Fb	5,5079	200	5	2,9	2,23														
E3 Fb	5,5079	200	5	3,1	2,02														
E3 Fb	5,5079	200	5	3,1	2,02														
E3 Fb	5,5079	200	5	3	2,12	2,10													
E3 Fc	4,8986	200	5	4,7	0,36														
E3 Fc	4,8986	200	5	5,4	-0,48														
E3 Fc	4,8986	200	5	5,2	-0,24														
E3 Fc	4,8986	200	5	4,9	0,12	-0,06													
E3 Fd	5,7762	200	5	2,9	2,13														
E3 Fd	5,7762	200	5	2,6	2,43														
E3 Fd	5,7762	200	5	2,9	2,13														
E3 Fd	5,7762	200	5	2,7	2,33	2,25													

Vedlegg H – Målinger av vekt og breidde gjennom eksperimenta

Eksperiment 1:

				A	B	C	D						
				Brettvekt	1197,58	1186,5	1193,41	1141,7					
			t=0	Brett + fisk	1650,1	1809	1522,2	1816,7					
			t=0	fisk	452,52	622,5	328,79	675					
				Salt/fersk	fersk	salt	fersk	salt					
				salt%	0,16	4,22	0,16	2,64					
				Initial fukt*	0,803	0,83	0,82	0,824					
			t=0	vatn* [g]	363,37356	516,675	269,6078	556,2					
				tørrestoff* [g]	89,14644	105,825	59,1822	118,8					
				fukt slutt (hale)	0,195	0,253	0,211	0,251					
stopp	start	dato	kl. Stop	kl. Start	brett + fisk	breidde	brett + fisk	breidde	brett + fisk	breidde	brett + fisk	breidde	Plassering i kammer
3.28.11 12:54	3.28.11 12:54	3.28	12:54	12:54	1650,1	88,0	1809	109,0	1522,2	71,0	1816,7	132,0	abcd
3.28.11 13:30	3.28.11 13:35	3.28	13:30	13:35	1644	87,0	1800,9	109,0	1516,3	69,5	1806,6	132,0	bcda
3.28.11 14:05	3.28.11 14:17	3.28	14:05	14:17	1640	85,5	1796,9	109,5	1513,9	69,0	1801,6	132,0	cdab
3.28.11 14:47	3.28.11 14:55	3.28	14:47	14:55	1636,1	85,5	1790,5	109,5	1510,5	69,0	1796,8	132,0	dabc
3.28.11 15:25	3.28.11 15:33	3.28	15:25	15:33	1633	86,5	1785,6	109,0	1506,2	68,5	1791,8	131,5	abcd
3.28.11 16:03	3.28.11 16:12	3.28	16:03	16:12	1629,4	85,5	1781,5	108,0	1503,3	67,0	1785,6	131,5	bcda
3.28.11 16:42	3.28.11 16:50	3.28	16:42	16:50	1625,3	84,5	1777,1	108,0	1500,4	67,5	1780,5	131,5	cdab
3.28.11 17:20	3.28.11 17:28	3.28	17:20	17:28	1622	84,0	1771,3	108,0	1497,5	66,0	1775,9	131,0	dabc
3.28.11 17:58	3.28.11 18:05	3.28	17:58	18:05	1618,9	83,5	1766,9	107,0	1493,8	66,5	1771,2	130,5	abcd
3.28.11 18:35	3.28.11 18:42	3.28	18:35	18:42	1615,8	83,5	1762,8	107,5	1491	66,0	1765,3	131,0	bcda
3.28.11 19:12	3.28.11 19:19	3.28	19:12	19:19	1612,1	83,0	1758,6	107,5	1488,5	66,0	1760,4	130,5	cdab
3.28.11 19:49	3.28.11 19:55	3.28	19:49	19:55	1609,2	82,5	1753,5	107,0	1485,9	65,0	1756,4	130,0	dabc
3.28.11 20:25	3.28.11 20:25	3.28	20:25	20:25	1606,4	82,5	1749,6	107,0	1482,9	65,0	1752,3	130,0	abcd
3.29.11 10:17	3.29.11 10:28	3.29	10:17	10:28	1572,8	82,5	1704,7	106,5	1453,2	64,0	1708,2	130,0	abcd
3.29.11 10:58	3.29.11 11:04	3.29	10:58	11:04	1569,7	82,0	1700,2	106,0	1450,3	63,0	1702	129,0	bcda
3.29.11 11:34	3.29.11 11:37	3.29	11:34	11:37	1566,7	81,5	1696,2	106,0	1448,2	63,0	1697,8	129,0	cdab
3.29.11 11:51	3.29.11 11:57	3.29	11:51	11:57	1565,4	81,5	1694,1	105,5	1447	62,5	1696,1		dabc?
3.29.11 13:01	3.29.11 13:07	3.29	13:01	13:07	1560,5	80,5	1686,5	105,0	1442,3	62,5	1688,3	129,0	abcd?
3.29.11 14:04	3.29.11 14:10	3.29	14:04	14:10	1556,9	79,0	1680,6	104,0	1438,8	62,0	1680,4	127,5	bcda?
3.29.11 15:05	3.29.11 15:05	3.29	15:05	15:05	1552,6	78,5	1674,8	104,0	1435,5	61,5	1673,7	127,5	cdab?
3.29.11 16:14	3.29.11 16:19	3.29	16:14	16:19	1547,9	78,0	1666,6	104,0	1431,8	61,0	1666,4	126,0	dabc?
3.29.11 17:09	3.29.11 17:09	3.29	17:09	17:09	1544,8	78,0	1661	103,0	1428,5	60,0	1660,9	126,0	abcd?
3.30.11 8:10	3.30.11 08:10	3.30	08:10	08:10	1515,6		1619,5		1402,9		1621,6		bcda?
3.30.11 10:40	3.30.11 10:40	3.30	10:40	10:40	1505,3		1605,4		1396,2		1606,1		cdab?
3.30.11 12:00	3.30.11 12:11	3.30	12:00	12:11	1501,1	76,0	1597	100,5	1392,8	60,5	1598,8	125,0	dabc
3.30.11 12:41	3.30.11 12:48	3.30	12:41	12:48	1499,3	76,0	1594,1	100,0	1390,8	60,0	1595,9	125,0	abcd
3.30.11 13:18	3.30.11 13:25	3.30	13:18	13:25	1497,7	76,0	1591,6	100,0	1389,4	60,0	1591,9	124,5	bcda
3.30.11 13:55	3.30.11 14:01	3.30	13:55	14:01	1495,7	75,5	1588,7	99,5	1388,3	59,0	1589	124,0	cdab
3.30.11 14:31	3.30.11 14:38	3.30	14:31	14:38	1493,7	75,5	1585,2	99,5	1386,5	59,0	1586	124,0	dabc
3.30.11 15:10	3.30.11 15:16	3.30	15:10	15:16	1492,1	76,0	1582,3	99,5	1384,9	59,0	1582,8	124,0	abcd
3.30.11 15:46	3.30.11 15:53	3.30	15:46	15:53	1490,4	75,5	1579,3	99,5	1383,7	59,0	1579,4	123,0	bcda
3.30.11 16:23	3.30.11 16:23	3.30	16:23	16:23	1488,4	75,0	1576,8	99,0	1382,5	59,0	1576,6	123,0	cdab
3.31.11 8:35	3.31.11 08:35	3.31	08:35	08:35	1457,7	75,0	1537,9	99,5	1361,4	59,0	1531,1	123,5	cdab
3.31.11 9:05	3.31.11 09:11	3.31	09:05	09:11	1455,8	75,0	1534,6	98,5	1359,8	59,0	1528,4	123,0	dabc
3.31.11 9:41	3.31.11 09:49	3.31	09:41	09:49	1454,5	74,5	1532,3	97,5	1358,2	58,5	1525,8	122,0	abcd
3.31.11 10:19	3.31.11 10:25	3.31	10:19	10:25	1453,2	74,5	1530	97,0	1357	58,0	1522,9	122,0	abcd
3.31.11 10:55	3.31.11 11:01	3.31	10:55	11:01	1451,3	74,5	1527,8	96,5	1356,1	58,0	1520,7	121,5	cdab
3.31.11 11:31	3.31.11 11:38	3.31	11:31	11:38	1450,2	74,0	1524,9	96,0	1354,8	58,0	1518,6	121,5	dabc
3.31.11 12:08	3.31.11 12:12	3.31	12:08	12:12	1448,9	74,5	1522,8	96,5	1353,9	58,0	1516,8	121,0	abcd
3.31.11 13:12	3.31.11 13:16	3.31	13:12	13:16	1446,7	74,5	1519,6	96,5	1352,2	58,5	1512,3	121,0	bcda
3.31.11 13:46	3.31.11 13:52	3.31	13:46	13:52	1445,1	74,5	1517,5	95,5	1351,3	58,0	1510,5	121,0	cdab
3.31.11 14:22	3.31.11 14:27	3.31	14:22	14:27	1444	74,5	1514,9	95,0	1350,1	58,0	1508,5	121,0	dabc
3.31.11 14:57	3.31.11 15:03	3.31	14:57	15:03	1442,9	74,0	1513	95,0	1349,1	58,0	1506,6	121,0	abcd
3.31.11 15:33	3.31.11 15:39	3.31	15:33	15:39	1441,5	74,5	1511,1	95,0	1348	58,0	1504,1	120,5	bcda
3.31.11 16:09	3.31.11 16:09	3.31	16:09	16:09	1440,2	74,5	1509,2	94,5	1347,2	58,0	1502,3	120,5	cdab
4.1.11 9:16	4.1.11 09:23	4.1	09:16	09:23	1412,7	73,5	1474,9	94,5	1328	57,5	1464,7	120,5	cdab
4.1.11 9:53	4.1.11 09:58	4.1	09:53	09:58	1411,3	74,0	1472,2	94,0	1326,9	57,5	1462,4	120,5	dabc?
4.1.11 10:28	4.1.11 10:39	4.1	10:28	10:39	1410,3	74,0	1470,6	94,5	1325,9	57,5	1460,7	120,0	abcd?
4.1.11 11:09	4.1.11 11:15	4.1	11:09	11:15	1408,8	74,0	1468,8	94,5	1325,1	57,5	1458,7	120,0	bcda?
4.1.11 11:45	4.1.11 11:51	4.1	11:45	11:51	1408	73,5	1467,3	94,0	1324,5	57,5	1457,2	119,5	cdab
4.1.11 12:21	4.1.11 12:27	4.1	12:21	12:27	1406,7	73,5	1465,4	93,5	1323,5	57,0	1455,8	119,5	dabc
4.1.11 12:57	4.1.11 13:04	4.1	12:57	13:04	1405,9	73,5	1463,5	93,0	1322,8	57,0	1454,3	119,5	abcd
4.1.11 13:34	4.1.11 13:37	4.1	13:34	13:37	1404,7	73,5	1462,4	93,5	1322,2	57,5	1452,6	119,5	bcda
4.1.11 14:07	4.1.11 14:12	4.1	14:07	14:12	1403,8	73,5	1461	93,0	1321,5	57,0	1451	119,5	cdab
4.1.11 14:43	4.1.11 14:50	4.1	14:43	14:50	1402,8	73,5	1458,9	92,5	1320,8	57,0	1449,5	119,5	dabc
4.1.11 15:20	4.1.11 15:25	4.1	15:20	15:25	1401,8	73,0	1457,7	92,5	1319,8	57,0	1448,5	119,0	abcd
4.1.11 15:52	4.1.11 15:52	4.1	15:52	15:52	1401	73,5	1456,5	92,0	1319,4	56,5	1446,7	119,0	bcda
4.2.11 8:51	4.2.11 08:51	4.2	08:51	08:51	1379,7		1431,4		1304,3		1419		cdab
4.2.11 13:08	4.2.11 13:08	4.2	13:08	13:08	1373,2	72,0	1421	91,5	1300,8	57,0	1410,3	119,0	dabc
4.2.11 16:04	4.2.11 16:04	4.2	16:04	16:04	1369,9	72,0	1415,8	91,0	1298,5	56,0	1405,3	118,0	abcd
4.3.11 8:48	4.3.11 08:48	4.3	08:48	08:48	1353,3	70,5	1395,1	90,5	1288,7	56,0	1385,8	118,0	bcda
4.3.11 17:32	4.3.11 17:32	4.3	17:32	17:32	1344,5		1384,3	89,0	1285,2	56,0	1373,3	118,0	cdab
4.4.11 8:20	4.4.11 08:27	4.4	08:20	08:27	1332,6	70,0	1371,1	87,5	1279,4	54,0	1356,9	117,5	dabc
4.4.11 12:04	4.4.11 00:00	4.4	12:04		1330,4	69,5	1367,9	87,0	1278,5	54,0	1353,3	117,0	

Eksperiment 2:

				A		B		C		D		
				Brettvekt	1197,48		1186,5		1193,34		1141,76	
		t=0		Brett + fisk	1484,6		1733,4		1459		1791,9	
		t=0		fisk	287,12		546,9		265,66		650,14	
				Salt/fersk	fersk		salt		fersk		salt	
				salt%	0,16		4,65		0,16		4,51	
				Initial fukt*	0,795		0,8		0,801		0,8	
		t=0		vatn* [g]	228,2604		437,52		212,79366		520,112	
				tørrestoff* [g]	58,8596		109,38		52,86634		130,028	
				fukt slutt (hale)	0,198		0,27		0,176		0,27	
stopp	start	dato	kl. Stopp	kl. Start	brett + fisk	breidde	brett + fisk	breidde	brett + fisk [g]	breidde	brett + fisk [g]	breidde
4.5.11 09:46	4.5.11 09:46	4.5	09:46	09:46	1484,6		1733,4		1459		1791,9	
4.5.11 10:12	4.5.11 10:12	4.5	10:12	10:12	1481,1	97,4	1731,7	119,1	1457,6	118,4	1789,2	158,1
4.5.11 10:52	4.5.11 11:02	4.5	10:52	11:02	1481,1	96,3	1729,2	115,2	1454,8	113,8	1785,9	158,4
4.5.11 11:32	4.5.11 11:43	4.5	11:32	11:43	1473,6	94,7	1718,2	117,7	1446,6	113,9	1770,7	157,5
4.5.11 12:13	4.5.11 12:22	4.5	12:13	12:22	1465,9	93,0	1707,9	117,6	1440,4	112,8	1759,1	156,1
4.5.11 12:52	4.5.11 13:04	4.5	12:52	13:04	1459,9	92,0	1695,2	116,9	1433,8	111,9	1748,6	156,4
4.5.11 13:34	4.5.11 13:46	4.5	13:34	13:46	1454,5	91,1	1685,4	115,9	1426,8	108,6	1738,1	155,3
4.5.11 14:16	4.5.11 14:30	4.5	14:16	14:30	1449,2	90,0	1676,5	114,4	1421	106,8	1726,3	153,5
4.5.11 15:00	4.5.11 15:10	4.5	15:00	15:10	1443,5	89,4	1667,3	113,0	1415,8	104,8	1716,7	151,9
4.5.11 15:40	4.5.11 15:50	4.5	15:40	15:50	1438,9	88,3	1657,6	111,6	1411,1	103,4	1708,2	150,5
4.5.11 16:20	4.5.11 16:29	4.5	16:20	16:29	1434,9	88,2	1649,5	110,4	1405,9	102,3	1699,8	148,6
4.5.11 16:59	4.5.11 17:09	4.5	16:59	17:09	1430,6	87,5	1642,4	108,8	1401,6	102,2	1690,7	147,4
4.5.11 17:39	4.5.11 17:51	4.5	17:39	17:51	1426,1	87,3	1635,2	107,5	1397,6	101,4	1682,6	146,0
4.6.11 08:45	4.6.11 08:58	4.6	08:45	08:58	1399,8	88,4	1598,5	109,0	1372,3	102,8	1641,5	149,1
4.6.11 09:28	4.6.11 09:38	4.6	09:28	09:38	1395,8	87,0	1589,7	106,9	1367,6	100,4	1633,3	145,4
4.6.11 10:08	4.6.11 10:16	4.6	10:08	10:16	1392,5	85,9	1583,3	105,4	1363,9	99,0	1626,4	142,6
4.6.11 10:46	4.6.11 10:55	4.6	10:46	10:55	1389,5	85,0	1577,6	103,6	1360,5	98,1	1618,9	141,1
4.6.11 11:25	4.6.11 11:35	4.6	11:25	11:35	1386,6	84,4	1572	102,1	1357,6	97,4	1612,7	139,8
4.6.11 12:05	4.6.11 12:14	4.6	12:05	12:14	1383,7	83,9	1566	101,7	1354,8	96,9	1607,2	138,9
4.6.11 12:45	4.6.11 12:57	4.6	12:45	12:57	1380,8	83,5	1560,4	101,1	1351,5	95,9	1601,5	137,7
4.6.11 13:28	4.6.11 13:38	4.6	13:28	13:38	1378,3	83,2	1555,6	100,3	1348,7	95,8	1594,9	137,4
4.6.11 14:08	4.6.11 14:17	4.6	14:08	14:17	1375,6	82,9	1550,8	99,8	1346,4	95,4	1589,6	136,9
4.6.11 14:47	4.6.11 14:57	4.6	14:47	14:57	1373,1	82,8	1546,3	99,6	1344,2	95,1	1585	136,3
4.6.11 15:27	4.6.11 15:36	4.6	15:27	15:36	1371,3	82,5	1541,8	98,9	1341,3	94,9	1580,1	135,8
4.6.11 16:06	4.6.11 16:17	4.6	16:06	16:17	1369	82,3	1537,6	99,0	1339,2	94,6	1575	134,8
4.6.11 16:47	4.6.11 16:47	4.6	16:47	16:47	1366,8	82,2	1533,5	98,5	1337,1	94,0	1570,4	135,5
4.7.11 08:31	4.7.11 08:42	4.7	08:31	08:42	1346,4	81,8	1503,9	101,9	1319,4	93,2	1533,1	138,1
4.7.11 09:12	4.7.11 09:22	4.7	09:12	09:22	1344,1	81,0	1498,3	98,7	1317,2	92,2	1527,9	135,2
4.7.11 09:52	4.7.11 10:01	4.7	09:52	10:01	1342,3	80,7	1494,2	98,5	1314,8	91,5	1523,1	134,1
4.7.11 10:38	4.7.11 10:53	4.7	10:38	10:53	1340,1	80,3	1489,9	97,0	1312,6	91,0	1517,2	133,8
4.7.11 11:23	4.7.11 11:34	4.7	11:23	11:34	1338	80,1	1486,5	96,0	1311,2	90,8	1513	133,1
4.7.11 12:04	4.7.11 12:13	4.7	12:04	12:13	1336,5	79,9	1482,8	95,8	1309,3	90,6	1509,2	132,8
4.7.11 12:43	4.7.11 12:52	4.7	12:43	12:52	1335,1	79,8	1479,8	95,6	1308,8	90,4	1505,2	132,7
4.7.11 13:22	4.7.11 13:30	4.7	13:22	13:30	1333,6	79,6	1477,3	95,4	1306,4	90,0	1501,8	132,5
4.7.11 14:00	4.7.11 14:09	4.7	14:00	14:09	1332	79,5	1474,3	94,9	1305,2	89,7	1498,3	132,4
4.7.11 14:39	4.7.11 14:48	4.7	14:39	14:48	1330,7	79,4	1471,4	95,0	1303,8	89,7	1495,4	132,4
4.7.11 15:18	4.7.11 15:26	4.7	15:18	15:26	1329,3	79,2	1468,5	94,9	1302,5	89,6	1492,1	132,3
4.7.11 15:56	4.7.11 16:04	4.7	15:56	16:04	1328	79,0	1466,2	94,9	1301,4	89,5	1488,7	132,3
4.7.11 16:34	4.7.11 16:43	4.7	16:34	16:43	1326,4	79,0	1463,7	94,8	1300,5	89,5	1485,7	132,1
4.7.11 17:13	4.7.11 17:13	4.7	17:13	17:13	1325,3	79,0	1460,8	94,7	1299,3	89,5	1482,6	132,0
4.8.11 09:56	4.8.11 10:05	4.8	09:56	10:05	1308,7	78,2	1432,7	95,1	1284,3	88,9	1451,3	132,8
4.8.11 10:35	4.8.11 10:44	4.8	10:35	10:44	1307,6	78,0	1430	94,3	1283,4	88,7	1447,8	131,9
4.8.11 11:14	4.8.11 11:22	4.8	11:14	11:22	1306,8	77,8	1427,8	93,9	1282,4	88,8	1444,6	131,8
4.8.11 11:52	4.8.11 12:00	4.8	11:52	12:00	1305,3	77,7	1425,6	93,6	1281,7	88,5	1441,9	131,5
4.8.11 12:34	4.8.11 12:50	4.8	12:34	12:50	1304,6	77,6	1423,2	93,5	1281,1	88,4	1439,2	131,5
4.8.11 13:20	4.8.11 13:29	4.8	13:20	13:29	1303,5	77,5	1421,1	93,5	1280,1	88,4	1436,3	131,4
4.8.11 13:59	4.8.11 14:08	4.8	13:59	14:08	1302,6	77,5	1419,5	93,3	1279,4	88,2	1433,6	131,4
4.8.11 14:52	4.8.11 15:02	4.8	14:52	15:02	1301,6	77,3	1416,8	93,3	1278,7	88,3	1430,5	131,3
4.8.11 16:21	4.8.11 16:21	4.8	16:21	16:21	1300	77,1	1413,1	93,2	1277,1	88,5	1425,5	131,2
4.9.11 09:13	4.9.11 09:13	4.9	09:13	09:13	1288,1	76,3	1390,6	92,5	1268,4	88,5	1399,1	130,8
4.9.11 14:20	4.9.11 14:20	4.9	14:20	14:20	1284,2	75,7	1380,4	91,8	1265,5	87,7	1383,2	129,9
4.10.11 09:23	4.10.11 09:23	4.10	09:23	09:23	1276,8	74,9	1365,6	92,1	1261	86,2	1362,7	129,3
4.10.11 16:35	4.10.11 16:35	4.10	16:35	16:35	1274,2	74,0	1357	91,6	1259,1		1349,8	128,0
4.11.11 08:52	4.11.11 09:01	4.11	08:52	09:01	1271,1		1348,6	90,2	1257,8		1336,8	128,0
4.11.11 09:55	4.11.11 10:04	4.11	09:55	10:04	1270,6		1347,9	89,9	1257,7		1334,9	127,7
4.11.11 10:38	4.11.11 10:45	4.11	10:38	10:45	1270,5		1347,5	89,9	1257,5		1334	127,3
4.11.11 14:37	4.11.11 14:56	4.11	14:37	14:56	1270,2		1345,1	89,6	1257		1329,7	127,0

Ekspériment 3:

				A		B		C		D		
				Brettvekt	1197,48			1186,5		1193,34		1141,76
			t=0	Brett + fisk	1580,1			1801,8		1559,1		1719,4
			t=0	fisk	382,62			615,3		365,76		577,64
				Salt/fersk	fersk			salt		fersk		salt
				Salt%	0,16			2,1		0,16		2,25
				Initial fukt	0,816			0,838		0,827		0,829
			t=0	vatn* [g]	312,21792			515,6214		302,48352		478,86356
				tørstoff* [g]	70,40208			99,6786		63,27648		98,77644
				fukt slutt (hale)	0,209			0,465		0,201		0,412
stopp	start	dato	kl. Stopp	kl. Start	brett + fisk	breidde	brett + fisk	breidde	brett + fisk	breidde	brett + fisk	breidde
4.26.11 11:48	4.26.11 12:05	4.26	11:48	12:05	1580,1	127,7	1801,8	95,6	1559,1	136,5	1719,4	96,6
4.26.11 13:20	4.26.11 13:30	4.26	13:20	13:30	1559,9	124,8	1779,3	95,4	1537,6	134,5	1692,4	94,3
4.26.11 14:16	4.26.11 14:26	4.26	14:16	14:26	1547,5	122,1	1765,6	93,9	1526,8	133,2	1679	93,4
4.26.11 15:01	4.26.11 15:09	4.26	15:01	15:09	1539,8	120,0	1753,7	92,2	1518,1	131,5	1670	91,8
4.27.11 09:43	4.27.11 09:51	4.27	09:43	09:51	1417,4	108,6	1580,1	86,1	1377,6	126,8	1502,9	88,9
4.27.11 11:58	4.27.11 12:06	4.27	11:58	12:06	1407,9	108,0	1567,2	85,9	1368,7	126,8	1489,1	89,0
4.27.11 13:44	4.27.11 13:52	4.27	13:44	13:52	1400,5	107,3	1557	86,0	1362,5	126,7	1479,1	89,0
4.27.11 15:14	4.27.11 15:21	4.27	15:14	15:21	1395,1	106,9	1548,5	85,9	1357,4	126,5	1471,5	88,9
4.27.11 15:56	4.27.11 16:03	4.27	15:56	16:03	1392,7	106,3	1544,9	85,9	1354,9	126,4	1468	88,8
4.28.11 10:31	4.28.11 10:40	4.28	10:31	10:40	1345,1	104,6	1466,6	85,5	1311,2	125,4	1390	88,5
4.28.11 12:13	4.28.11 12:21	4.28	12:13	12:21	1342	104,5	1461	85,6	1308,5	125,2	1384,9	88,5
4.28.11 13:23	4.28.11 13:30	4.28	13:23	13:30	1340	104,5	1456,9	85,5	1306,5	125,2	1381,5	88,4
4.28.11 14:45	4.28.11 14:53	4.28	14:45	14:53	1337,7	104,3	1452,6	85,5	1304,6	125,0	1377,6	88,3
4.28.11 15:55	4.28.11 16:03	4.28	15:55	16:03	1336	104,1	1449	85,4	1303,1	124,9	1374,2	88,3
4.29.11 15:06	4.29.11 15:06	4.29	15:06	15:06	1309	102,7	1394,3	84,8	1281,4	123,5	1326	88,0


Vedlegg I – Gjennomsnittsdag for kvar av årets månader

Gjennomsnittleg dag i månaden, som anbefalt av Klein (1977)

Månad	Gjennomsnittleg dag i månaden
Jan	17
Feb	47
Mars	75
April	105
Mai	135
Juni	162
Juli	198
Aug	228
Sept	258
Okt	288
Nov	318
Des	344

Vedlegg J – Sertifiseringskriv solfangarar

Uisolert flatplatesolfangar: Performance solar – performace plus

SOLAR COLLECTOR CERTIFICATION AND RATING  SRCC OG-100	CERTIFIED SOLAR COLLECTOR SUPPLIER: Performance Solar 480 Corporate Drive Escondido, CA 92029 USA MODEL: Performance Plus COLLECTOR TYPE: Unglazed Flat-Plate CERTIFICATION#: 2007012A
---	---

ALL SIZES OF THIS COLLECTOR MODEL ARE CERTIFIED

COLLECTOR THERMAL PERFORMANCE RATING							
Megajoules Per Square Meter Per Day				Thousands of BTU Per Square Foot Per Day			
CATEGORY (Ti-Ta)	CLEAR DAY	MILDLY CLOUDY	CLOUDY DAY	CATEGORY (Ti-Ta)	CLEAR DAY	MILDLY CLOUDY	CLOUDY DAY
A (-5 °C)	21.0	16.4	11.8	A (-9 °F)	1.9	1.4	1.0
B (5 °C)	15.1	10.6	6.1	B (9 °F)	1.3	0.9	0.5
C (20 °C)	8.0	4.0	0.7	C (36 °F)	0.7	0.4	0.1
D (50 °C)	0.1	0.0	0.0	D (90 °F)	0.0	0.0	0
E (80 °C)	0.0	0.0	0.0	E (144 °F)	0.0	0.0	0.0

A- Pool Heating (Warm Climate) B- Pool Heating (Cool Climate) C- Water Heating (Warm Climate) D- Water Heating (Cool Climate) E- Air Conditioning

Original Certification Date: 01-JUN-07

COLLECTOR SPECIFICATIONS

Gross Area:	4.408 m ²	47.44 ft ²	Net Aperture Area:	4.41 m ²	47.44 ft ²
Dry Weight:	9.1 kg	20. lb	Fluid Capacity:	18.9 liter	5.0 gal
Test Pressure:	465. KPa	67. psig			

COLLECTOR MATERIALS

Frame:	None
Cover (Outer):	None
Cover (Inner):	None

Pressure Drop

Flow		ΔP	
ml/s	gpm	Pa	in H ₂ O
150.00	2.38	3677.00	14.78
250.00	3.96	9305.0	37.4
350.00	5.55	176596.00	709.74

Absorber Material:	Tube - UV Stabilized Plastic Polymer / Plate - None	Insulation Side:	None
Absorber Coating:	None	Insulation Back:	None

TECHNICAL INFORMATION


Efficiency Equation [NOTE: Based on gross area and (P)=Ti-Ta]	Y INTERCEPT	SLOPE
SI Units: $\eta = 0.861 - 15.44910 (P)/l + 0.02664 (P)^2/l$	0.863	-14.843 W/m ² ·°C
IP Units: $\eta = 0.861 - 2.72136 (P)/l + 0.00261 (P)^2/l$	0.863	-2.615 Btu/hr.ft ² ·°F
Incident Angle Modifier [(S)=1/cosθ - 1, 0°<θ<=60°]	Model Tested:	100-2005-011A
Kτα = 1 -0.141 (S) + 0.023 (S) ²	Test Fluid:	Water
Kτα = 1 -0.11 (S) Linear Fit	Test Flow Rate:	70.1 ml/s.m ² 0.1033 gpm/ft ²

REMARKS: Tests conducted outdoors.

June, 2011

Certification must be renewed annually, For current status contact:
SOLAR RATING & CERTIFICATION CORPORATION

Isolert flatplatesolfangar: Alternate Energy – AE21

SOLAR COLLECTOR CERTIFICATION AND RATING  SRCC OG-100	CERTIFIED SOLAR COLLECTOR SUPPLIER: Alternate Energy Technologies 1057 N. Ellis Road Jacksonville, FL 32254 USA MODEL: Alternate Energy AE-21 COLLECTOR TYPE: Glazed Flat-Plate CERTIFICATION#: 2002001A
---	---

COLLECTOR THERMAL PERFORMANCE RATING							
Megajoules Per Panel Per Day				Thousands of BTU Per Panel Per Day			
CATEGORY (Ti-Ta)	CLEAR DAY	MILDLY CLOUDY	CLOUDY DAY	CATEGORY (Ti-Ta)	CLEAR DAY	MILDLY CLOUDY	CLOUDY DAY
A (-5 °C)	28.6	21.6	14.7	A (-9 °F)	27.1	20.5	13.9
B (5 °C)	26.0	19.0	12.1	B (9 °F)	24.7	18.0	11.4
C (20 °C)	21.8	14.9	8.1	C (36 °F)	20.7	14.2	7.7
D (50 °C)	13.1	6.9	1.5	D (90 °F)	12.4	6.6	1.5
E (80 °C)	5.1	0.7	0.0	E (144 °F)	4.8	0.7	0.0

A- Pool Heating (Warm Climate) B- Pool Heating (Cool Climate) C- Water Heating (Warm Climate) D- Water Heating (Cool Climate) E- Air Conditioning

Original Certification Date: 22-NOV-02

COLLECTOR SPECIFICATIONS

Gross Area: 1.931 m² 20.78 ft² Net Aperture Area: 1.78 m² 19.20 ft²
 Dry Weight: 33.6 kg 74. lb Fluid Capacity: 3.0 liter 0.8 gal
 Test Pressure: 1103. KPa 160. psig

COLLECTOR MATERIALS

Frame: Anodized Aluminum
 Cover (Outer): Low Iron Tempered Glass
 Cover (Inner): None

Pressure Drop

Flow		ΔP	
ml/s	gpm	Pa	in H ₂ O
20.00	0.32	18.00	0.07
50.00	0.79	116.0	0.5
80.00	1.27	301.00	1.21

Absorber Material: Tube - Copper / Plate - Copper Fin Insulation Side: Polyisocyanurate
 Absorber Coating: Selective Coating Insulation Back: Polyisocyanurate

TECHNICAL INFORMATION


Efficiency Equation [NOTE: Based on gross area and (P)=Ti-Ta] Y INTERCEPT SLOPE
 SI Units: $\eta = 0.691 - 3.39600 (P)/l - 0.01968 (P)^2/l$ 0.706 -4.910 W/m²·°C
 IP Units: $\eta = 0.691 - 0.59821 (P)/l - 0.00193 (P)^2/l$ 0.706 -0.865 Btu/hr.ft²·°F
 Incident Angle Modifier [(S)=1/cosθ - 1, 0°<θ<=60°] Model Tested: AE-21
 K_{τα} = 1 -0.194 (S) -0.006 (S)² Test Fluid: Water
 K_{τα} = 1 -0.20 (S) Linear Fit Test Flow Rate: 20.1 ml/s.m² 0.0296 gpm/ft²

REMARKS:

June, 2011
 Certification must be renewed annually, For current status contact:
 SOLAR RATING & CERTIFICATION CORPORATION
 c/o FSEC ♦ 1679 Clearlake Road ♦ Cocoa, FL 32922 ♦ (321) 638-1537 ♦ Fax (321) 638-1010

Vakuumpörýrsolfangar:

Ritter Energie – und Umwelttechnik GmbH & Co. KG – Ritter solar CPC 12 XL INOX

<p>SOLAR COLLECTOR CERTIFICATION AND RATING</p>  <p>SRCC OG-100</p>	<p>CERTIFIED SOLAR COLLECTOR</p> <p>SUPPLIER: Ritter Energie - und Umwelttechnik GmbH & Co. KG Kuchenaecker 2 Dettenhausen, D-72135 Germany</p> <p>MODEL: Ritter Solar CPC 12 XL INOX</p> <p>COLLECTOR TYPE: Tubular</p> <p>CERTIFICATION#: 2008010D</p>
---	---

COLLECTOR THERMAL PERFORMANCE RATING							
Megajoules Per Panel Per Day				Thousands of BTU Per Panel Per Day			
CATEGORY (Ti-Ta)	CLEAR DAY	MILDLY CLOUDY	CLOUDY DAY	CATEGORY (Ti-Ta)	CLEAR DAY	MILDLY CLOUDY	CLOUDY DAY
A (-5 °C)	36.4	27.3	18.3	A (-9 °F)	34.5	25.9	17.4
B (5 °C)	35.4	26.4	17.4	B (9 °F)	33.6	25.0	16.5
C (20 °C)	33.9	24.9	15.9	C (36 °F)	32.1	23.6	15.0
D (50 °C)	30.3	21.5	12.6	D (90 °F)	28.8	20.3	11.9
E (80 °C)	26.7	17.8	8.9	E (144 °F)	25.3	16.9	8.5

A- Pool Heating (Warm Climate) B- Pool Heating (Cool Climate) C- Water Heating (Warm Climate) D- Water Heating (Cool Climate) E- Air Conditioning

Original Certification Date: 25-NOV-09

COLLECTOR SPECIFICATIONS

Gross Area:	2.848 m ²	30.66 ft ²	Net Aperture Area:	2.58 m ²	27.80 ft ²
Dry Weight:	41.3 kg	91. lb	Fluid Capacity:	2.1 liter	0.6 gal
Test Pressure:	1103. KPa	160. psig			

COLLECTOR MATERIALS

Frame: Aluminum
Cover (Outer): Glass Vacuum Tube
Cover (Inner):

Pressure Drop

Flow		ΔP	
ml/s	gpm	Pa	in H ₂ O

Absorber Material: Tube - Stainless Steel / Plate - Aluminum

Insulation Side: Vacuum

Absorber Coating: Aluminum Nitride

Insulation Back:

TECHNICAL INFORMATION

Efficiency Equation [NOTE: Based on gross area and (P)=Ti-Ta]	Y INTERCEPT	SLOPE
SI Units: $\eta = 0.578 - 0.82770 (P)/l - 0.00372 (P)^2/l$	0.580	-1.050 W/m ² .°C
IP Units: $\eta = 0.578 - 0.14580 (P)/l - 0.00036 (P)^2/l$	0.580	-0.185 Btu/hr.ft ² .°F
Incident Angle Modifier [(S)=1/cosθ - 1, 0°<θ<=60°]	Model Tested:	CPC 30 Star Azzurro
K _{rα} = 1 -0.076 (S) 0.212 (S) ²	Test Fluid:	Water
K _{rα} = 1 -0.14 (S) Linear Fit	Test Flow Rate:	23.2 ml/s.m ² 0.0341 gpm/ft ²

REMARKS: Collector tested with long axis of tubes oriented north-south. IAM perpendicular to the tubes is listed above. IAM parallel to the tubes = 1.0 - 0.13(S)

June, 2011

Certification must be renewed annually, For current status contact:

Vedlegg K – Konsentrerende solfangarar

Parabolske trausolfangerar

I litteraturstudie vart det presentert eit solkraftverk basert på parabolske trausolfangerar på Kreta under årleg DNI 2400 kWh/m². 560 solfangarar med totalt solfangarareal 300000m² gav ein årleg elektrisitetsproduksjon lik 113GWh. Olja held 400°C ut frå solfangarane, og varme-kraft virkningsgraden er oppgjeven til om lag 35%.

Dette gjev ein årsvirkningsgrad basert på DNI som følger.

$$\eta_{DNI\ sol-el,\text{år}} = \frac{\text{Årleg produsert energi per m}^2 \text{ solfangar}}{\text{Årleg DNI}} = \frac{\frac{113 * 10^6 \text{ kWh}}{300000 \text{ m}^2}}{2400 \text{ kWh/m}^2} = 0,17$$

Det vert antekje at eit tilsvarande system kan yta same virkningsgrad i Mumbai, men sidan denne virkningsgraden er basert på DIN, og årsvirkningsgradane for dei andre solfangarane er basert på årleg global innstråling på ei horisontal flate, er dei ikkje direkte samanliknbare. For å gjera virkningsgradane samanliknbare vert DNI-virkningsgraden konvertert som følger.

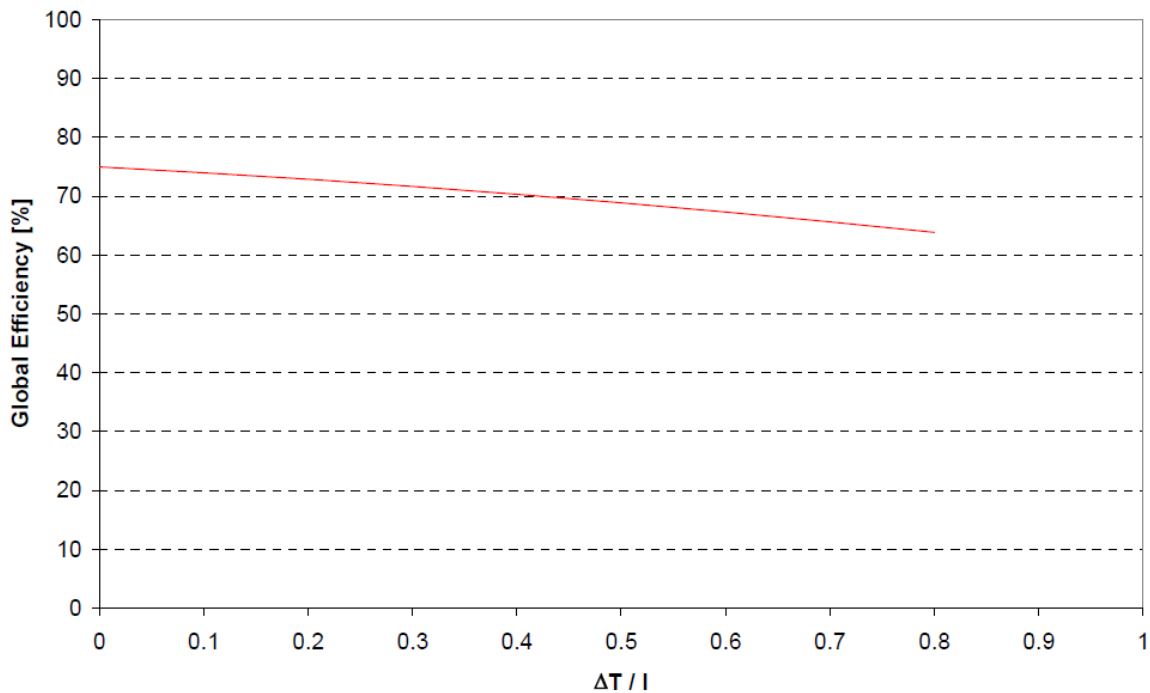
$$\eta_{sol-el,\text{år}} = \frac{\eta_{DNI\ sol-el,\text{år}} * \text{årleg DNI}}{\text{Årleg innstrålt energi per m}^2 \text{ horisontal flate}}$$

Som oppgjeve i kapittel 5.3.1 er årleg DNI i Mumbai 2493 kWh/m², medan årleg total innstråling på ei horisontal flate er 1972kWh/m².

$$\eta_{sol-el,\text{år}} = \frac{0,17 * 2493 \text{ kWh/m}^2}{1972 \text{ kWh/m}^2} = 0,21$$

Sidan den årlege varme-kraft virkningsgraden er oppgjeven til 35%, vert årleg sol-varme- virkningsgrad $0,21/0,35=0,6$ ved 400°C . Dette er mykje høgare temperatur enn ønskeleg for å driva absorpsjonskjølarane, og høgare virkningsgrad skal vera mogleg ved lågare driftstemperaturar.

Figuren under gjev momentan virkningsgrad for trausolfangarmodellen "Skal-ET" frå Flagsol GmbH.



ΔT er skilnaden mellom absorbertemperatur og omgjevnadstemperatur. Når $\Delta T=0$ er det ingen termiske tap i absorberen og trausolfangaren som er representert med denne virkningsgradskarakteristikken når maksimal virkningsgrad 75%.

Det vert herifrå antekje at eit system med trausolfangerar kan levera varme ved 90°C og 155°C med årsvirkningsgrad i spennet 65-75%, og elektrisk energi med årsvirkningsgrad 21%.

Parabolske disksolfangerar

I litteraturstudiet er det rapportert om årleg sol-el-virkningsgrad i spennet 5-25%, for verkelege disk/stirling-system med kapasitet 9-50kW_{el}. Systema er lokalisert i USA, Tyskland og Saudi-Arabia, men det har ikkje lukkast underteikna å finna ut kva klimatiske forhold som står til kva virkningsgrad. Det har heller ikkje vorte verifisert kva som er nemnaren i virkningsgradbrøken som er brukt. Eg gjer ein antekelse om at det er årleg DNI (tilgjengeleg direkte solstråling (ikkje diffus) for ei flate med to-akse solsporingssystem). 750°C er oppgjeve som omtrentleg driftstemperatur for slike system.

Med bakgrunn i dette vert det anteke at eit kraftproduserande system med parabolisk disk og stirling-motor kan drivast i Mumbai med årsvirkningsgrad 20%, der årsvirkningsgrad er definert som følger:

$$\eta_{DNI \text{ sol-el,år}} = \frac{\text{Årleg produsert energi per m}^2 \text{ solfangar}}{\text{Årleg DNI}} = 0,2$$

For å gjera denne virkningsgraden samanliknbar med dei andre årsvirkningsgradane i rapporten, vert det gjort same konvertering som for paraboliske trausolfangar.

$$\eta_{\text{sol-el,år}} = \frac{\eta_{DNI \text{ sol-el,år}} * \text{årleg DNI}}{\text{Årleg innstrålt energi per m}^2 \text{ horisontal flate}} = \frac{0,2 * 2493 \text{ kWh/m}^2}{1972 \text{ kWh/m}^2} = 0,25$$

Ein stirlingmotor med 60% carnotvirkningsgrad vil yta varme-kraft-virkningsgrad 0,42 med temperaturkjelde 750°C og varmesluk 40°C. Den årsgjennomsnittlege-sol-varme-virkningsgraden til disk/stirling systemet er altså om lag 0,25/0,42=60% ved driftstemperatur 750°C.

Dette er same sol-varme-årsvirkningsgrad som parabolisk trausolfangar ytte ved mykje lågare driftstemperatur på 400°C. Parabolisk trausolfangar vart overslagsmessig anteke å kunne produsera termisk energi ved driftstemperaturar 90°C og 155°C med årsvirkningsgrad i spennet 65-75%.

Eit system med parabolisk disk solfangerar vert overslagsmessig anslått til å kunna levera termisk energi ved driftstemperaturar 90°C og 155°C med årsvirkningsgrad i spennet 70-80%, og elektrisk energi (disk/stirling) med årsvirkningsgrad 25%.