

# Rapport

## Energi- og prosessoptimalisering ved slutt-tørking i eget lager (L6)

Rasjonell klippfisktørking

**Forfatter(e)**

Erlend Indergård



# Rapport

## Energi- og prosessoptimalisering ved slutt-tørking i eget lager (L6)

Rasjonell klippfisktørking

EMNEORD:  
Klippfisk  
Tørking  
Energieffektivisering  
Slutt-tørkingVERSJON  
V1DATO  
2015-04-22FORFATTER(E)  
Erlend IndergårdOPPDRAGSGIVER(E)  
FHFOPPDRAGSGIVERS REF.  
Lorena Gallart JornetPROSJEKTNR  
FHF-900662, SINTEF-16Y003ANTALL SIDER OG VEDLEGG:  
11 + 0 vedlegg

### SAMMENDRAG

#### Energi- og prosessoptimalisering ved slutt-tørking i eget lager

Rapporten omfatter beskrivelse av energi- og prosessoptimalisering under produksjon av klippfisk ved å utføre slutt-tørking i eget lager, eller i arealer utenfor tørkene. Arbeidet baserer seg på industrielle målinger, hvor overskuddsvarme fra tørkesystemene kan brukes til den avsluttende tørkingen av klippfisk utenfor tørkene. Dette øker kapasiteten av klippfisk ut fra tørkeanlegget med 10-15 %.

Felles for alle anlegg uavhengig av teknologi, er at tilgangen på overskuddsvarme som i stedet for å bli dumpet over tak, kan utnyttes til tørke-formål.

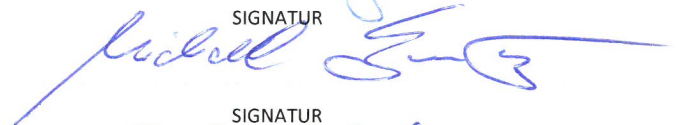
Arbeidet er en del av prosjektet Rasjonell Klippfisktørking. Prosjektets hovedmål er å anbefale en rasjonell produksjon av klippfisk med jevn kvalitet for økt produksjon, effektivisering av arbeid samt reduserte drifts- og energikostnader.

UTARBEIDET AV  
Erlend Indergård

SIGNATUR

KONTROLLERT AV  
Michael Bantle

SIGNATUR

GODKJENT AV  
Petter Røkke

SIGNATUR

RAPPORTNR  
TR A7507ISBN  
978-82-594-3637-5GRADERING  
ÅpenGRADERING DENNE SIDE  
Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
V1	2015-04-22	Versjon 1 – åpen

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Bakgrunn:.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Energibruk ved tørking .....</b>	<b>4</b>
	2.1 Prinsippet med varmepumpetørking.....	4
	2.2 Tørkeprosessen – Slutt-tørking.....	5
<b>3</b>	<b>Systemløsning: Slutt-tørking i eget lager .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Systemløsning: Slutt-tørking i eget lager .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Energibruk ved ulik drift: .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Installert effekt i ulike teknologier .....</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Videre målinger av ulike teknologier .....</b>	<b>11</b>

## BILAG/VEDLEGG

---

Ingen

---

## 1 Bakgrunn:

Arbeidet presentert i dette notatet omhandler energi- og prosessoptimalisering under produksjon av klippfisk ved å utføre slutt-tørking i eget lager, eller i arealer utenfor tørkene. Arbeidet baserer seg på industrielle målinger og beregninger, hvor overskuddsvarme fra tørkesystemene kan brukes til den avsluttende tørkingen av klippfisk utenfor tørkene. Dette øker kapasiteten av klippfisk ut fra tørkeanlegget.

Arbeidet er en del av prosjektet Rasjonell Klippfisktørking. Prosjektets hovedmål er å anbefale en rasjonell produksjon av klippfisk med jevn kvalitet for økt produksjon, effektivisering av arbeid samt reduserte drifts- og energikostnader.

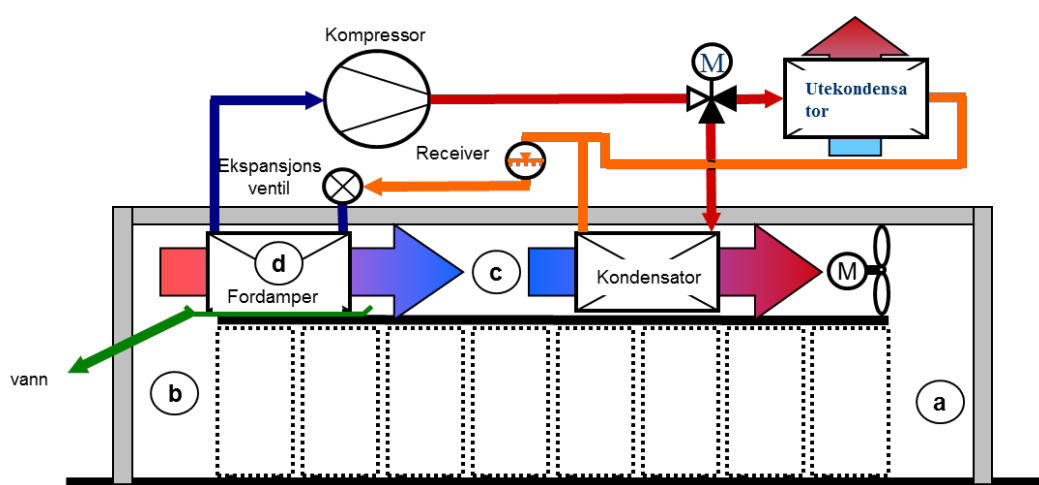
Ved å tilpasse FoU aktiviteter til den enkelte bedrift med forskjellige tørkeprosesser og driftsmetoder, vil en kunne dokumentere hvordan en kan øke produksjonen, effektivisere arbeidsoppgavene og redusere drifts- og energikostnadene for ulike typer anlegg. Felles for alle er derimot tilgang på overskuddsvarme som i stedet for å bli dumpet over tak, kan utnyttes til tørke-formål.

## 2 Energibruk ved tørking

Tørking av klippfisk er en langsom og energikrevende prosess. Målinger på industrielle anlegg har vist at energiforbruket varierer mellom 130 til 450 kWh pr tonn produsert. Det å ha fokus på god drift og energireduksjon vil derfor kunne føre til betydelig kostnadsreduksjon under produksjonen. Et viktig aspekt med dette er å utnytte overskuddsvarmen fra varmepumpen.

### 2.1 Prinsippet med varmepumpetørking

Hovedprinsippene for bruk av varmepumpe ved tørking er vist skjematisk i Figur 1. Ved å benytte et lukket luftsirkulasjonssystem hvor fuktig tørkeluft kjøles ned til temperaturer under duggpunktet vil vann kondensere på den kalde fordamperflaten og kondensasjonsvarmen tas opp av kuldemediet. Den kalde lufta med lavt vanninnhold går så videre og blir oppvarmet igjen i kondensatoren ved at opptatt energi i kuldemediet (fra fordamperen) blir levert tilbake til tørkeluften som oppvarming av denne til ønsket temperatur for tørking. Energiforbruket for flytting av varmen til høyere temperatur er liten på grunn av små temperaturforskjeller.



**Figur 1:** Prinsipp for varmepumpe ved klippfisktørking, her i langblåst tørke.

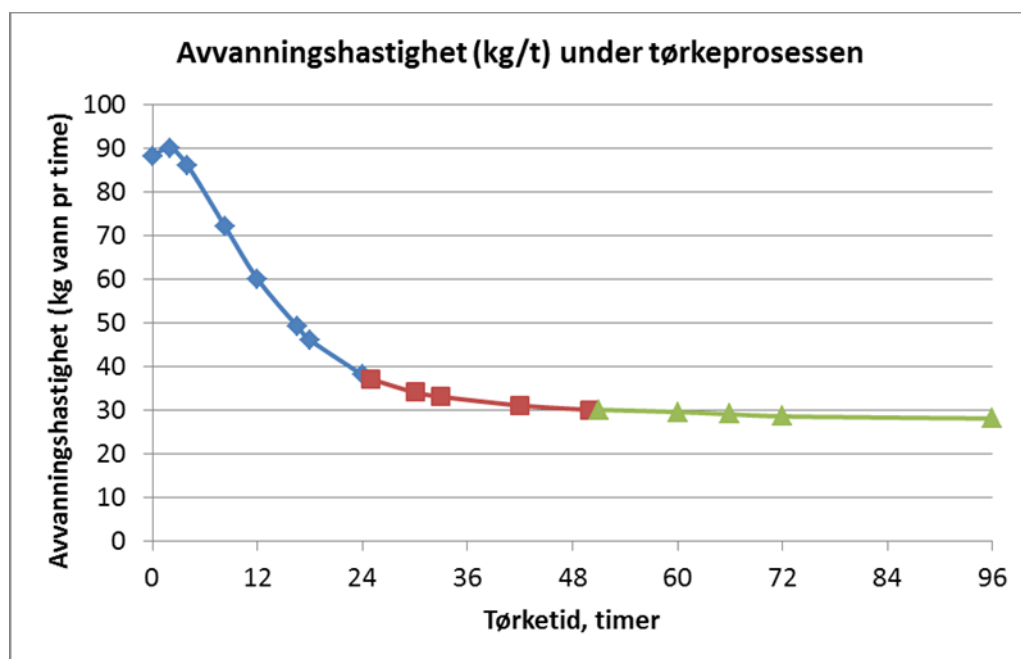
Under tørking av fisken tilføres energien for fordamping av vann fra luften ved at denne kjøles og energimengden i luften er derfor konstant siden avgitt varme er lik energien i opptatt damp. Tilført varme i kompressor og til vifter går i noen grad til oppvarming av innlagt kald fisk og varmetap fra tunnelen, mens overskuddet må fjernes. Vanligvis dumpes denne varmen til uteluft, men benyttes av noen til oppvarming av lokaler. Ved å utnytte denne overskuddsvarmen, vil man kunne få "gratis" tørking.

## 2.2 Tørkeprosessen – Slutt-tørking

Tørkeprosessen av klippfisk kan deles i 3 perioder (Figur 2).

- Innledende periode der våt saltfisk settes inn, og vannfjerningshastigheten er høy (blå kurve).
- Mellomperioden der vannfjerningshastighetene blir mindre og mindre (rød kurve), frem til
- Slutt-tørkingen der vannfjerningshastigheten er konstant lav (grønn kurve).

Det er 3 mulige parametere å endre på under tørkingen som har påvirkning på tørkehastigheten. Det ene er luftmengden gjennom tørken, det andre er luft-temperaturen, og det tredje er luft-fuktigheten. Under slutt-tørkingen vil tørkehastigheten være lav uansett om man bruker energi på økt lufthastighet eller økt temperatur. Luft-fuktigheten har en viss innvirkning også i sluttfasen, selv om denne er relativt liten.

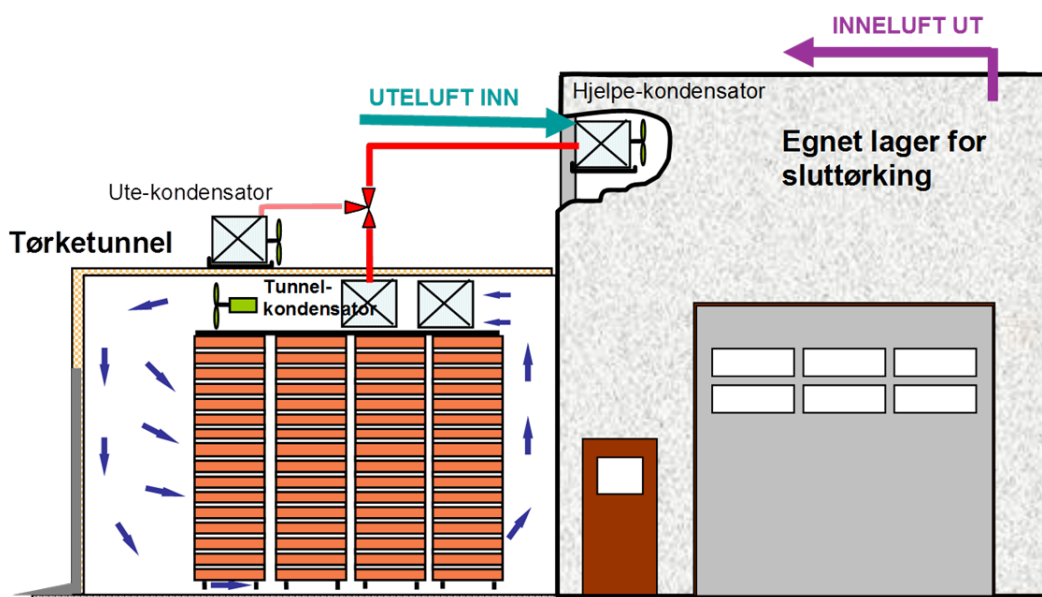


**Figur 2:** Tørkeprosessen av klippfisk kan deles i 3 perioder, avhengig av vannfjerningshastigheten.

Ved å ta ut fisk fra tørketunnelen i siste fase av tørkingen, vil dette gi plass til mer våt salt fisk og dermed få økt utnyttelse av tørken. Slutt-tørkingen av fisken kan gjennomføres i enklere lager eller rom med mindre krav til luftfuktighet.

### 3 Systemløsning: Slutt-tørking i eget lager

Det kan være ulike løsninger for å utnytte overskuddsvarmen fra varmepumpen til slutt-tørking. En mulighet er å koble til en hjelpekondensator nummer to, som suger inn uteluft og varmer denne før den går inn i et egnet lager eller areal utenfor tørkene. Dette vil kreve god regulering pga. at det i all hovedsak fortsatt vil være overskudd av varme, og en del må fortsatt dumpes over tak i ute-kondensatoren.



**Figur 3:** Prinsippskisse av hvordan overskuddsvarmen kan utnyttes til slutt-tørking i eget lager.

En annen løsning vil være å koble til en het-gass varmeveksler etter kompressoren som ved hjelp av en glykolkrets kan overføre energien til en varmeveksler som erstatter kondensatoren som vist i Figur 3. Er ikke dette tilstrekkelig, kan man i tillegg kjøre glykolkretsen inn på oljekjøleren på kompressoren.

Avhengig av hvilket areal eller lager man har mulighet til å benytte til slutt-tørking, så må man samtidig vurdere hvordan den oppvarmede uteluften skal fordeles i rommet. Det er sannsynlig at et egnet lokale til slutt-tørking vil være av betydelig størrelse (f.eks. som i Figur 4). Det vil være viktig å ha en løsning på andre siden av lageret der den fuktige luften blir ventilert ut av lageret.



**Figur 4:** Et lokale som kan være aktuelt til å benytte til slutt-tørking

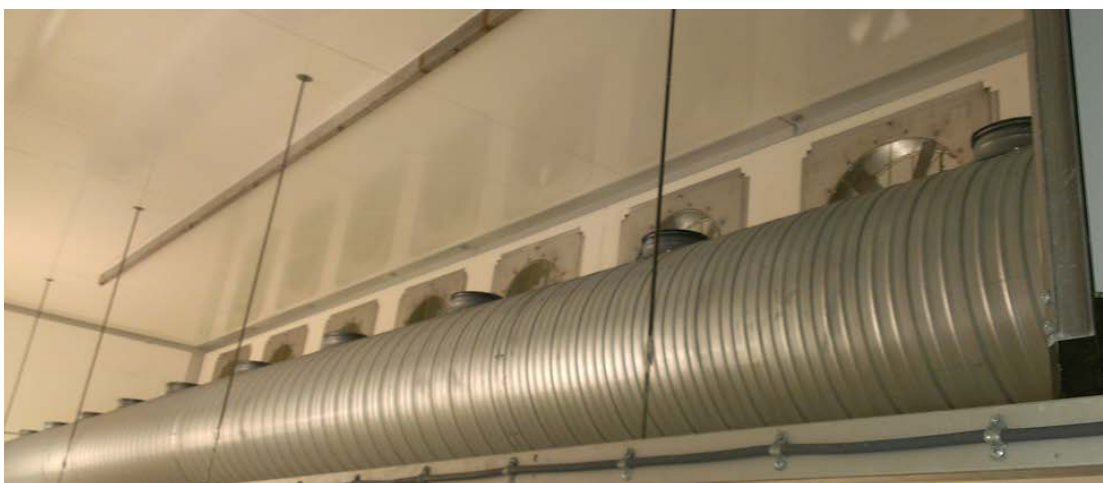
Hos produsenter med mindre produksjon, kan en enkelt vifte på lagerveggen som suger uteluft gjennom en varmeveksler med overskuddsvarme være tilstrekkelig. Denne løsningen kan være tilstrekkelig for å skape et tørkepotensiale i slutt-tørkingslageret. Etter at den oppvarmede uteluften har gått gjennom vognene, vil det også her være nødvendig å ventilere ut oppfuktet luft.



**Figur 5:** En enkel vifte og varmeveksler for utnyttelse av overskuddsvarmen kan være tilstrekkelig hos mindre produsenter

Hos større produsenter med kontinuerlig drift, vil det være behov for et betydelig areal. Grovt kan man regne at man trenger plass til dobbelt så mange vogner som man tar ut fra tunnelen hver dag. Tar man normalt ut 30 vogner per dag, vil man måtte ha 60 vognplasser tilgjengelig utenfor tørken. For å sikre god utnyttelse av den oppvarmede uteluften, vil man kunne benytte f.eks. ventilasjonsrør med flere åpninger som vist i Figur 6 (ikke viftene bak). En annen løsning kan være ventilasjonssystem med multiple dyser som vist i Figur 7. Bildet er hentet fra et typisk klimalager for tørking av pinnekjøtt.

For begge eksemplene vist i Figur 6 og 7, vil det i forkant av luftfordelingen i rommet være uteluft som blåses gjennom en varmeveksler som henter energi fra overskuddsvarmen fra varmepumpen.



**Figur 6:** Ventilasjonsrør med flere åpninger kan være en mulighet til å distribuere oppvarmet uteluft i et større egnet lager for slutt-tørking (ikke med viftene bak).



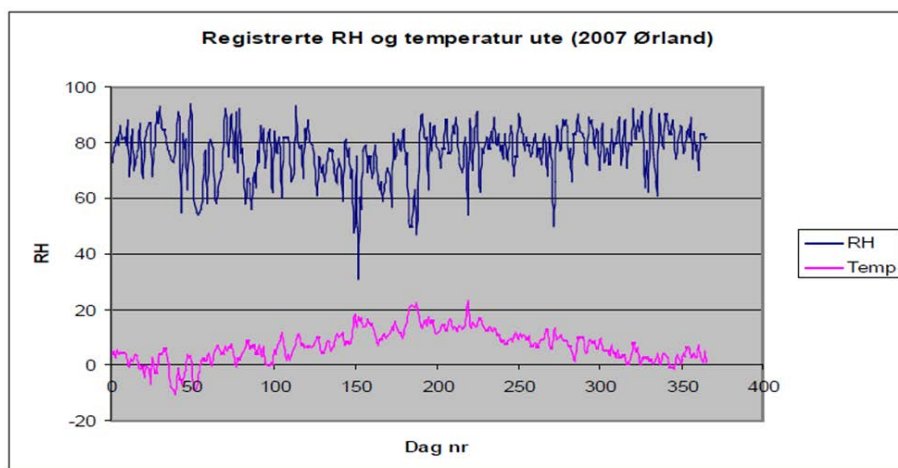


**Figur 7:** Et luftfordelingssystem med multiple dyser kan være en mulighet til å distribuere oppvarmet uteluft i et større egnet lager for slutt-tørking.

#### 4 Systemløsning: Slutt-tørking i eget lager

Hele konseptet med slutt-tørking i eget lager baserer seg som nevnt på å utnytte overskuddsvarmen fra varmepumpen til å varme opp uteluften som så føres inn i lageret. Potensialet for å kunne tørke fisken tørr ved bruk av uteluften, er selvfølgelig helt avhengig av temperatur og relativ fuktighet i uteluften. Uteluften har varierende temperatur og relativ fuktighet gjennom året, noe som er presentert i Figur 8, her fra kystkommunen Brekstad i Trøndelag.

Ved å ta gjennomsnittsverdier måned for måned, finner man at temperaturen vil variere fra  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  i februar, til  $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$  i juli. Relativ fuktighet svinger, men er i snitt fra 72 til 82 %



**Figur 8:** Temperatur og relativ fuktighet i uteluft i kystnært område gjennom ett år, her Ørland i Sør-Trøndelag 2007.

Med bakgrunn i Figur 8 viser Tabell 1 gjennomsnittlig temperatur og fuktighet i uteluften pr måned over ett år. Overskuddsvarmen fra varmepumpen tilføres uteluften gjennom hjelpekondensator eller varmeveksler som ved hjelp av vifte suger uteluften gjennom denne og inn i lageret. Dess mer varme man tilfører

uteluft, dess tørrere vil tørkeluft bli. Målet er å holde en konstant høy temperatur på luften inn på sluttørkingen på 23 °C. For å holde et fornuftig tørkepotensial under sluttørking, er det satt at luft ut av sluttørkingen maks skal ha 60 % RH.

Det er i beregningene videre tatt utgangspunkt i et beskjedent tørkesystem med plass til 60 vogner.

Det er satt at tilgjengelig utnyttet overskuddsvarme fra varmepumpen er 40 kW, noe som absolutt er mulig for de aller fleste produsenter. 40 kW gir betydelig muligheter for å øke temperaturen på uteluften før denne blir brukt til sluttørking.

**Tabell 1:** Med bakgrunn i reelle målinger av temperatur og relativ fuktighet pr måned over ett år ved Brekstad i Trøndelag, er nødvendig tørketid for sluttørkingen i eget lager beregnet.

Sluttørking av klippfisk fra 51 til 48 % vanninnhold												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
RH uteluft	78	76	76	74	70	72	80	80	78	80	82	80
Temp uteluft [C]	1	-2	5	7	8	14	16	14	10	8	5	3
h uteluft [kJ/kg]	8,85	4,07	15,34	18,52	19,75	32,25	39,11	34,2	25,13	21,44	16,09	12,39
x uteluft [kg vann/kg luft]	0,0032	0,0024	0,0041	0,0046	0,0047	0,0072	0,0091	0,0080	0,0060	0,0053	0,0044	0,0037
h ut kondensator [kJ/kg]	31,23	29,4	33,6	34,7	35,01	41,31	46,2	43,34	38,18	36,62	34,4	32,63
Temp ut kondensator	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
RH ut kondensator	18,2	14,3	23,6	26,4	26,8	41,3	52,1	45,7	34,3	30,7	25,5	21,6
Temp ut sluttørking	15	14,1	16,1	16,6	16,7	19,6	21,6	20,4	18,2	17,5	16,5	15,7
RH ut sluttørking	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
x ut sluttørking	0,0064	0,00603	0,00687	0,00711	0,00713	0,00852	0,00967	0,00899	0,00786	0,00749	0,00702	0,0067
Snitt RH gjennom sluttørkingen	39,1	37,2	41,8	43,2	43,4	50,7	56,1	52,9	47,2	45,4	42,8	40,8
Antall vogner inn pr døgn	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Mengde fisk pr vogn	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385
Mengde vann fjernet pr vogn under sluttørking	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55

## 5 Energibruk ved ulik drift:

Klippfisktørking er en meget energikrevende prosess, og effektforbruket pr produsert tonn klippfisk vil være sentralt under drift. Det er tidligere vist under industrimålinger at effektforbruket varierer stort, fra 130 kWh til 450 kWh pr tonn produsert.

Sammenligning mellom ulike produsenter er meget vanskelig på grunn av at type drift, dvs. tørking av stor torsk kontra liten sei vil gi dramatiske utslag på kWh pr tonn produsert. En sammenligning må derfor foregå med samme fisk under samme forhold, noe som ikke er mulig.

Et eksempel på dette er vist under:

En produsent har en tunnel med 120 vognplasser. Under full drift ligger effektforbruket jevnt på 100 kW. Ved å tørke liten sei der tørketiden er 3 døgn, vil man kunne ta ut 40 vogner pr døgn. Grovt regnet med 370 kg klippfisk pr vogn gir dette 14,8 tonn pr døgn. Effektforbruk er 2400 kWh, dvs. 162 kWh/tonn.

Ved å tørke større torsk med tørketid 6 døgn, vil man kunne ta ut 20 vogner pr døgn. Med 510 kg klippfisk pr vogn gir dette 10,2 tonn pr døgn, med samme effektforbruk på 2400 kWh, dvs. 235 kWh pr tonn.

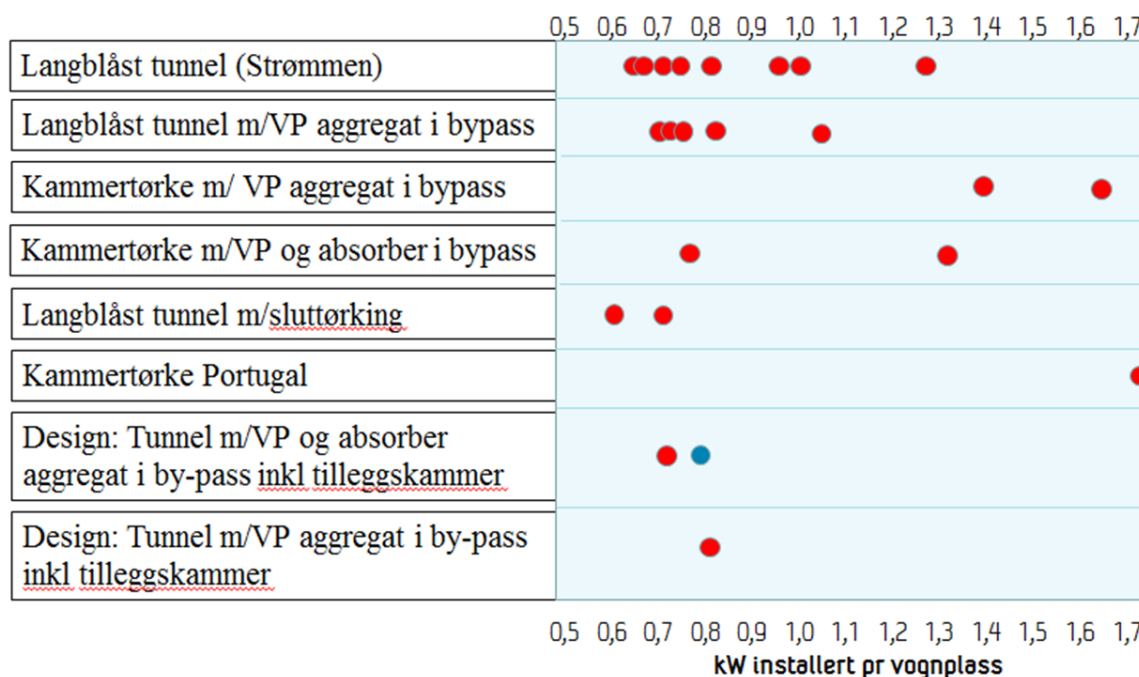
Dette er samme teknologi hos samme produsent, men med ulik drift. Hvis man samtidig ser på en situasjon der tunnelen kun har 80 vogner satt inn, dvs. ikke full kapasitet på tunnelen, vil effektforbruket hos dem alle fleste produsentene være akkurat det samme. Dvs. man må dele 2400 kWh på mindre tonn pr dag. Her vil effektforbruket bli 352 kWh pr tonn produsert. Dette synliggjør nødvendigheten med å ha fokus på god drift, med fulle tørker.

Dette regneeksemplet viser at det ikke er mulig å direkte sammenligne energimålinger mellom ulike produsenter, nettopp pga. at driften vil variere så mye.

## 6 Installert effekt i ulike teknologier

Det som er mulig å sammenligne mellom teknologiene er installert effekt. Dette inkluderer vifter, kompressorer, sirkulasjonspumper ol. Ved å bestemme installert effekt pr vognplass vil man få relativt greie tall på hvor mye energi som vil gå med ved full og god drift. Målinger viser at effektforbruk ved full drift ligger jevnt opp mot installert effekt (et unntak for dette er 3-kammertørke fra Alfsen&Gunderson som har installert relativt store varmeelementer i tørkeluften (back-up løsning) som ikke vil gi maksimal effektforbruk selv ved full drift). Selv her må man sammenligne med forsiktighet, da de ulike teknologiene vil gi noe forskjellig tørketid på samme fisk pga. ulik fuktighetsprofil i tørkeluften under tørkeforløpet.

Ved å sette forutsetning om tørking av f.eks. 1,5 kg sei, med tørketid på 3 døgn, og 370 kg klippfisk pr vogn, vil man ved å benytte installert effekt pr vognplass fra Figur 5 under, kunne finne forventet effektforbruk pr tonn klippfisk. Sammenlikner man langblåst tunnel med kammertørke (der begge har installert varmepumpe i by-pass) ser man at man i kammertørken må forvente å bruke 1,4 kW pr vognplass, mens man i langblåst tunnel forventer å bruke omkring halvparten, rundt 0,7 kW. Forventet tørketid i kammertørken er noe lavere pga. tørrere luft mot slutten av tørkeperioden, noe som fører til at kWh pr tonn vil bli høyere enn for langblåst tunnel, men ikke dobbelt så stor.



**Figur 5:** Oversikt over installert effekt pr vognplass for ulike teknologiløsninger i klippfisknæringen

## 7 Videre målinger av ulike teknologier

Med bakgrunn i arbeidet med kartleggingen ble det bestemt at 4 ulike teknologier skal gjennomgås og analyseres videre for å finne optimale løsninger ved ulik drift. Dette er:

- 1) Langblåst tunnel m/ YIT aggregat i by-pass
- 2) Kammertørke m/YIT aggregat i by-pass
- 3) Kammertørke m/A&G aggregat i by-pass
- 4) Langblåst Strømmen-tunnel.

Resultater fra målingene blir beskrevet i egne rapporter.



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)