

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



**SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim  
Resepsjon: Sem Sælands vei 11  
Telefon: 73 59 72 00  
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:  
NO 939 350 675 MVA

# TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Simuleringer av strømningsforhold i to klippfisktunneler**

SAKSBEARBEIDER(E)

Vidar Hardarson, Ola Jonassen og Per Magne Walde

OPPDRAGSGIVER(E)

FHL Bacalaoforum

TR NR.	DATO	OPPDRAGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
* TRF6372 *	2006-06-22	Arnt Olav Aarseth	16X543.01
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
060411123451		Anders Haugland <i>Kona J. M. Mørk</i>	fortrolig
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG      SIDER
82-594-3086-X		Anders Haugland <i>Kona J. M. Mørk</i>	8              27
AVDELING	BESØKSADRESSE		LOKAL TELEFAKS
Energiprosesser	Kolbjørn Heies vei 1D		73 59 39 50

RESULTAT (sammendrag)

To tørketunneler, en langblåst og en tverrblåst, er beskrevet i simuleringprogrammet Fluent og luftstrømmene er simulert. Resultatene er sammenlignet med målinger på anleggene. Simuleringene påviser betydelig bypass av luft forbi reolene i den langblåste tørken med 47 % av tørkeluften på utsiden av første reolrekke og 54 % i siste reolrekke. Dette er luftsirkulasjon som ikke bidrar til tørking av fisken men den koster energi til både vifter og varmpumpedrift. I den tverrblåste tunnelen ble det påvist betydelig skjevfordeling i luftstrøm mellom Brettene. I denne tunnelen snues luftstrømmen periodevis. For de to luftretningene viste simuleringen at lufthastigheten mellom Brettene med fisk varierte innen 1 – 2.2 m/s og 0.2 – 1.5 m/s. Dette fører til ujevne tørkeforhold og både overtørket fisk og slakkfisk i samme tørkeomgang.

Som eksempler på bruk av modellene er det lagt inn noen endringer og effektene av disse er studert. I den langblåste tørken ble "skjørt" påhengt under hver reol og strømningsverrsnittet over vognene avstengt i en ende. Dermed ble nesten 100 % av luftsirkulasjonen aktiv i tørkingen og gjennomsnittlig spaltehastighet økte fra omtrent 0.92 til 1.5 m/s. I den tverrblåste tunnelen ble det gjort en simulering hvor 20 % av tørkeluften ble trukket ut av tunnelen for avfuktning og oppvarming og tilbakeført på den andre siden av sirkulasjonsviftene. Denne løsningen er mer fleksibel i forhold til valg av avfuktningmetode og åpner for bruk av sorpsjonsutstyr, kryssvarmeveksler og standard aggregater foruten at reversering av luftstrømmen kan gjøres mer energieffektiv og uten at strømningsforholdene over fiskebrettene endres. Simuleringen viste blant annet at variasjonene i luftstrøm over fiskene ble redusert fra 0.9 til 0.6 m/s.

Andre endringer på tunnelene kan beskrives og simuleres for å studere virkningen, for eksempel kan viftekapasiteten på den tverrblåste tunnelen reduseres for å studere effekten av i siste del av tørkeforløpet, andre utførelser av tørkevognene og bruk av ledeplater for luften.

\* Rapporten er åpnet 2008-02-06\*

## STIKKORD

EGENVALGTE	simulering	tørking
	luftstrømning	klippfisk

## INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1	INNLEDNING ..... 3
2	LANGBLÅST TUNNEL FRA OPTIMAR..... 4
2.1	BESKRIVELSE AV FORUTSETNINGENE FOR SIMULERINGEN ..... 5
2.2	RESULTATER..... 7
2.2.1	Opprinnelig tunnelutforming ..... 7
2.2.2	Modifisering av vogner – Påmontering av skjørt under hver vogn ..... 12
2.2.3	Modifisert tunnel og vogner med påmonterte skjørt ..... 13
2.3	SAMMENFATNING ..... 14
3	TVERRBLÅST TØRKE FRIGOSYSTEMA..... 16
3.1	SIMULERINGENES FORUTSETNINGER ..... 18
3.2	RESULTATER..... 18
3.2.1	Driftstilstand A – Full viftehastighet ..... 18
3.2.2	Driftstilstand B – Full viftehastighet ..... 20
3.2.3	Forslag til tiltak for å forbedre tunnelen ..... 21
4	SAMMENLIGNING MED MÅLINGER PÅ TUNNEL..... 24
5	PRAKTISK NYTTE AV SIMULERINGSMODELLENE ..... 24
6	SAMMENFATNING ..... 26

## 1 INNLEDNING

FHL Bacalaoforum har tatt initiativ til og gjennomfører et prosjekt "Fremtidens klippfiskbedrift". SINTEF Energiforskning AS, avdeling Energiprosesser er utførende institutt. Prosjektet startet i 2005 og er planlagt for en periode på 3 år. Denne rapporten gir resultater fra simuleringer i Fluent av strømningsforholdene i 2 tunneler for tørking av klippfisk:

- Tørke 1 er en langblåst, kontinuerlig tunnel med mekanisert inn- og utmatning av reolene,
- Tørke 2 er en tverrblåst, satsvis tørketunnel med manuell inn- og utkjøring av brett stablet på hjulrammer.

Det er to hovedtyper tørker i bruk i næringen, og de er representert ved disse tørkene. Den tverrblåste tørken er representativ for denne typen anlegg. Den langblåste tunnelen er litt spesiell fordi den har maskinelt framtrekk av reolene, og at disse er hengende. Denne tørken er bygget med relativt store klaringer rundt reolene, og dette gir betydelige mengder luft i by-pass. Ellers er denne tørken representativ for alle langblåste.

Den kontinuerlige, langblåste tørken med automatisk framtrekk av reoler er levert av Optimar og står hos Nils Sperre AS på Ellingsøy. Den manuelt opererte tverrblåste batchtørken er levert fra Frigosistema i Portugal og står hos Jangaard Export AS på Kleivane i Ålesund.

Det ble gjort målinger på disse tunnelene sommeren 2005, og resultater fra dette arbeidet er samlet i SINTEF-rapportene TRF6320 *Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker* og *Undersøkelse av tørking av klippfisk i tre anlegg*. Måleresultater er brukt til å verifisere simuleringresultatene.

Flere rapporter som er under arbeid nå er:

- Laboratorieforsøk i vakuamtørke
- Styringsstrategi for tverrblåste batchtørker. Utgitt 08-06-2006. Rapport TFR 6363
- Laboratorieforsøk for å kartlegge brenning og eventuell skorpedannelse
- Muligheter for automatisk drift av langblåste tunneler

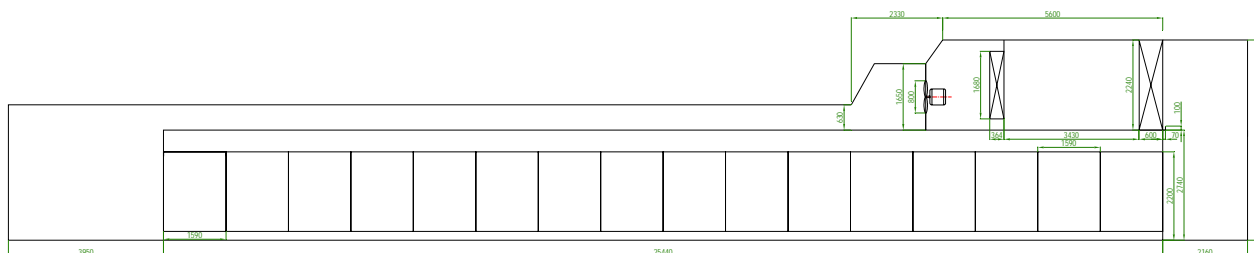
## 2 LANGBLÅST TUNNEL FRA OPTIMAR

Dette anlegget ble installert i 1999. Videre i denne rapporten benevnes anlegget ”Langblåst Optimar”. Det har 5 vogner i bredden og 16 vogner i lengderetningen, og er den eneste tørken i Norge med hengende reoler og automatisk framtrekk. Figur 1 viser reoler som er kjørt ut av tunnelen. I figuren vises også deler av skinnesystemet som sitter i himlingen. Reolene har tett ”tak” av blikkplate og hyllelister som brettene skyves innpå. Brettene består av treramme med påspennet netting som fisken legges på. Tørkeluften sirkuleres mellom fiskene, mest i horisontal retning men har også mulighet til å strømme vertikalt opp gjennom brettene til den møter reol-taket.

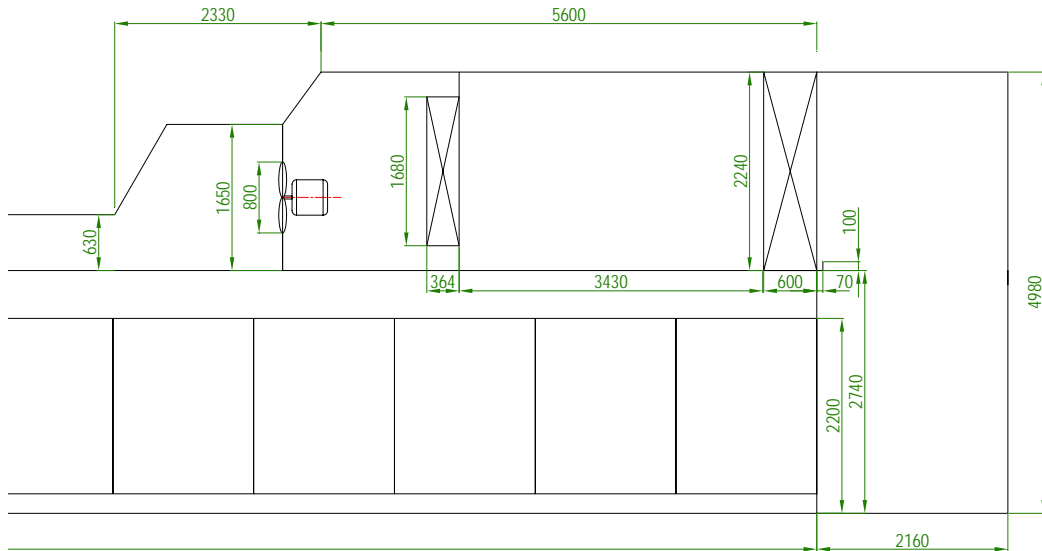
For å gi fisken optimale tørkebetingelser ønsker en jevn luftfordeling, d.v.s. samme strømningsforhold over alle brettene fra det øverste til det nederste. En vil også unngå at luft strømmer utenfor reolene uten å delta i fuktopptaket. En ønsker også å finne økonomisk optimal sirkulert luftmengde og resultatene i dette arbeidet gir grunnlag for å beregne dette.



Figur 1. Bilde av hengende reoler ved langblåst tørke fra Optimar. Disse reolene inneholder ferdig klippfisk, og de er kjørt ut av tunnelen og står på vent for tømning av brettene, som foregår automatisk.



Figur 2. Lengdesnitt av tunnelen.

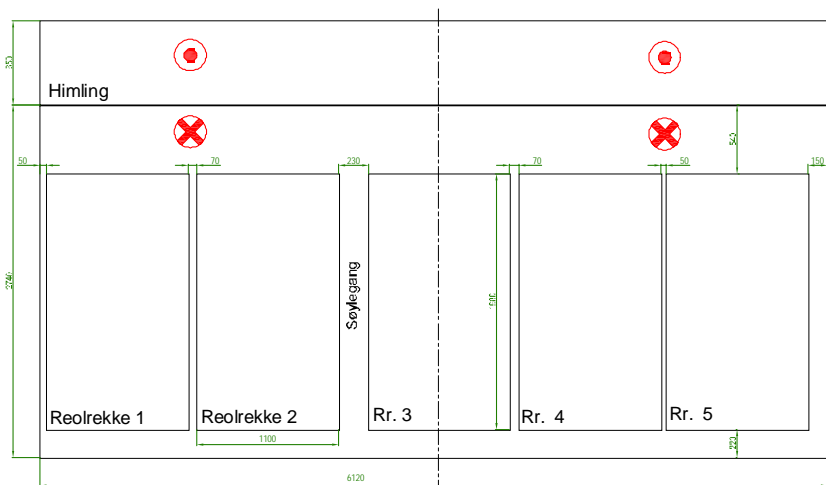


**Figur 3.** Lengdesnitt av tunnelens innmatingsende (våt fisk inn) med, fra høyre mot venstre, fordampere, kondensator og tunnelvifte.

## 2.1 BESKRIVELSE AV FORUTSETNINGENE FOR SIMULERINGEN

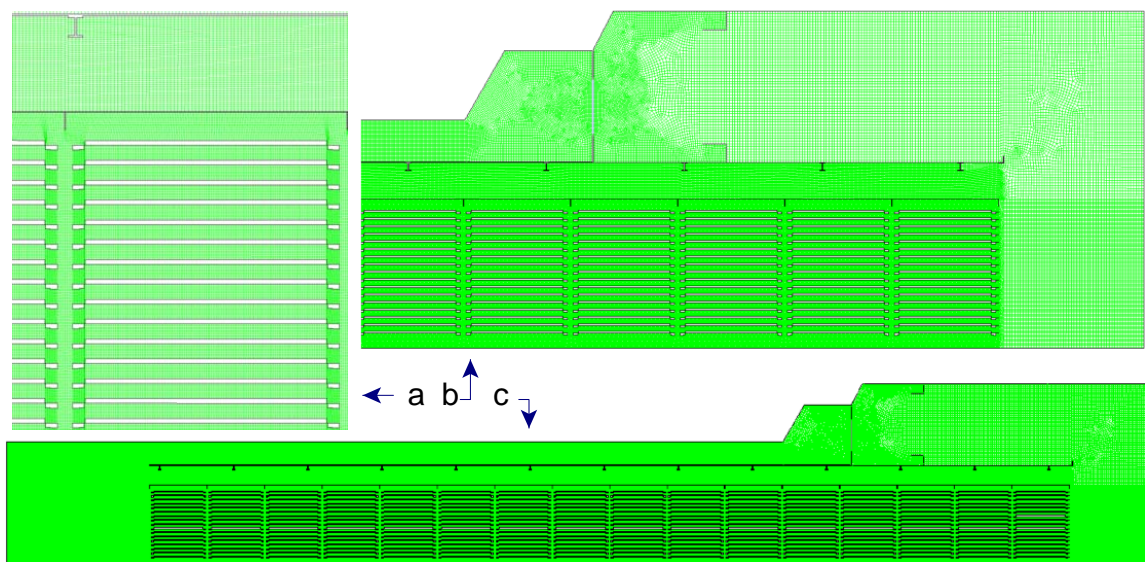
De siste årenes utvikling innen numerisk matematikk, programvarer og datamaskiner muliggjør en helt annen tilnærming til utvikling av nye og forbedring av eksisterende tekniske systemer. Data-teknisk modellering og simulering av fluidstrømning er dog en av de mest ressurskrevende utfordringene – spesielt når en ønsker å løse koplet varme- og massetransport i kompliserte geometrier. I et prosjekt med begrensede midler, vil en derfor måtte søke forenklinger på noen områder for å kunne analysere betydningen av de parametre som antas å ha størst betydning. Ut fra SINTEFs erfaring med luftstrømning i frysetunneler kan en anta at tørkers største skavanker også er knyttet til ujevn sirkulasjon, dødsoner og bypass. Vi har i denne omgang valgt å begrense oss til en 2-dimensjonal modell (2D) som beskriver tunnelenes lengdesnitt (lengde x høyde). Snittet er tatt loddrett gjennom midterste reol, som det fremgår av Figur 4:

Figur 4. Tverrsnitt tatt gjennom den delen av tunnelen med lavest takhøyde. Viften blåser luften over himlingen mot leseren og tilbake inn i papirplanet. Strek/punktlinjen viser hvor den 2-dimensjonale strømningsmodellen er lagt.



Som det fremgår av Figur 4 er tunnelen betydelig bredere enn summen av reolenes bredde (+11%). Det synes derfor som om det fra leverandørens side er lagt inn en god margin for problemfri mekanisk fremføring av reolene. Som en ser er reolene også ujevnt plassert. I søylegangen, mellom reolrekke 2 og 3, er avstanden størst og på hele 230 mm. Bypass-strømning i denne spalten vil i praksis påvirke strømmingen mellom brettene. I den 2-dimensjonale modellen er denne effekten ikke tatt med, og det fokuseres i stedet på luftfordelingen i vertikal retning. Som det fremgår av figuren er avstanden under og over reolene på henholdsvis 220 og 540 mm. Med korreksjon av smalere, men nødvendige, virtuelle spalter under nederste og over øverste Brett kan man i geometrisk forstand si at tunnelvernsnittet overdimensjonert med ca. 40 % (12+28) i vertikal retning.

For å kunne tallfeste konsekvensene av dette, og estimere virkningen for forskjellige konstruksjonsmessige tiltak, er det bygget opp flere 2D viskøse modeller i CFD-programmet Fluent<sup>®</sup>. Et eksempel er vist i Figur 5.



Figur 5. Eksempel på geometrisk oppdeling av en 2D-modell. Figurdelen a) Utsnitt av øvre del av en reol og spalte mellom reoltak og tunnelhimling; b) Utsnitt av tunnelens innmatingsende. Legg spesielt merke til vifte-spalten hvor påtrykt hastighet er definert; c) Hele tunnelmodellen.

Denne modellen består av godt og vel 700 tusen firkantede celler med sidestørrelser som varierer mellom 1 og 36 mm. De minste cellene finner en i spaltene mellom brettene, d.v.s. der hvor en forventer de krappeste hastighetsforandringene (gradientene). Som det fremgår av delfigur a, hvis oppløsningen i utskriften er god nok, er fisken modellert som en tett firkantet boks. Størrelsen på denne er valgt slik at horisontal utstrekning tilsvarer at brettet dekkes til med ca. 85 %. Høyden står derimot i forhold til gjennomsnittlig mengde fisk på ett Brett. I modellen vil derfor en eventuell vertikal luftstrømning skje mellom to vogner og mellom bretttramme og fisk og ikke mellom fisker slik tilfellet i noen grad vil være i virkeligheten.

Den fysiske delen av modellen baseres på beregnede krefter fra luftens viskositet og med standard k $\epsilon$ -turbulens- og vegg-modeller. Termiske effekter er ikke tatt med. Fluents verdier for luft (air) er

også brukt. Energiligningen er avslått og det antas uniform og konstant påtrykt hastighet i vifte-spalten. Høyden på denne er satt lik viftepropellens diameter – 0,8 m. Varmevekslerne modelleres som porøse soner med en anisotrop (retningsuavhengig) trykk / volumstrøm-karakteristikk tilpasset produsentens data. Initialverdien for  $(u_x; u_y)$  er valgt til (0,1; 0,1) m/s i hele området. Beregningene er gjentatt (iterert) til residualene (forandring mellom to iterasjoner) er falt til under 0,0001.

## 2.2 RESULTATER

I det følgende blir beregnede strømningsmønster og gjennomsnittlig horisontale hastighet mellom brett presentert for tre forskjellige modeller (geometrier): (1) den originale tunnelutformingen samt to forskjellige konstruksjonsmessige modifikasjoner (2) og (3) for å hindre bypass over og under reolene.

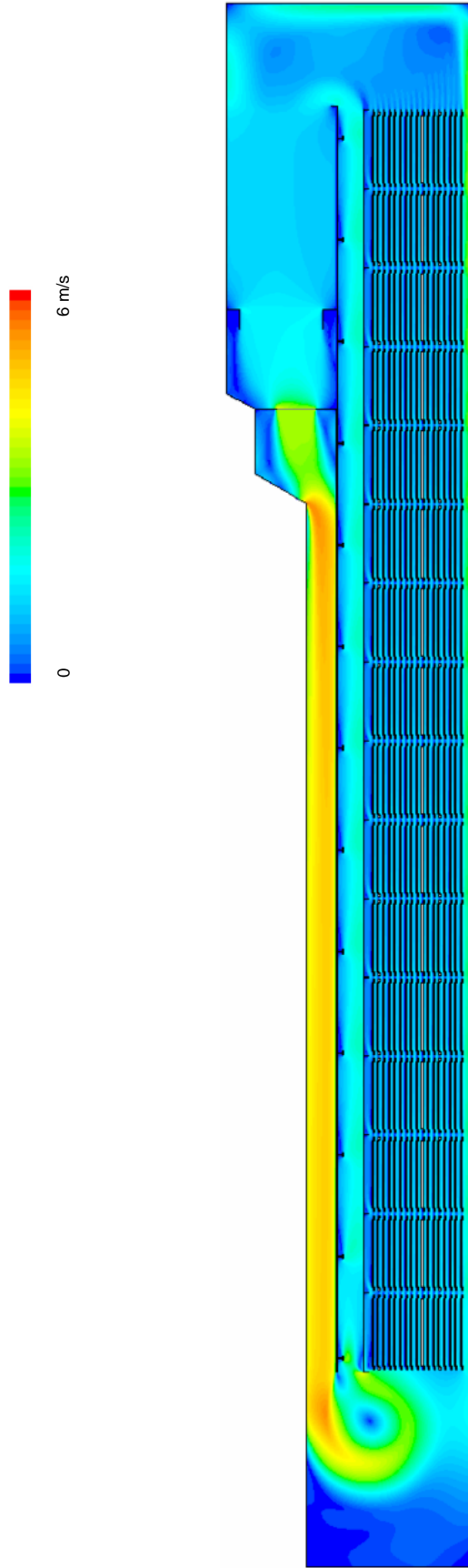
### 2.2.1 Opprinnelig tunnelutforming

I dette tilfelle ble beregningene iterert til samtlige residualer var falt godt under 0,0001. Verdier for de fem forskjellige variablene som inngår i turbulent  $k\epsilon$ -modell fremgår av Tabell 1. Som vi ser er kravene til kontinuitet (massebevarelse) godt i varetatt mens den vertikale hastighetskomponenten ikke er helt stabil ennå. Dette har liten betydning for denne anvendelsen.

Tabell 1. Residualer ved endt simulering.

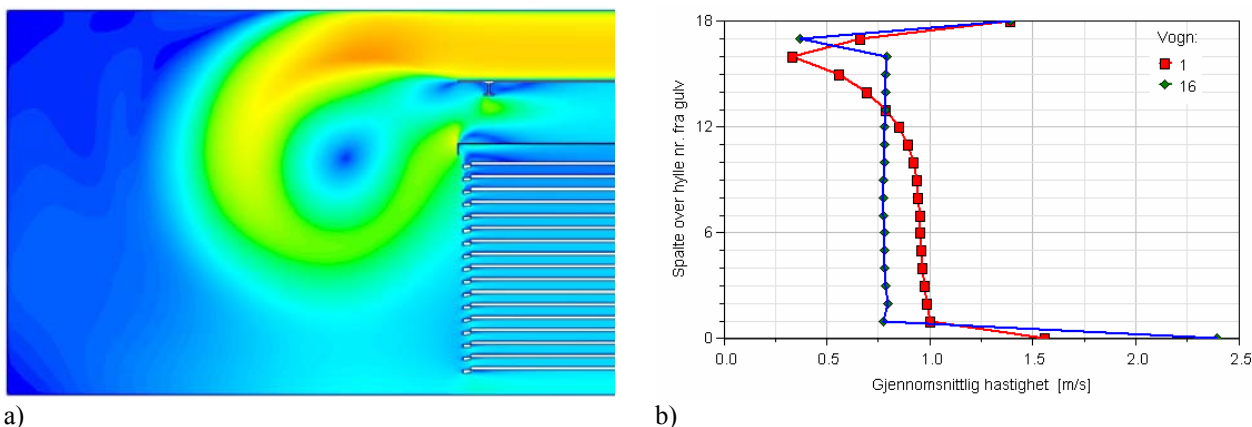
Kontinuitet	x-hastighet	y-hastighet	k	$\epsilon$
2.8067e-06	9.3388e-05	1.0372e-04	1.1684e-04	1.6768e-04





Figur 6. Beregnede hastigheter for tunnel av original utforming. Fargeskala angir sammenheng mellom hastighet og farge.

Figur 6 viser beregnet hastighetsfelt, hvor rødlige områder indikerer høy hastighet mens mørkeblå farge viser områder med tilnærmet stillestående luft. Til venstre i figuren, d.v.s. ved utmatningsenden for vogner med ferdig tørket fisk, ser vi et relativt stort område med stillestående luft, og en kan fundere over om dette er fornuftig bruk av gulvplassen. Kunne det for eksempel være plass til en reol-rad til? Hastighetsforholdene ved enden av vognrekken er også svært ujevne og det kan være fare for overtørring av fisk på noen av brettene mens andre får dårligere tørkebetingelser. Dette kommer bedre fram på Figur 7.



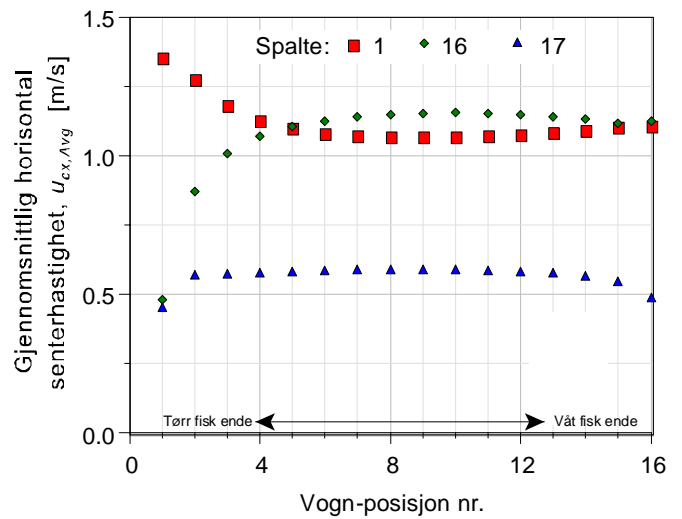
a) b)  
 Figur 7. Beregnede hastigheter for tunnelens utmatningsende (tørr fisk). a) Hastighetsfelt; b) Beregnet hastighetsprofil opp gjennom første (1) og siste vogn (16) i rekken: Gjennomsnittlig hastighet i horisontal retning for de forskjellige spaltene. Spalte 0: Under nederste Brett; Spalte 17: Mellom øverste Brett og vogntak; Spalte 18: Mellom vogntak og himling. Luft ved 0 og 18 er lekkasjeluft.

Som vi ser oppstår det en sterk virvel når luften må snu etter å ha forlatt kanalen over himlingen. I følge figuren vil stor del av luftestrømmen gå i den høye luftspalten over den første vognen. Samtidig ser vi at de mørkeste blå områdene er over det øverste og det nest øverste brettet. Fisken på de øverste brettene får derfor de laveste lufthastighetene. Dette kommer bedre fram på grafen b) til høyre. Her er gjennomsnittlig horisontal spaltehastighet gjengitt for to vogner, den første og den siste i rekken telt fra tørr ende (1: 'tørr' vogn; 16: ny vogn med våt fisk). For vognen nærmest virvelen (rød kurve) er hastigheten lavest mellom øverste og nest øverste Brett. Her er den ned i ca. 0,3 m/s. Hastigheten stiger deretter gradvis ned mot gulvet, og er oppe mot 1 m/s over de nederste brettene. Lufthastigheten under vognene (spalte 0) og over (spalte 18) er imidlertid betydelig større, begge i nærheten av 1,5 m/s. I og med at disse spaltene er betydelig høyere enn spaltene mellom brettene indikerer dette også at bypass-strømmen er stor. En slik luftstrøm har ingen funksjon, det koster å drive den rundt og den bidrar ikke til tørking av fisken.

For en tunnel med automatisk fremtrekk av vognrekken er det interessant å studere hvordan tørkeforholdene varierer i en gitt høyde langs hele tunnelen fra en vogn kommer inn og til den tas ut igjen. For hastighetens vedkommende viser Figur 8 graf av senterhastighetene for tre utvalgte spalter. Vi ser at hastighetene over nederste Brett og nest øverste Brett er ganske jevne gjennom største delen av tunnelen. Fra innmating til og med 5. vognplass før utmating er hastigheten over nest øverste Brett litt høyere mens forholdene er omvendt for de siste 4 – 5 vognplassene. Lufthastigheten øker og tørkeraten stiger mot tørr ende for fisken på nederste brettet mens fisk på nest øverste Brett overstrømmes av gradvis mindre og mindre luft. I siste posisjon før utmating er

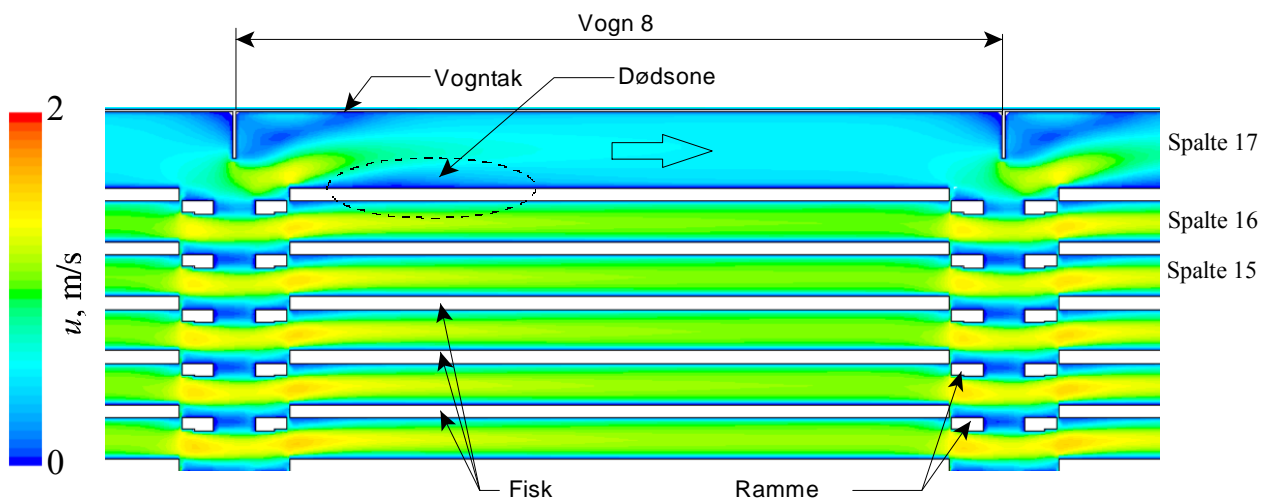
den ca. halvert, til i underkant av 0,5 m/s. Dette tilsvarer den hastigheten som fisk på øverste brett (mellom spalte 16 og 17) overstrømmes med gjennom hele tunnelens lengde.

Figur 8. Gjennomsnittlig hastighet for vogner. Senterhastighet midt mellom brett for spalte 1 (mellom nederste og nest nederste brett) og spalte 16; For spalte 17: Over øverste brett, d.v.s. mellom øverste brett og vogntak er hastigheten "målt" i samme høyde over fisk som for de øvrige brettene. Luftinnløp er i tørr ende, utløp i våt ende.



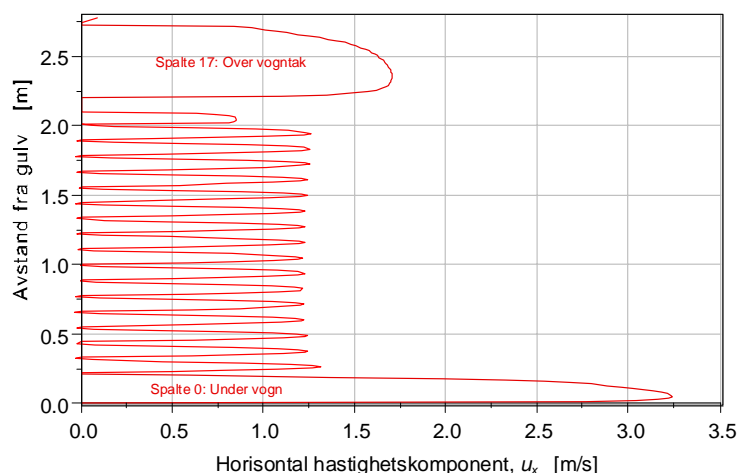
Ut fra disse simuleringresultatene kan en ikke konkludere med at tørkebetingelsene er forskjellig for fisk på det nederste brettet i forhold til fisk på det nest øverste brettet. Det er mulig at noe større hastighet i den første 3/4-del av tunnelen kompenserer for hastighetsfallet mot slutten av tørkeperioden. Men resultatene viser at tørkeforholdene ikke er forutsigbare og robuste og vil avhenge i uforholdsmessig stor grad av fiskens størrelse og hvordan den legges på brettene.

At hastigheten over det øverste brettet kun er ca. halvparten så stor skyldes for en stor del at avstanden mellom brett og vogntak er ca. 85 % større enn avstanden mellom to brett. I gjennomsnitt, over tunnelens lengde, er volumstrømmen nokså lik i samtlige spalter (1 til 17). Større spaltehøyde, innsnevring mot vognendene og takets glatte underside tyder dog på at tørkebetingelsene kan være noe dårligere for fisken på øverste brett. Selv om denne foreløpige konklusjonen burde sammenholdes med mer presise vektmålinger kan vi ikke se noen tørkemessig fordel i tunneltakets utforming. Strømningsbildet i en vogn fremgår av figuren under.



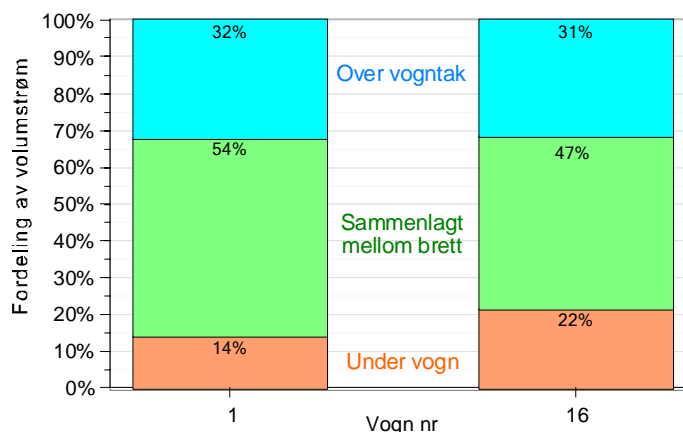
Figur 9. Utsnitt av beregnet hastighetsfelt for øverste del av en vogn midt i tunnelen.

Av Figur 9 fremgår at lufthastigheten er ganske jevn fra innløp til utløp for samtlige spalter med unntak av den øverste. En kan dermed forvente at fisken tørkes relativt jevnt på disse brettene. Forholdene er, som en ser, mer ujevne for fisken på det øverste brettet p.g.a. bølgede strømning i spalte 17. Grunnen til dette er at luften må presses under kantene på takplatene når luften går fra en vogn til den neste. Etter innløp løftes luften opp igjen mot vogntaket og det oppstår et område med lav hastighet rett over de fiskene som ligger ca.  $\frac{1}{4}$  - dels vognbredde nedstrøms. Se mørkeblått område merket "Dødzone" i figuren. Selv om strømnings- og tørkeforholdene ikke vil være så regelmessige i virkeligheten, bl.a. p.g.a. variabel fiskestørrelse og at luften har en viss mulighet for å strømme gjennom brettene, avdekker disse beregningene at forholdene på oversiden av den øverste fisken avviker betydelig fra tørkeforholdene for fisken på de andre brettene.



Figur 10. Beregnet hastighetsprofil ut av vogn 16 (våt fisk).

Før en eventuelt vurderer å bygge om vogntakene må en være klar over at dette vil kunne påvirke luftfordelingen mellom spaltene og hvor stor bypass luften er over og under reolene. Som det fremgår av høyre del av Figur 7 er lufthastighetsprofilet ut av bakerste vogn (vogn 16) svært skjevt, d.v.s. at stor del av luften strømmer over og under vognen. Dette kommer bedre frem av Figur 10 som viser horisontal hastighet langs en loddrett linje gjennom vogn 16 sin utløpsside. Hastigheten under og over vognen er tegnet sammen med hastighet ut av spaltene mellom brettene. Hastigheten langs gulvet er nesten tre ganger så stor som gjennomsnittlig spaltehastighet. Hastigheten mellom vogntak og himling er ikke fullt så stor, kun ca. 1,5 m/s i snitt, men som en ser er denne passasjen ganske høy.

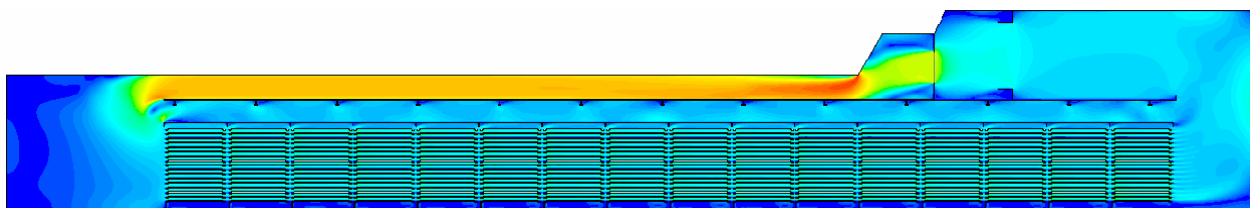


Figur 11. Beregnet fordeling av luftstrømmen under, gjennom og over første og siste vogn i rekken. Beregnet fra hastighetsprofil midt gjennom hver vogn.

Figur 11 viser at det kun er ca. halvparten av sirkulert luftstrøm som stryker over fisken. Omtrent 1/3-del går over vognene mens en voksende andel presses ned gjennom og mellom vognene mot gulvet. Når luften passerer siste vogn i rekken strømmer omtrent 1/5-del av luften mellom gulv og nederste brett. Lekkasje i sidespalter og spalter mellom reoler blir ikke med i simuleringen fordi denne er 2D med geometri beskrevet i lengde og høyde, ikke bredde, se Figur 4.

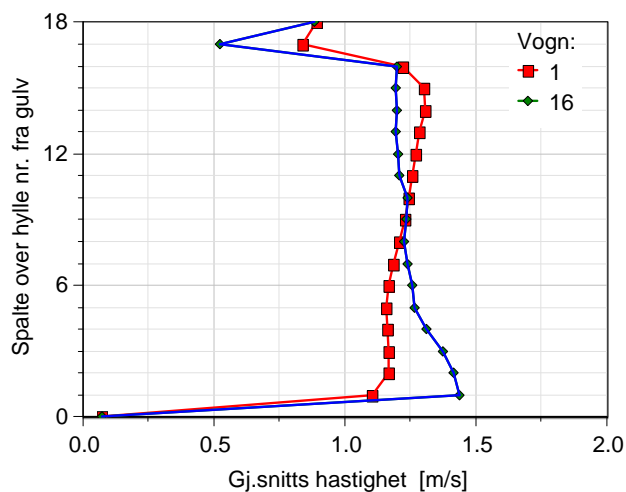
### 2.2.2 Modifisering av vogner – Påmontering av skjørt under hver vogn

Ut fra et energiøkonomisk synspunkt er det svært ugunstig at omtrent halvparten av luften sirkuleres uten å bidra til å tørke fisken. Et rimelig og enkelt konstruksjonsmessig tiltak er å påmontere skjørt, gjerne passe fleksible, under hver enkelt reol for å hindre strømmingen langs gulvet. Dette vil i større grad bidra til utjevning av forholdene langs tunnelen enn blanding av kanalen mellom vogntak og himling. Denne løsningen vil heller ikke påvirke den mekaniserte inn- og utmating av vognene. For å begrense vedlikehold av skjørtene bør de ikke gå helt ned til gulvet. Det vil også være en fordel at litt luft slipper fram til undersiden av fisken på nederste brett. I modellen er det brukt en 5 mm tykk plate med 8 mm spalte ned til gulvet. Det forutsettes at skjørtet er så tungt eller stivt at det henger loddrett ned, uavhengig av vindstyrke.



Figur 12. Beregnet hastighetsfelt for tunnel av original utforming men med "skjørt" montert under hver reol. Farge-skala:  $0 < u < 5,5$  m/s.

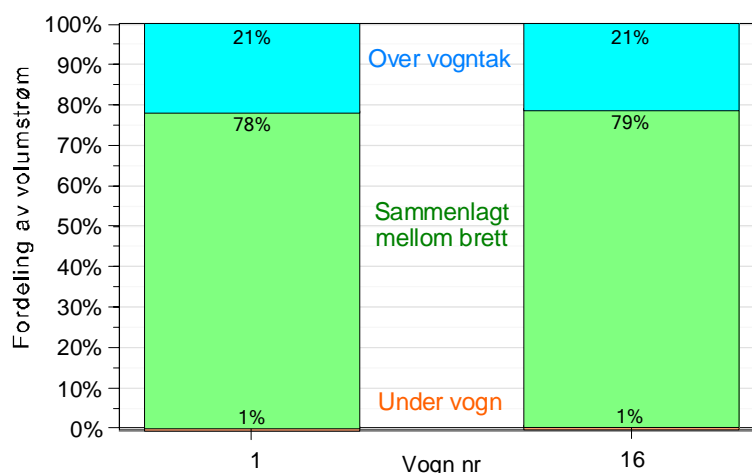
Som det fremgår av den mørkeblå farge i Figur 12 strømmer nå minimalt med luft under vognene. Virvelen ved innløpet er fortsatt fremtredende mens hastigheten i nedre del av siste vogn (lengst til høyre) er blitt større. Dette ser vi bedre av neste figur.



Figur 13. Beregnet hastighetsprofil gjennom første (1: tørr fisk) og siste vogn (16: fuktig fisk). Gjennomsnittshastigheter for hver spalte når vognene er påmontert "skjørt".

Med unntak av øverste brett (hylle) ligger lufthastigheten nå på oversiden av samtlige mellom ca. 1,2 og 1,4 m/s. Under vognene er gjennomsnittshastigheten (referert til avstand mellom gulv og brett) ca. 0,1 m/s. Over vognene strømmer det fortsatt mye unyttig luft, men hastigheten har tross

alt falt med ca. 1/3-del, fra ca. 1,4 til ca. 0,9 m/s, med dette tiltaket. Man kan spørre hvorfor det går mindre luft i spalten over vognene når spalten under tettes. I Figur 6 ser vi en virvel ut for øverste Brett i venstre side, se også detalj i Figur 7a. I Figur 12 ser vi at når den store strømmen under reolene er stoppet, forsvinner også virvelen. Dette påvirker strømmingen i rommet over vognene. Det må dog bemerkes at for å spare beregningstid (og -utgifter) er det lempet noe på nøyaktighetskravene ved gjennomføring av denne simuleringen. Vi har antatt at tilstrekkelig konvergens er oppnådd når residualene kom under 0,001 og ikke 0,0001 som i forrige simulering. Flere iterasjonen vil sannsynligvis forsterke virvelen og forvreng hastighetsprofilen i første vogn noe mer enn Figur 13 viser. Som i forrige tilfelle søker luften fortsatt mot de nederste brettene i det den strømmer langs etter tunnelen.

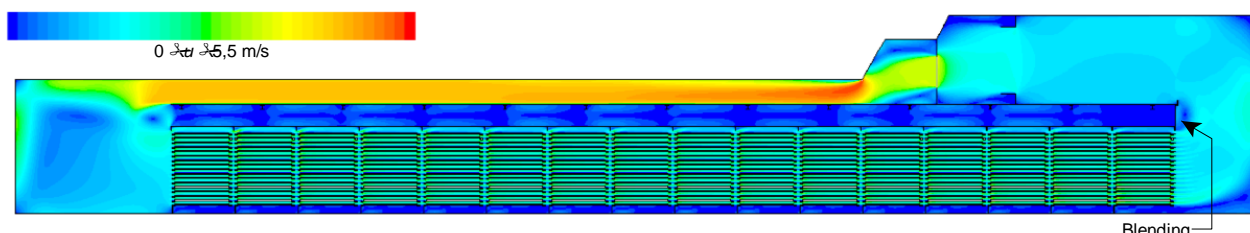


Figur 14. Beregnet fordeling av luftstrømmen under, gjennom og over første og siste vogn i rekken. Beregnet fra hastighetsprofil midt gjennom hver vogn. Gjelder med ”skjørt” på vognene.

Samlet sett bidrar nå ca. 78 % av sirkulert luftmengde til tørking av fisken, mens ca. 1 % strømmer under og 20 % over vognene.

### 2.2.3 Modifisert tunnel og vogner med påmonterte skjørt

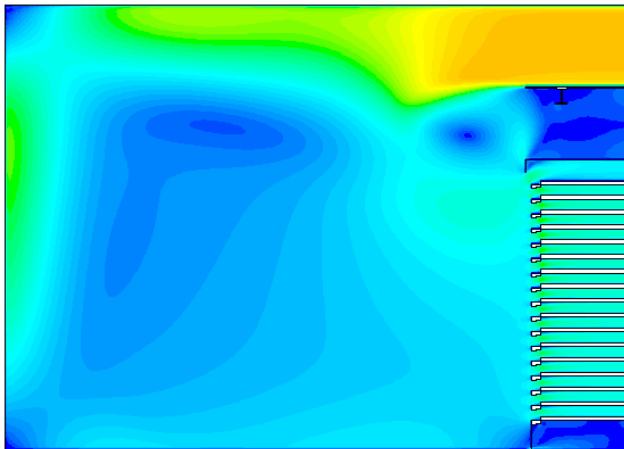
Som vi har sett går en betydelig bypass-strøm over vognene. Det er derfor et behov for undersøking av hvordan blanding av denne kanalen vil påvirke luftfordelingen mellom brettene og således jevnheten i tørkebetingelsene. Vi har forutsatt at dette kan gjøres over den enden av tunnelen hvor vogn med fuktig fisk mates inn (over vogn 16). Vi har videre antatt at dette kan gjøres 100 % tett, noe som selvfølgelig er urealistisk når skinner og vognhengsler må kunne gå gjennom uten fare for mekaniske driftsproblemer. Men simuleringen viser et potensial en kan strebe etter.



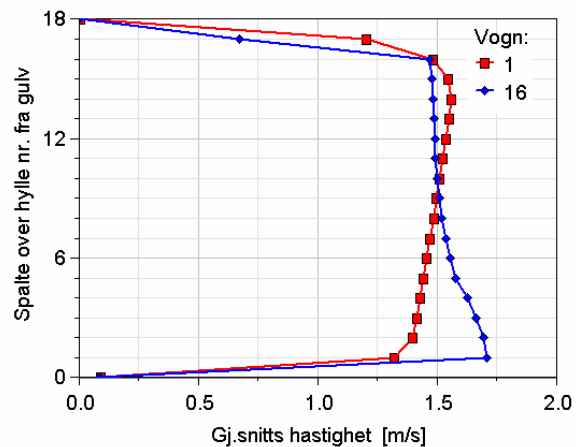
Figur 15. Beregnet hastighetsfelt for modifisert tunnel. Kanal mellom vogntak og himling blendet over vogn 16 (lengst til høyre). Samtlige vogner er påmontert ”skjørt” under oppstrømsenden, se under avsnitt 2.2.2.

Figur 15 viser beregnet hastighetsfelt når samtlige residualer er falt under 0,001. Strømningsmønsteret er nå et helt annet. Virvelen foran vognene er tilsynelatende forsvunnet samtidig som

det nå er sirkulasjon i hele trykkammeret. Hastighetsprofilen ut fra siste vogn ser også ut til å være jevnere.



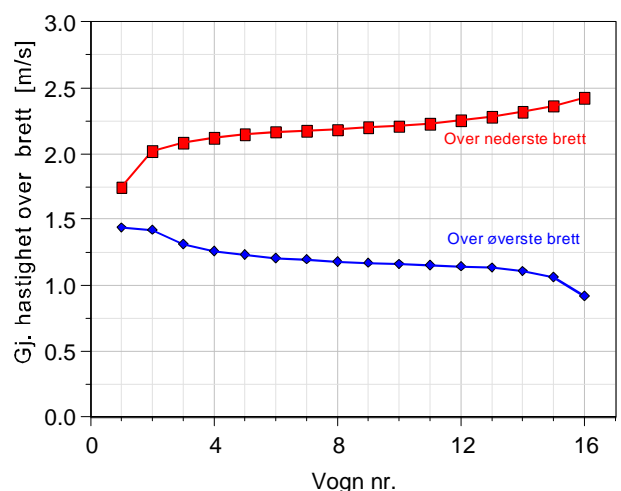
Figur 16. Beregnet hastighetsfelt i trykkammer og ved innløp til vogner. Fargeskala:  $0 < u < 5,5$  m/s.



Figur 17. Beregnet hastighetsprofil gjennom midten av første og siste vogn i tunnelen.

Ved nærmere ettersyn ser vi av Figur 16 en liten virvel over og til venstre for den første voggen. Avhengig av detaljert utforming av vogntak m.m. vil denne kunne påvirke forholdene på denne og de nærmeste reolene. I Figur 17 er hastighetsprofilen opp gjennom første og siste vogn tegnet på samme måte som tidligere i rapporten. Gjennomsnittlig spaltehastighet har nå steget til ca. 1,5 m/s i og med at all luften nå strømmer gjennom og ikke over/under vognene. Tørkepotensialet har derfor økt betraktelig. Men vi ser fortsatt den diagonale, nedadgående strømmingen i tunnelens lengderetning. Forandringen fra innløp til utløp er størst for spaltene over henholdsvis nederste og øverste brett. Utviklingen fremgår mer tydelig av Figur 18. Hastigheten over nederste brettet øker fra ca. 1,75 til 2,4 m/s mens den over øverste brett faller fra ca. 1,4 til 0,9 m/s. Selv om beregningsresultatene til denne forenklete modellen nok avviker noe fra de reelle forholdene, er dette allikevel et grunnlag godt nok til å vurdere tiltak for utligning av disse forskjellene. Vi kan imidlertid ikke bruke mer midler til å gjøre dette i dette prosjektet.

Figur 18. Beregnet forandring av lufthastighet langs tunnelen i spalter over henholdsvis nederste og øverste brett. Dette er middelverdier for vognene målt i en høyde over fisken som tilsvarer senterposisjon mellom to fiskebrett.



### 2.3 SAMMENDRAG FOR LANGBLÅST TUNNEL

Potensialet i å bruke avanserte strømningsprogrammer som Fluent er demonstrert gjennom en rekke simuleringer. En bør imidlertid være forsiktig med å overføre våre funn direkte til den aktuelle industritunnelen. I våre beregninger har vi brukt en noe forenklet 2-dimensjonal og isotherm modell. Det er imidlertid påvist et stort forbedringspotensial og dette er spesielt knyttet til

blending av ikke-tilsiktete gjennomstrømningsveier. Vi har vist at bypass-strømningen er betydelig både over og under vognene, men dette resultat kan også overføres indirekte på den 3-dimensjonale situasjon. Vi aner at avstanden i sideretning mellom vognene er ufordelaktig og at noe burde gjøre her i tillegg til foreslåtte skjørt under hver vogn og blending av kanalen over vognene i den ene enden. Vi har sett at passasjen over vognene medfører, i tillegg til unyttig volumstrøm, ujevn luftfordeling mellom brettene på samme vogn men også skjevheter m.h.t. vognens plassering i tunnelens lengderetning. Ellers ser det ut til at relativt ukompliserte forandringer kan gi en tilnærmet optimal tunnel. Forutsetning for dette er sannsynligvis de relativt store rommene foran og bak vognrekkene.

I et eventuelt videre arbeid med simuleringsmodellen burde en se nærmere på ombygging av vogntakene for å oppnå jevne forhold for fisk på samtlige brett – også det øverste, se ”dødsone” i Figur 9. En burde i tillegg finne ut hva som er optimal sirkulert luftmengde avhengig av fiskeslag og -størrelse. Bedre utforming av vifteblader og –hus og valg av turtall kan en også med fordel undersøke, spesielt med tanke på redusert energibehov, viftestyring m.m.



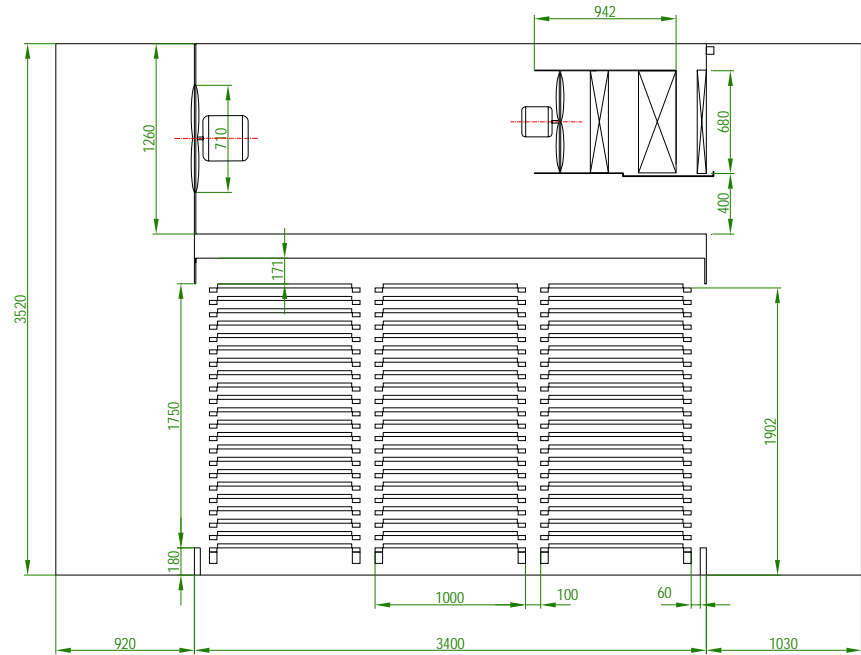
### 3 TVERRBLÅST TØRKE FRIGOSISTEMA

Figur 19. Bilde tatt fra porten inn i den tverrblåste og manuelt opererte tørketunnelen. Tunnelen opereres etter batch-prinsippet. Vognene kan til en viss grad flyttes på i tørkeperioden, om tunnelen ikke er helt fylt.



Dette er en ordinær tverrblåst tunnel som opereres batchvis/satsvis. Fordelen med slike tunneler er at det ikke er bemanningsbehov mellom igangsetting og utlasting. Dessuten er det noe mer atkomst til fisken underveis i tørkeforløpet enn i de langblåste. Ulempen er først og fremst høyere energiforbruk fordi det sirkuleres 6-8 ganger mer luft enn i de langblåste. Videre endres prosessen seg mye underveis i disse tørkene og de er ganske ineffektive i siste del av forløpet når både fisken og tørkeluften er blitt tørre. I denne tørken passerer luften gjennom 3 vognrekker for hver gang den passerer viftene. Det er 2 luftbehandlingsaggregater montert oppe på himlingen som gjennomstrømmes av ca 20 % av tunnelluftstrømmen. Derfor sirkulerer luften i gjennomsnitt 5 ganger gjennom tunnelen og viftene før den avfuktes og varmes opp. Til forskjell fra Optimar-tunnelen fylles og tømmes denne manuelt. Brettene stables på vogner. Strømningsretningen for tunnelluften snues regelmessig ved at rotasjonsretningen på viftene snues.

I tunnelen er det plass til  $3 \times 8 = 24$  vogner sammenlignet med  $5 \times 16 = 80$  i den forrige. Antall brett pr. vogn er dog noe større, 22 mot 17. For Frigosistema-tunnelen som helhet utgjør disponibelt netto brettareal ca. 37 % av Optimar-tunnelen.



Figur 20. Målsatt skisse av tunnelens tverrsnitt.

Som vist i Figur 20 har tunnelen to sett med vifter. Over himlingens venstre kant står to sett á 6 hovedvifter. Viftene er montert slik at annenhver er bygget for luftretning mot høyre og annenhver mot venstre. Viftene står side om side langs tunnelhimlingen som fremgår av Figur 21. Mens viftemotorenes omdreiningretning kan reverseres har propellen faste blader som er optimalisert m.h.t. én luftretning. Det andre sett med vifter er bygd inn i de to luftbehandlingsaggregatene. Aggregatene dekker ca. 1/3-del av tunnelengden. Hvert av aggregatene består av vifte, luftvarmer og -kjøler som er betjent av et kompressorlegg, og en elektrisk luftvarmer. Aggregatviftene suger fuktig luft kontinuerlig fra høyre og blåser den mot hovedviftene. Til tider vil tørrluften bli dratt videre gjennom hovedviftene, mens den i perioder vil møte en sterkere motstrøm og må da reversere og bøye av under og forbi luftbehandlingsaggregatene for siden å stryke over fisken fra den andre siden. Strømningsforholdene er ganske kaotiske. Dette gjelder også luftens fuktinnhold da den, i gjennomsnitt, må passere over fisken omtrent fem ganger før den blir avfuktet.



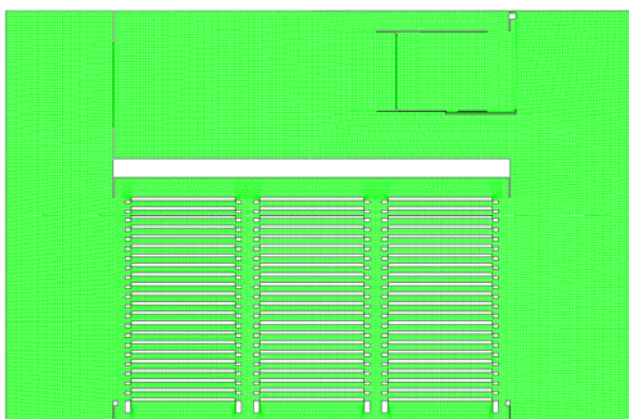
Figur 21. Bilde av hovedvifter plassert langs ene kanten av himlingen.

For å få et entydig bilde av tørkeforholdene i hele tunnelen måtte en lage en 3-dimensjonal strømningsmodell. Slik ville en få fram hvor stor variasjonen var mellom vogner som står under aggregatene i forhold til de som står ved siden av og mellom aggregatene. Prosjektets størrelse

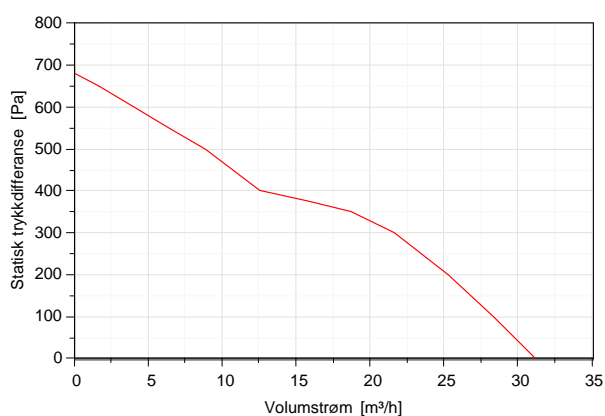
tillater imidlertid ikke en så omfattende analyse. I stedet har vi konsentrert oss om luftfordelingen i ett typisk tverrsnitt gjennom det ene aggregatet for å avdekke ev. kortslutningsstrømmer og variasjon i tørkeforhold mellom brettene avhengig av bl.a. hvilken vei hovedviftene går.

### 3.1 SIMULERINGENS FORUTSETNINGER

Fluidteknisk er modellen så å si identisk med den som ble laget for den langblåste tunnelen. Geometrien er 2-dimensjonal og tverrsnittet er skåret gjennom midten av et luftbehandlingsaggregat. Snittet er modifisert noe for å kunne inkludere senter på både en hovedsirkulasjons- og en aggregatvifte. I motsetning til grensebetingelsene i forrige modell, som hadde konstant påtrykt lufthastighet i vifteåpningene, er nå viftenes trykk/volumstrøms-karakteristikk lagt inn i modellen. I mangel av data er samme form på karakteristikkt brukt på begge viftene. Varmevekslerne er som tidligere modellert som porøse soner, og også her er identiske trykk/volumstrøms-forhold lagt til grunn. Lufthastigheten ut av viftespaltene antas å være jevnt fordelt over en spaltehøyde som er satt lik med viftepropellenes diameter.



Figur 22. Fluent-modellens grid består av 174 tusen celler.



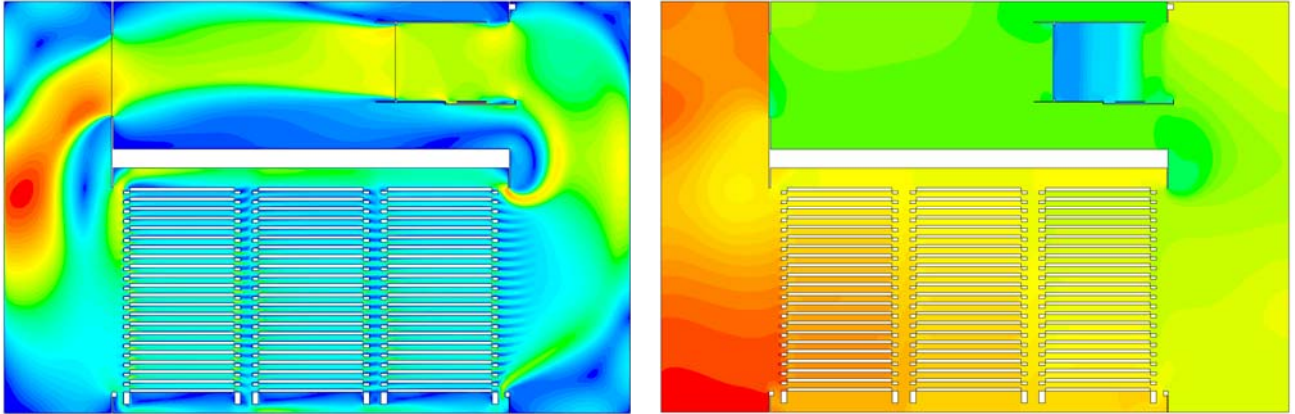
Figur 23. Viftenes karakteristikkt. Driftsområdet vil være i nedre høyre område der hvor  $dP_{stat} < \sim 300$  Pa.

### 3.2 RESULTATER

Det er kjørt simuleringer for to forskjellige driftstilstander: Driftstilstand A hvor begge viftesettene blåser samme vei og luften strømmer fra luftbehandlingsaggregat, gjennom hovedvifter, gjennom de tre reolene for siden å vende tilbake. I driftstilstand B blåser hovedviftene mot høyre slik at resirkulasjonsstrømmen kolliderer med tørrluftstrømmen fra aggregatene.

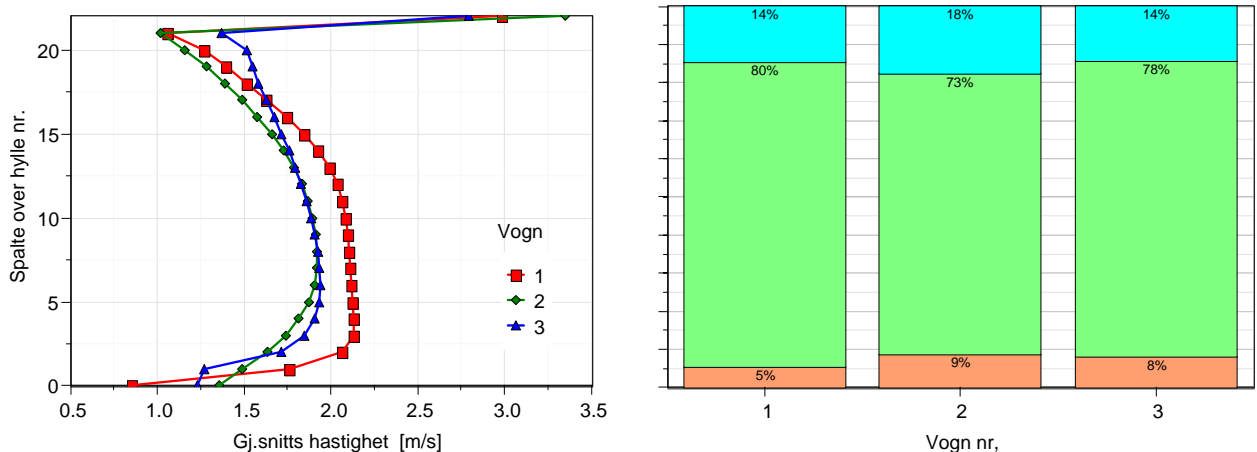
#### 3.2.1 Driftstilstand A – Full viftehastighet

Figur 24 viser beregnet hastighets- og trykkfelt for tunnelen når viftene går for fullt og blåser samme vei fra høyre mot venstre i rommet over himlingen. Vi ser at det slår en sterk stråle ut av hovedsirkulasjonsviftene ned langs veggen og mot gulvet. En betydelig luftstrøm går over vognene mens listen langs gulvet hindrer for det meste luften i å strømme under vognene. Dette sammenfattes bedre i høyre del av Figur 25. Her fremgår det at ca. 14 % av luftstrømmen går over den første vognen med fisk. Dette er den delen som ikke bidrar til tørking av fisken på øverste brettet da beregningene er korrigert for en tilsynelatende (virtuell) spalte over øverste brettet med



Figur 24. Resultat av Fluent-simulering av viskøs, isoterm strømning. Hastighetsfelt til venstre ( $0 < u < 8,5$  m/s) og statisk trykkfelt til høyre ( $-220 < P < 5$  Pa).

samme dimensjon som de øvrige. Kun ca. 5 % av sirkulert luftmengde strømmer under denne vognen, d.v.s. at til sammen bidrar ca. 80 av luften til å tørke fisken på vogn 1. For den midterste vognen er denne andelen redusert til 73 % fordi luften møter større motstand mellom brettene og presses derfor både over og under vognene. Når luften nærmer seg tak- og gulvlistene, som går langs tunnelen mellom vogner og vendekanal, presses noe av luften tilbake mellom de ytterste brettene og bypass-strømmen reduseres med ca. 4 %-poeng.

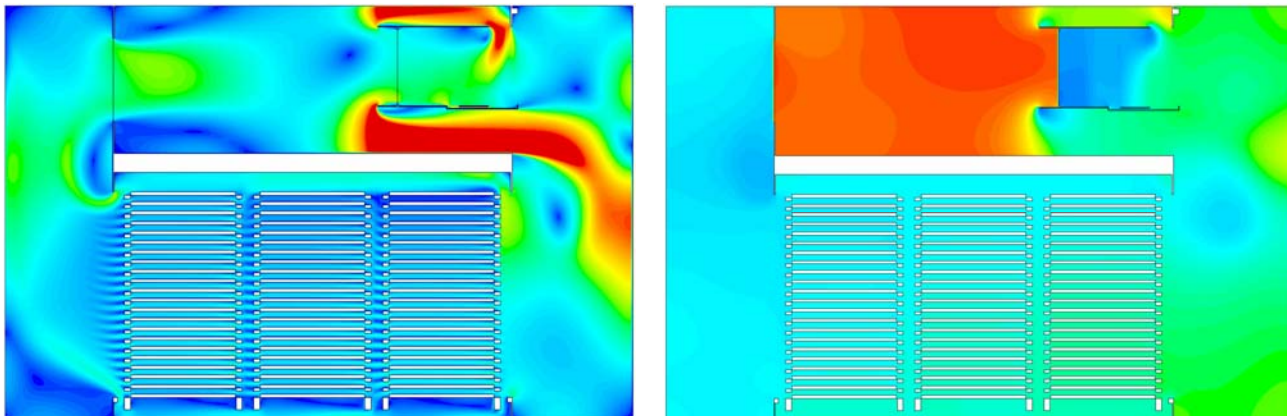


Figur 25. Bearbejdede resultater av Fluent-simulering. Venstre: Hastighetsprofil midt opp gjennom de tre vognene (vogn 1 lengst til venstre og rett under hovedsirkulasjonsviftene). På y-aksen angir 0 gulvet og fisken på nederste hyller ligger i spalte over hylle 1. Fisk på øverste hylle ligger i spalte over hylle 22. Høyre figur: Prosentvis luftfordeling over, gjennom og under vognene.

Denne tunnelen kan dermed synes å ha betydelig bedre luftfordeling enn Optimar-tunnelen som uten modifikasjon utnytter kun ca. 50 % av tørkeluften. Se Figur 11 side 11. Men som vi ser av venstre del av Figur 25 over er luftfordelingen mellom brettene svært skjev. Gjennomsnittlig spaltehastighet er høyest over brettene 5 til 10 (nummerert fra gulv som før), og ligger mellom ca. 1,9 og 2,2 m/s. Høyest er den for brettene på den første vognen. Hastighetene faller imidlertid brått for fisken på de nederste brettene mens reduksjonen er mer gradvis oppover i vognene. Lavest er hastigheten mellom øverste og nest øverste Brett. Her er den ca. 1 m/s, d.v.s. kun ca. halvparten så stor som maksimalhastigheten. Dette vil føre til betydelig ujevn tørking. Fisk på de to nederste og de 5 til 10 øverste brettene vil tørke saktere enn resten i driftstilstand A, som er den dominerende.

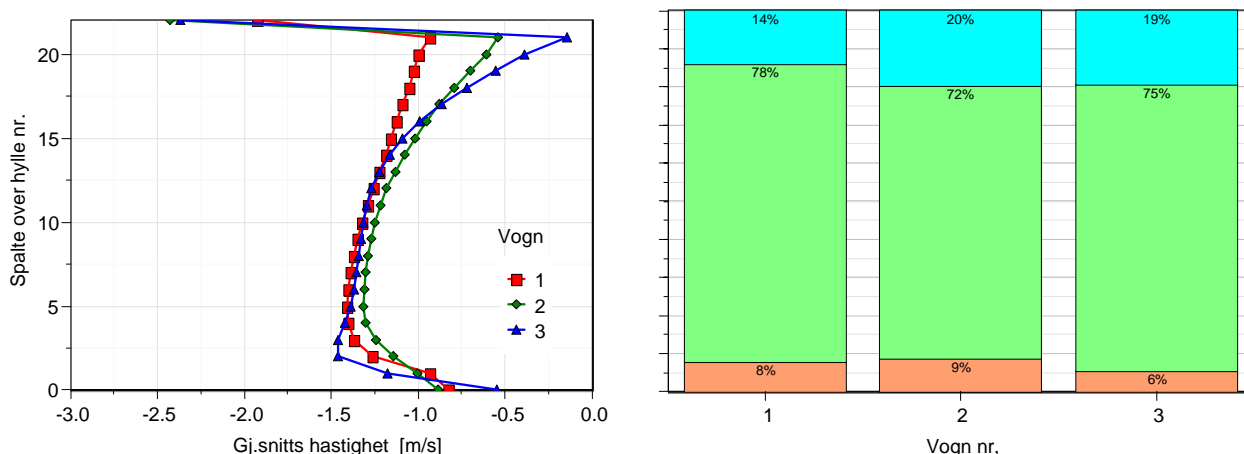
### 3.2.2 Driftstilstand B – Full viftehastighet

Når hovedsirkulasjonsviftene reverseres reduseres volumstrømmen i disse viftene og trykk / volumstrømskarakteristikken forandres. Siden denne karakteristikken ikke har vært tilgjengelig fra leverandøren har vi for enkelthetskyld brukt den samme som under driftstilstand A. Følgende simuleringresultater er derfor mer konsentrert om tunnelens utforming enn installerte komponenter.



Figur 26. Resultat av Fluent-simulering for driftstilfelle B. Hastighetsfelt til venstre ( $0 < u < 8,5$  m/s) og statisk trykkfelt til høyre ( $-50 < P < 125$  Pa). Merk at hastighetskalaen er ”kuttet” ved 8,5 m/s for å lette sammenligning med resultatene for driftstilfelle A. Hastigheten over og under luftbehandlingsaggregatet er større enn bildet til venstre viser.

Når viftene blåser mot hver andre oppstår et svært kaotisk strømningsbilde over himlingen. Dette fremgår tydelig av venstre del av Figur 26. Simuleringsresultatene viser at luften blir presset med stor hastighet mellom aggregat og himling, og mellom aggregat og tunneltak. Selv om fordelingen vil være noe annerledes i en 3-dimensjonal virkelighet, vil en fortsatt ha utfordringen med å snu luftstrålen som strømmer langs oversiden av himlingen og fordele den jevnt inn på vognene.



Figur 27. Bearbejdede resultater av Fluent-simulering for driftstilstand B. Venstre: Hastighetsprofil midt opp gjennom de tre vognene (merk at luften nå strømmer fra høyre mot venstre og kommer først inn på vogn 3). Negative hastigheter viser at luften strømmer motsatt vei i forhold til driftssituasjon A. Vi ser samme trend som ved A: lavere hastigheter for de øvre hyllene. Figuren til høyre viser prosentvis luftfordeling over, gjennom og under vognene.

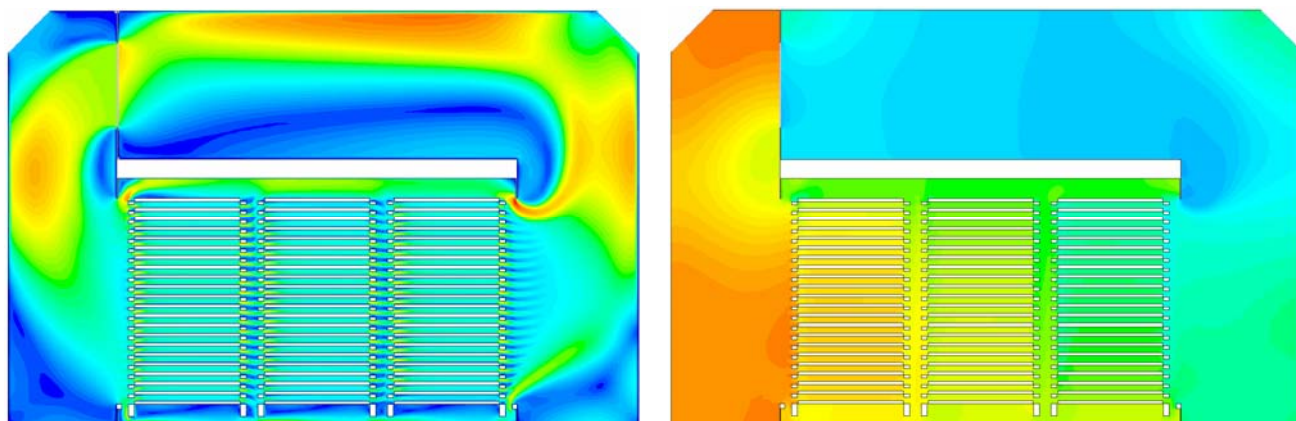
Som vi ser av hastighetsprofilen til venstre i Figur 27 har sirkulert luftmengde falt med mer enn  $\frac{1}{4}$ -del. Dette ser vi av at maksimal hastighet er nå ca. 1,5 m/s i stedet for 2 m/s når viftene blåste samme vei under driftsforhold A. Hastighetsprofilen er også minst like skjevt som før, og tørkeforholdene er fortsatt dårligere desto høyere opp i vognene fisken ligger. Hastigheten over nest

øverste brett i vogn 3 er nå mindre enn 1/7-del av maksimalhastigheten. Det er de samme brettene som får lavest lufthastighet og de dårligste tørkebetingelsene i driftstilfelle B som i A og resulterende skjevtørkingen vil ikke utjevne seg om luftretningen snues. Resultatene av prosentvis luftfordeling, se figuren til høyre, indikere en noe større bypass-strøm enn under driftstilstand A. Spesielt gjelder dette for vogn 3 som har mistet 3 %-poeng med nyttig tørkeluft.

### **3.2.3 Forslag til tiltak for å forbedre tunnelen**

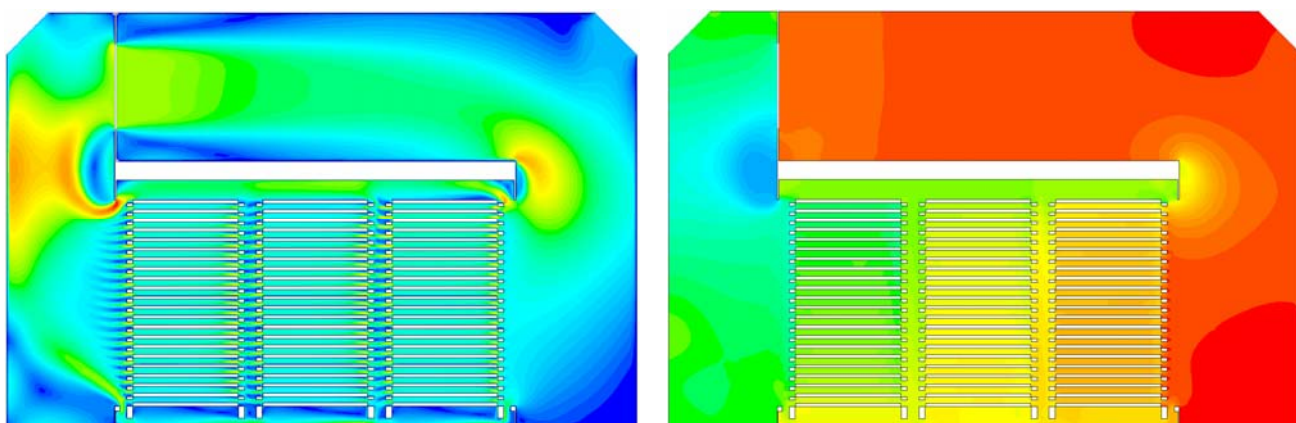
Simuleringene viser at tørkeforholdene er svært ulike avhengig av driftstilstand. Hovedgrunnen til dette er at selve luftbehandlingsaggregatet er plassert inne i hovedluftstrømmen og at det i det ene tilfellet bidrar til å øke sirkulert luftmengden mens det i det andre representerer en obstruksjon og en forstyrrelse. Hvis aggregatet tas ut av tunnelen for å tørke en fuktig delstrøm som siden føres tilbake til tunnelens trykkside, vil tørkeforholdene kunne bli mer uavhengige av om hovedviftene suger (A) eller blåser (B) luften over himlingen. Hvordan delstrømmen tas ut av hovedsirkulasjonsstrømmen og føres tilbake igjen kan gjøres på mange måter. Alternativet som vi her presenterer innebærer en "hjemmelaget løsning" bestående av langsgående kanaler oppe under taket på begge sider av himlingen. For enkelthets skyld, og med tanke på lett rengjøring, ser vi for oss at kanalene lages av perforerte, 500 mm brede plater som hengsles fra taket under 45° vinkel og låses til veggen. Jevn luftfordeling langs kanalen oppnås ved riktig perforering av platene. I simuleringen forutsetter vi at en har fått dette til, men i praksis vil dette forutsette at en f.eks. velger mange og små hull og at perforeringsgraden varieres systematisk langs disse kanalene.

I vår 2-dimensjonale simuleringsmodell forutsetter vi at 1/5-del av det som går gjennom hovedviften føres til luftbehandlingsaggregatet og avfuktes. Med utgangspunkt i viftetekarakteristikkene for hovedviftene og luftmengder som under driftstilfelle (A) her foran, tilsvarer dette gjennomsnittlige påtrykte og jevnt fordelte hastigheter på 3,68 og 1,05 m/s i viftetverrsnittet for henholdsvis hovedviften og inn- og utsugningen til aggregatet. Resulterende beregnede hastighets- og trykkfelt fremgår av Figurene 28 og 29.



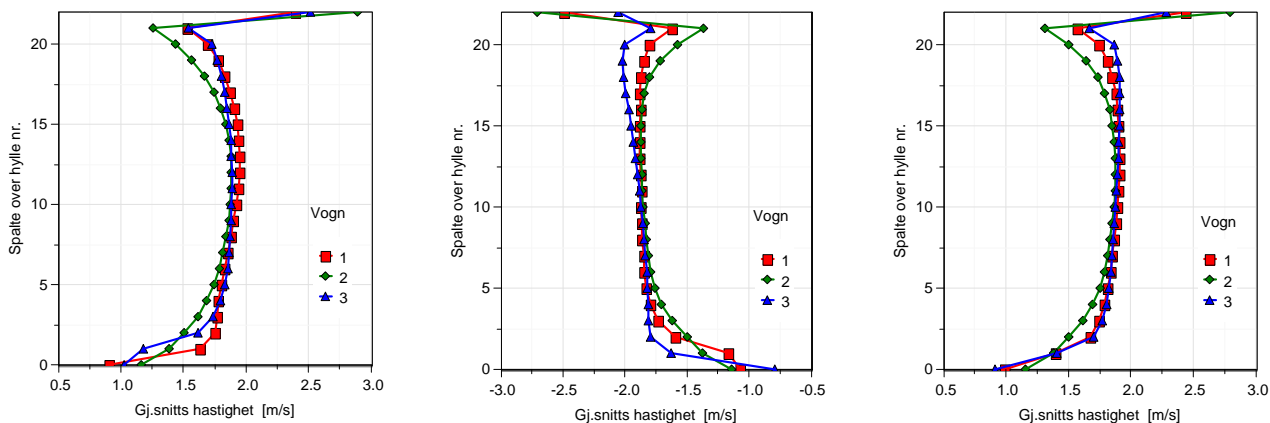
Figur 28. Resultater av Fluent-simulering for driftstilstand A (luften strømmer mot urvisernes retning). Hastighetsfelt til venstre. Skala  $0 < u < 6,5$  m/s. Felt for statisk trykk til høyre. Skala:  $(-90 < P_{stat} < 10 \text{ Pa.})$ . Kanalene utgjøres av de øverste hjørnene i tunnelverrsnittet.

I Figur 28 er luftretningen slik at hovedviften blåser rett mot venstre tunnelvegg. Avfuktet luft fra luftbehandlingsaggregatet kommer inn i tunnelen i hjørnet oppe under taket, og p.g.a. luftens spiralbevegelse ut fra viften, vil den i praksis blandes godt inn i hovedstrømmen før den når den første vognen. En oppfuktet delstrøm suges ut av tunnelen i øverste hjørne til høyre.



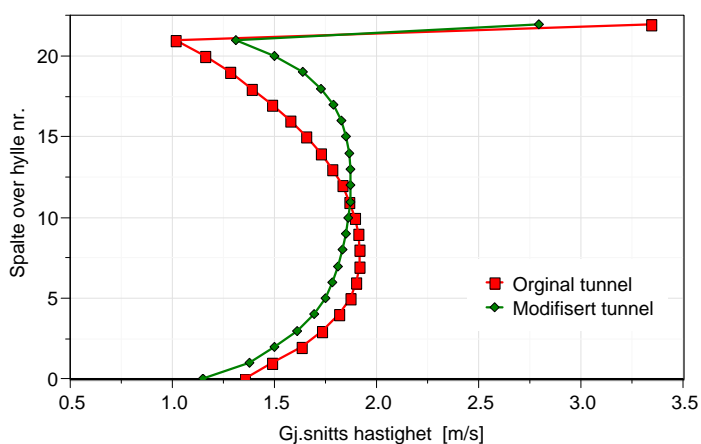
Figur 29. Resultater av Fluent-simulering for driftstilstand B (luften strømmer med urvisernes retning). Hastighetsfelt til venstre. Skala  $0 < u < 6,5$  m/s. Felt for statisk trykk til høyre. Skala:  $(-50 < P_{stat} < 50 \text{ Pa.})$ .

Figur 29 viser den andre driftstilstanden. Hovedviftene er blitt reversert og blåser nå over himlingen mot tunnelens høyre vegg. Den avfuktete luften strømmer inn i tunnelens øverste høyre hjørne og suges ut fra hovedviftens ”sugekammer”. I modellen har en forutsatt konstant sirkulert luftmengde, noe som innebærer at energibehovet til viftemotorene vil være størst under driftstilfelle A. Viftene kaster her luften inn i en nærliggende vegg og må jobbe mot et høyere trykk.



Figur 30: Beregnede hastighetsprofiler opp gjennom midten av de tre vognene for (fra venstre) driftstilstand A, B og gjennomsnittet av A og B (tallverdier)

For å vurdere tørkeforholdene er lufthastigheten i vognenes spalter plottet i Figur 30 for begge driftstilstander og som gjennomsnittlig verdi uavhengig av luftretning. Resultatene viser at fiskene på midterste vognen overstrømmes av noe lavere hastigheter enn fiskene på vogn 1 og 3. Spesielt gjelder dette for de fire nederste og de fire øverste tørkebrettene, og kommer av at luftstrømmen tvinges delvis over og under den midterste vognen. Når den luften som faktisk treffer denne vognen også er delvis oppfuktet etter å ha passert fisken på sidevognene må en regne med noe forlenget tørketid for midtvognen. Selv om tørkeforholdene jevnt over er dårligst øverst og nederst i vognene er situasjonen blitt atskillig forbedret i forhold til dagens tunnelutforming.



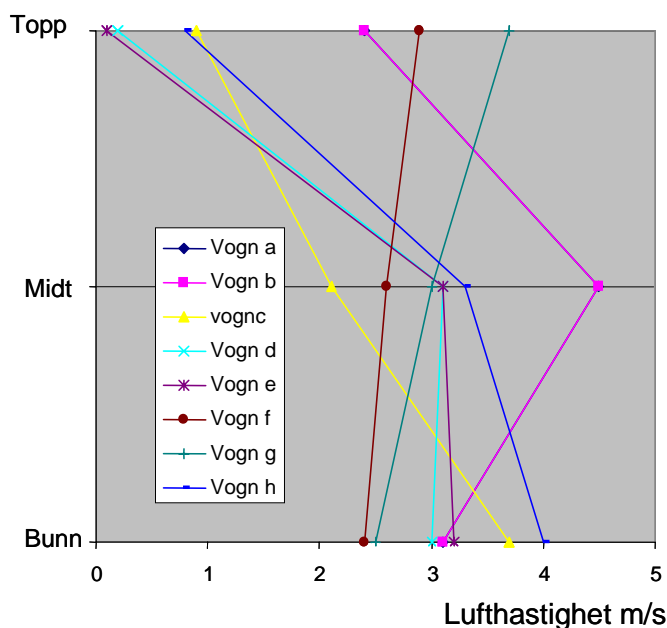
Figur 31: Beregnet hastighetsprofil opp gjennom midterste vogn for original og modifisert tunnel.

Av Figur 31 fremgår at forskjellen i lufthastighet mellom brettene har falt fra ca.  $1,9 - 1,0 = 0,9$  m/s (54 % av gjennomsnitt) til  $1,9 - 1,3 = 0,6$  m/s (33 %) ved å ta luftbehandlingsaggregatet ut av selve tunnelen. Om dette er tilstrekkelig jevnt må anleggets eiere vurdere, men forbedringspotensialet er klart til stede. Konstruksjonsmessige tiltak rundt endene av himlingen, installasjon av skråplater, flytting av viften er blant tiltak som burde vurderes.



## 4 SAMMENLIGNING MED MÅLINGER PÅ TUNNEL

I rapporten TRF6320 *Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker* er målingene fra anleggene behandlet i detalj. Her beregnes blant annet mengde sirkulert luft i tunnelene ut fra enkeltmålinger som vist i Figur 32, målinger på viftene, ytelser på kuldeanlegget og balanse for fuktigheten i luften. Disse verdiene er en del av grunnlaget også for simuleringene. Lufthastighetsmålingene ble gjort med en propellmåler hvor både øyeblikksverdi og middelvei kunne avleses. For det meste ble middelveiavlesningen brukt og med en midlingstid på 5 til 10 s. Trykkdifferansemålinger ble forsøkt uten godt nok resultat. Det er svært mange forskjellige strømningsmønstre i tunnelene og strømmingene endres også i tid. Ved å holde lufthastighetsmåleren i ro kan det avleses tidsvariasjon i hastighet. Det er gitt et eksempel på manuelle lufthastighetsmålinger i Figur 32.



Figur 32. Målte lufthastigheter i Frigosistema-tørken. Målingene ble gjort i driftstilstand B (se kapittel 3.2.2). Det er målt lufthastighet på nederste, midtre og nest øverste Brett og målingene er gjort midt på sidekanten av brettene. Det ble målt på 7 av de 8 vognene fra porten (vogn b) og ned til bakerste del av tunnelen (vogn h). Vogn a er helt oppe ved porten som var ca 25 cm åpen (i bunn) og derfor ble ikke lufthastigheter i vogn a målt, bare de 7 vognene b, c, .. h.

Verdiene i Figur 32 er direkte sammenlignbar med vogn 3 i Figur 27 som viser simulerte verdier. Bunn, midt og topp i Figur 32 tilsvarer 1, 11 og 21 på y-aksen i Figur 27. Vi ser samme/lignende form på kurvene c, d, e og h og delvis b og verdiene har samme størrelsesorden. Det tyder på at strømningsmønstret i tunnelen i denne driftstilstanden er som simuleringen viser. Men figuren viser også den store variasjonen i lufthastigheter fra vogn b til vogn h, og det får vi ikke med i simuleringen fordi denne er 2-dimensjonal. De to luftbehandlingsaggregatene dekker til sammen bare omtrent en tredel av lengden i tunnelen. I simuleringen er det forenklet til å se på bare de delene av tunneltverrsnittet hvor det er aggregater, slik som ved for eksempel vognene b og c, mens det ved for eksempel vognene d og e ikke er aggregater i nærheten og en kan derfor forvente litt annerledes strømming enn den simulerte.

## 5 PRAKTISK NYTTE AV SIMULERINGSMODELLENE

I kapitlene 3 og 4 er det vist eksempler på modifikasjoner på tunnelene for å forbedre de minst heldige løsningene som er påvist både ved målinger på anleggene og ved simulering. Effekten av disse endringene er vist fra simuleringresultater. Det kan tenkes andre måter å avhjelpe disse

problemene på også, uten at det er tatt tid til å legge disse inn i modellen. Videre kan modellene selvsagt benyttes til å forbedre andre sider ved disse tørketunnelene enn foran nevnte problemområder.

Når det gjelder design av nye tunneler kan det tas utgangspunkt i foreliggende modeller og disse kan endres etter behov. I rapporten er det vist hvordan den tverrblåste tunnelen vil virke om en delstrøm (ca 20%) av luftstrømmen trekkes ut for avfuktning og oppvarming. Dette er svært aktuelt for nye tunneler. Det er i det følgende gitt noen eksempler på oppgaver som kan løses med mindre modifikasjoner i eksisterende modeller.

- **Bestemme strømningsmønstrer i tunnelen**

I kapitlene 2 og 3 er det gjennomgått ulike strømningsmønstre som kan leses fra simuleringresultatene. Kunnskap om strømningsmønstre i tunnelene er nødvendig for å finne fram til effektive tiltak for forbedringer. Noen forslag til forbedringer er allerede foreslått og evaluert gjennom simuleringene: installasjon av gummilister under og luftsperrer over vognene i Otimar-tunnelen og separat uttak og tilførsel av luft til behandlingsaggregatene i Frigosistema-tunnelen.

- **Studere virkning av endringer i tunnelene**

Det er, i de fleste tilfeller, enkelt å legge inn geometrien for endringer som luftspoilere/ledeplater og endringer i tverrsnittsarealer, varmevekslerdesign og viftekapasiteter for å kjøre simulering og studere effekten. Dette kan brukes til å optimalisere endringene og beregne potensialet for forbedringene. Større jevnhet i lufthastighet kan kvantifiseres i jevnere vanninnhold i ferdig tørket klippfisk og reduserte by-passtrømmer gir større kapasitet på anlegget og lavere energibehov.

- **Studere virkning av redusert viftehastighet**

I siste halvdel av tørkeforløpet i batchtørker er det motstanden mot fukttransport internt i fiskene som er dominerende og viftekapasiteten kan reduseres betydelig uten mye tap i tørkehastighet. Et spørsmål man da stiller seg er hvordan luftfordelingen vil endres om viftene reduseres. Det kan enkelt studeres ved å kjøre en simulering. Man vil finne ut hvordan fordelingen av luft blir mellom brettene og om det inntreer nye strømmingseffekter som får betydning. Man kan videre evaluere eventuelle tiltak for skjevfordelinger som oppstår ved redusert viftedrift.

Jevnhet i tørkingen som funksjon av viftekapasitet kan selvsagt også sjekkes for langblåste tørker i den geometrien som er programmert (Optimar-tørken).

## 6 SAMMENDRAG

To tørketunneler, en langblåst og en tverrblåst, er beskrevet i simuleringsprogrammet Fluent og det er utført simuleringer av luftstrømmer i tørkene. Resultatene er sammenlignet med målinger på anleggene. Simuleringene påviser betydelige problemer med luft i bypass forbi reolene med fisk i den langblåste tørken og skjevfordeling mellom brettene i den tverrblåste. Det er foreslått noen forbedringer og effektene av disse er påvist i simuleringsresultatene. Andre endringer på tunnelene kan legges inn i modellene for en evaluering av nytteverdi. Et eksempel på anvendelse av modellen er å redusere viftekapasiteten på den tverrblåste tunnelen for å studere effekten av redusert luftstrømning i siste del av tørkeforløpet.

For de endringene på Optimartunnelene som er lagt inn i simuleringsmodellen, er det funnet en økning i nyttig andel av luftstrømmen fra dagens situasjon med 54% i første vognrekke og 47% i siste vognrekke til nesten 100% for begge. Videre er det funnet at variasjonen i lufthastighet mellom de ulike høydene for brettene er redusert og hyller med laveste lufthastighet (ca 0,3 m/s) får mer enn doblet lufthastigheten til omtrent 0,7 m/s som en svært nyttig tilleggseffekt. Det betyr at en avblending for by-passluften gir høyere kapasitet på anlegget og mindre slakkfisk.

Fra simulering endringer på batchtunnelen fremgår at forskjellen i lufthastighet mellom brettene har falt fra 0,9 m/s (54 % av gjennomsnitt) til 0,6 m/s (33 %) ved å ta luftbehandlingsaggregatet ut av selve tunnelen. Dette betyr jevnere tørking.

**SINTEF Energiforskning AS**  
Adresse: 7465 Trondheim  
Telefon: 73 59 72 00

**SINTEF Energy Research**  
Address: NO 7465 Trondheim  
Phone: + 47 73 59 72 00