

# H-rista som et fiskevennlig inntak

**Mari Wigestrands**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Jochen Aberle, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vann- og miljøteknikk





## MASTEROPPGÅVE

**Kandidat:** *MARI WIGESTRAND*

**Tittel:** **H-RISTA SOM FISKEVENNLEG INNTAK**

### 1 BAKGRUNN

Det byggast for tida 30- 50 småkraftverk i året i Noreg, men for at Noreg skal nå måla sine i høve til Fornybarhetsdirektivet til EU, må truleg byggetakten opp i 50 – 80 nye kraftverk per år fram til 2020. I tillegg byggast det nokre nye store kraftverk. Når det byggast kraftverksinntak må det takast mange omsyn m.a. til drift, vedlikehald, investeringskostnadar, produksjonstap og miljø. Når det gjeld miljø er det å sikre passasje for fisk, både opp og ned eit viktig område. Det rettast no både i Noreg og verda auka fokus på passasje for fisk. I den siste tida har forholdet til ål fått mykje merksemd og det er spesielt nedvandring av vaksen ål som skaper store utfordringar saman med bygging av kraftverk.

Det nye inntakskonseptet H-rista har blitt testa på Vassdragslaboratoriet til NTNU hausten 2013. Inntaket nyttar tilbakespyling over ei horisontal rist, slik at drivgods som kjem inn til varegrinda vert spylt ut under inntaket. Dersom det nyttast liten lysopning (t.d.  $l < 10 - 16$  mm), vil det kunne hindre at fisk/ål kjem inn i sjølve inntaket, og kan spylast ut under inntaket regelmessig eller når det er påvist fisk/ål i inntaket. Etter ei grov vurdering har H-rista potensiale til å kunne tene ein funksjon med forbileiing av ål i retning nedstraums.

Modellen med H-rista vil vere tilgjengeleg i Vassdragslaboratoriet i heile vårsemesteret 2014.

## **2 HOVUDPUNKT I OPPGÅVA**

Arbeidet med masteroppgåva vil innehalde følgjande hovudpunkt:

1. Litteraturstudium av vilkår og forhold for a) nedvandring av ål og b) funksjonen til ulike typer kraftverksinntak med tanke på nedvandring av ål.
2. Gjennomgang av prosjektmateriale for testar utført med H-rista og eventuelt liknande inntak.
3. Vurdering av instrumentering og oppsett for målinga på modellen av H-rista med tanke på materialet i 1. og 2.
4. Køyning av forsøk på med H-rista modellen med måling av parametrar som er interessante/avgjerande for nedvandring av ål.
5. Fagleg vurdering av resultat ifrå modellforsøk
6. Vidare forslag til geometrisk utforming for H-rista for å gjere inntaket betre med tanke på fiskepassasje.
7. Vurdering av H-rista som pilotforsøk i fullskala på eit nytt eller eksisterande kraftverk.
8. Rapportering.

Innhaldet i masteroppgåva vil bli nærmare avgjort av rettleiar på basis av forhold som kjem fram etter kvart som arbeidet går framover.

## **3 RETTLEIING, DATA OG INFORMASJON**

Formell rettleiar vil vere Professor Jochen Aberle på NTNU. Medrettleiar vert Stipendiat Hanne Nøvik (fram til 1. mars 2014) og Seniorforskar Hans Petter Fjeldstad, Sintef.

Diskusjon med, og bidrag frå, kollegaer og medarbeidarar med NTNU, SINTEF, NVE, kraftselskap, leverandørar og rådgivarar vert tilrådd. Bidrag som går inn i oppgåva skal alltid refererast til på rett vis.

#### **4 RAPPORTFORMAT, REFERANSAR OG ERKLÆRING**

Oppgåva skal skrivast i eit tekstbehandlingsprogram slik at figurar, tabellar, foto osv. får god rapportkvalitet. Rapporten skal innehalde eit samandrag, ei innhaldsliste, ei liste over figurer og tabellar, ei litteraturliste og opplysningar om andre relevante referansar og kjelder. Oppgåva skal leverast i B5-format som pdf i DAIM og trykkast i tre eksemplar som leverast faglærer/institutt via trykkeri.

Samandraget skal ikkje ha meir enn 450 ord og skal være eigna for elektronisk rapportering.

Prosjektoppgåva skal ikkje leverast seinare enn fredag 10. juni 2014.

Trondheim, 17. januar 2014

---

Jochen Aberle

Professor



## Forord

Denne masteroppgaven med navn ”H-rista som fiskevennlig inntak” er utarbeidet av Mari Wigestrand. Oppgaven er vurderingsgrunnlaget i emnet TVM 4910 Vassdragsteknikk, masteroppgave ved NTNU i Trondheim.

Arbeidsmetodikken har vært en kombinasjon av litteraturstudium og laboratoriearbeid med en modell av en inntakskonstruksjon. Masteroppgaven er en videreføring av prosjektoppgaven ”Fysisk modellforsøk av ny inntakstype for småkraftverk: Horisontalrist” som ble gjennomført høsten 2013 av Mari Wigestrand.

Jeg ønsker å rette en takk til følgende for hjelp med masteroppgaven:

Professor Jochen Aberle, NTNU (hovedveileder)

Dr. Hans Petter Fjelstad, Sintef (medveileder)

Dr. Hanne Nøvik, NTNU (medveileder)

Norges vassdrags- og energidirektorat (som har finansiert modellen)

Beatriz García Navarro (student som jeg har gjort forsøkene sammen med)

Sist, men ikke minst ønsker jeg å takke til familie og venner.

Trondheim 4. juni 2014

---

Mari Wigestrand





## Sammendrag

I denne masteroppgaven er det sett på den nyutviklede inntakskonstruksjonen for småkraftverk, H-rista, og de hydrauliske forholdene knyttet til nedvandring av fisk. Oppgaven er knyttet til laboratorietester som er blitt utført på en modell av en inntakskonstruksjon bygget i Norsk Hydrologisk Laboratorium med en skala på 1:5. Inntakskonstruksjonen er bygget på en slik måte at varegrinda er lagt horisontalt eller skrått. Det er videre tenkt at fisk som kommer til inntaket skal bli stoppet av den horisontale eller skrå varegrinda slik at fisken ikke svømmer inn i turbinen. Den skal i stedet svømme under inntakskonstruksjonen i en spyleluke, hvor minstevannføringen renner. Fisken vil da ende nedstrøms inntakskonstruksjonen, og kan fortsette nedvandringen til sjøen.

Forsøkene har gått ut på å teste hastighetsfordelingen til inntakskonstruksjonen rundt varegrinda. I modellen er det gjort tester med en horisontalrist (H-rista), en skrårist med vinkling på 28° og en skrårist med vinkling på 39°. Lysåpningene mellom stavene i ristene har vært den samme for alle ristene og så liten at fisk ikke skal ha mulighet til å svømme gjennom rista. Det er også målt falltap for de forskjellige ristene.

Det har ikke vært benyttet fisk under testingen i modellen. I stedet har det vært fokusert på å måle vannhastigheter rundt ristene. Da det ikke er utført tester med fisk, er de målte verdiene sammenlignet med en grensehastighet basert på hvilken vannhastighet fisk klarer å svømme mot over tid. Grensevannhastigheten avhenger blant annet av kroppslengden til fisken og temperaturen på vannet, men i denne oppgaven er det benyttet en fast grensehastighet på 0,5 m/s (i fullskala) for både smolt og ål. Hvis hastighetskomponenten normalt på rista overstiger 0,5 m/s er det fare for at fisken vil henge fast på rista. I oppgaven er det også sett på hastighetsfordelingen parallelt med rista, sveiphastigheten.

Det har vist seg at vannhastighetene normalt på rista har vært høyere enn grensehastigheten på størstedelen av H-rista. For de to skråstilte ristene har størstedelen av vannhastighetene normalt på ristene vært lavere eller lik grensehastigheten. Med få unntak har sveiphastighetene vært høyere enn vannhastigheten normalt på rista. Fra litteraturen er det anbefalt at sveiphastigheten er minst to ganger vannhastigheten normalt på rista, slik at fisken blir ledet bort fra rista.

Ut fra resultatene fra forsøkene ser det ut til at skråristene vil fungere best med tanke på nedvandring av fisk. Skråristene gir også vesentlig mindre falltap enn H-rista. Det er vanskelig å foreslå en bestemt vinkling av varegrinda, siden resultatene fra målingene var relativt like for begge skråristene. En anbefaling for videre studie vil bli gitt i oppgaven.



## **Abstract**

This thesis investigates the suitability of a novel intake construction of a small hydro power plant with regard to the downstream migration of smolts and eels. For this purpose, experiments have been carried out in the NTNU hydraulic laboratory in a 1:5 scale model (Froude-scale) of an intake structure. The intake structure was built with a horizontal trashrack and further modified to enable additional studies using angled trashracks. It was assumed that the fish coming to the intake will be stopped by the horizontal (or angled) trashrack and guided by the flow structure towards the flushing gate in order to pass the intake structure unharmed.

In the scale model experiments, head losses and velocity distributions were determined for the different structures. These encompassed a horizontal rack (H-rack) and tilted racks (at angles of 28° and 39°, respectively). The bar spacing of all studied racks was identical and it was assumed that it was small enough so that fish can not swim through the rack in prototype conditions as experiments with life-fish were not possible. In order to evaluate the fish-friendliness of the structure, flow velocities around the rack have been used as surrogate measure by comparing them with threshold values found in the literature. Although threshold values depend, among other things, on the body length of the fish and water temperature, a fixed threshold velocity of 0.5 m/s in prototype conditions has been used in the present. In this thesis it has also been looked at the rack-parallel velocity.

The results show that, for the horizontal rack, the flow velocities normal to the rack were larger than the threshold velocity for large portions of the rack-area. For the angled racks, the measured data show that flow velocities perpendicular to the rack were below or equal to the threshold velocity. Rack-parallel velocities were always larger than rack-normal velocities. It is recommended from the literature that the rack-parallel velocity is twice the rack-normal velocity to guide the fish towards the flushing gate.

The results are a strong indicator that, with regard to fish-friendliness, the design with angled trashracks is preferable over the horizontal trashrack design. This conclusion is also supported from an operational point of view as it was found that angled racks have a significantly lower head loss than the H-rack. Further studies should therefore focus on the detailed investigation of the inclination-angle of the rack with regard to both hydraulic properties and fish-friendliness.



## **Innhold**

Forord .....	v
Sammendrag.....	vii
Abstract.....	ix
Figurliste .....	xiii
Tabelliste.....	xiv
1. Innledning .....	1
2. Inntak for småkraftverk .....	3
2.1 Funksjonskrav til inntak for vannkraftverk .....	3
2.2 Falltap gjennom varegrind .....	5
2.3 Problemer med fisk i inntak .....	7
2.3.1 Nedvandring av laksesmolt.....	7
2.3.2 Ålens livssyklus i korte trekk.....	9
2.3.3 Nedvandring av ål .....	9
2.3.4 Tiltak for nedvandring.....	10
2.4 H-rista som konsept.....	13
3. Metode.....	15
3.1 Fysisk modellering og skalering av modellen .....	15
3.2 Beskrivelse av modell.....	16
3.2.1 Målemetoder .....	18
3.3 Forklaring av forsøk .....	19
3.3.1 De innledende forsøkene .....	19
3.3.2 Framfangsmåten i hovedforsøkene .....	21
3.3.3 Framgangsmåten i falltapsforsøkene.....	24
4. Resultater og analyser.....	25
4.1 De innledende forsøkene .....	25
4.2 Hovedforsøkene .....	29
4.3 Falltapsforsøkene .....	36
5. Diskusjon .....	37
6. Konklusjon.....	49
7. Referanseliste .....	51
Vedlegg 1 – Sammenligning av vannhastigheter i x-retning med og uten rist.....	53
Vedlegg 2 – Konturplott fra H-rista, normalt på rista og sveiphastigheter .....	55
Vedlegg 3 – Konturplott fra skrårista på 28°, normalt på rista og sveiphastigheter .....	57
Vedlegg 4 – Konturplott fra skrårista på 39°, normalt på rista og sveiphastigheter .....	60



## Figurliste

Figur 2-1 Hovedkomponenter for inntak (hentet fra Jenssen et al. (2006)).	4
Figur 2-2 Ålens livssyklus (hentet fra Thorstad et al. (2011)).	9
Figur 2-3 Prinsippet bak $\alpha$ - og $\beta$ - varegrind. Varegrindene er representert med den stiplede linjen på tegningen. $\alpha$ - varegrind, til venstre, sett fra siden og $\beta$ - varegrind, til høyre, sett ovenifra (Thorstad et al. 2014b).	11
Figur 2-4 Bilde av coandarist. Vannet kommer fra venstre, og rusk samler seg til høyre. Ved A renner vannet gjennom rista. Ved B kan en se "Boulder bars" som skal beskytte rista mot skader fra gjenstander som kommer med elva. Bildet er hentet fra (Skår 2013).	13
Figur 2-5 Til venstre er $\alpha$ -grind som er vinklet for at fisk skal svømme mot overflaten, til høyre er den modifiserte varegrinda som skal få fisk til å svømme mot bunnen.	14
Figur 3-1 Skisse av den fysiske modellen med horisontalgrind, sett fra siden.	16
Figur 3-2 Skisse av den fysiske modellen sett fra siden. Det er kun én av skråristene som er i modellen av gangen.	17
Figur 3-3 En sideveis (til venstre) og en nedadrettet (til høyre) ADV måler avbildet i modellen, sett fra siden. Det er bare brukt en ADV måler av gangen.	19
Figur 3-4 Målepunkter på grinda sett ovenifra.	20
Figur 3-5 Til venstre er det skissert hvor målingene ble gjort, sett fra siden. Til høyre er de målte punktene under rista markert, sett ovenifra.	21
Figur 3-6 Utsnitt av modellen. De røde prikkene viser målepunktene til ADV måleren sett fra siden.	22
Figur 3-7 Målepunktene kategorisert til venstre i $[x_1-x_3]$ og til høyre i $[y_1-y_3]$ , sett ovenifra.	23
Figur 4-1 Sammenligning av vannhastigheten/grensehastigheten i z-retning med og uten rist ved $[x_1, y_1-y_3]$ .	26
Figur 4-2 Sammenligning av vannhastigheten/grensehastigheten i z-retning med og uten rist ved $[x_2, y_1-y_3]$ .	26
Figur 4-3 Sammenligning av vannhastigheten/grensehastigheten i z-retning med og uten rist ved $[x_3, y_1-y_3]$ .	27
Figur 4-4 Markering av målepunktene med de største forskjellene i vannhastighet mellom målingene med og uten rist ved $[x_2, y_1-y_3]$ , sett ovenifra.	27
Figur 4-5 Sammenligning av vannhastigheter i z-retning med og uten rist ved $[x_1, y_1-y_3]$ . Målepunktene er plassert under rista.	28
Figur 4-6 Konturplott av hastighetsfordelingen normalt på rista, målt 5 cm under H-rista, $V_n/V_{gr}$ , sammen med en tabell over de målte verdiene.	30
Figur 4-7 Konturplott av hastighetsfordelingen normalt på rista, målt 5 cm under 28°-rista.	31
Figur 4-8 Konturplott av hastighetsfordelingen normalt på rista, målt 5 cm under 39°-rista.	32
Figur 4-9 Konturplott av hastighetsfordelingen parallelt på rista delt på hastigheten normalt på rista, målt 5 cm under H-rista.	33
Figur 4-10 Konturplott av hastighetsfordelingen parallelt på rista delt på hastigheten normalt på rista, målt 5 cm under 28°-rista.	34
Figur 4-11 Konturplott av hastighetsfordelingen parallelt på rista delt på hastigheten normalt på rista, målt 5 cm under 39°-rista.	35

Figur 4-12 Oversikt over falltapet til de forskjellige oppsettene, sammenlignet med falltapet til en vertikalgrind. ....	36
Figur 5-1 Målte punkter som er lavere enn grensehastigheten, er markert med en rød ring, sett ovenfra. ....	37
Figur 5-2 Bilde med farge i vannet for å kunne observere strømmingen i modellen, fra en måling med horisontalrist, sett fra siden. Fargen i vannet kommer fra røret over rista. ....	38
Figur 5-3 Vektorplott av vannhastighetene under H-rista sett fra siden. Rista er tegnet inn øverst på figuren. ....	39
Figur 5-4 Vektorplott av vannhastighetene rundt 28° rista, sett fra siden. Rista er tegnet på figuren. ....	41
Figur 5-5 Bilder av strømmingen over skrårista på 28° med farge i vannet. Bilde 1 til venstre har fargekilden i øverste nivå, og viser strømmingen i øverste nivå, bilde 2 er fargekilden i det midterste nivået og viser strømmingen i det midterste nivå, bilde 3 er har fargekilden i det nederste nivået, og viser strømmingen i det nederste nivå og bilde 4 helt til høyre har fargekilden i bunnivået og viser strømmingen ved bunnivå. Alle bildene er sett fra siden. ....	42
Figur 5-6 Vektorplott av vannhastighetene rundt 39° rista, sett fra siden. Rista er tegnet på figuren. ....	43
Figur 5-7 Bilder av strømmingen over skrårista på 39° med farge i vannet. Bilde 1 til venstre har fargekilden i øverste nivå, og viser strømmingen i øverste nivå, bilde 2 er fargekilden i det midterste nivået og viser strømmingen i det midterste nivå, bilde 3 er har fargekilden i det nederste nivået, og viser strømmingen i det nederste nivå og bilde 4 helt til høyre har fargekilden i bunnivået og viser strømmingen ved bunnivå. Alle bildene er sett fra siden. ....	44
Figur 5-8 Inntegnet vannstrømmen til H-rista (til venstre), skrårist 28° (i midten) og skrårist 39° (til høyre). Sett fra siden. ....	46
Figur 5-9 Beregnet vannhastighet i spylørøret og spylekammeret ved forskjellige spylevannføringer, med grensehastigheten stiplet inn. ....	47

## Tabelliste

Tabell 2-1 Regneeksempel på falltap til et høytrykksanlegg og et lavtrykksanlegg. ....	6
Tabell 3-1 Oversikt over hovedforsøkene. ....	23



## 1. Innledning

Siden starten av vannkrafteventyret har miljøkravene til anleggene blitt strengere. Kunnskapen om hvilke konsekvenser inngrepene i naturen har hatt og kan få, har medført at det kan stilles målrettede miljøkrav. Det er blant annet kommet krav om konsekvensutredningsprogram (for store kraftverk > 10 MW) eller miljørapport (for små kraftverk <10 MW) i konsesjonssøknaden, hvor en skal utrede hvilke konsekvenser et vannkraftanlegg kan få for det aktuelle området. Gjennom nasjonal og internasjonal lovgiving har norsk vassdragsforvaltning regelverk som tar hensyn til vassdragsøkologien, herunder fisk.

Det blir i Norge bygget mange nye småkraftverk i elver hvert år, og antallet er økende. Dette skyldes blant annet Norges tilpasning til EU's fornybardirektiv (Europabevegelsen 2010). En av de største utfordringene i forbindelse med etablering av nye småkraftverk, er knyttet til inntaket. En forutsetning for god og optimal drift er derfor å ha et velfungerende inntak. Inntaket skal håndtere drivgods, is og sedimenter, noe som kan være krevende. Det bør derfor utformes slik at falltapet minimaliseres og luft ikke trekkes inn i tilløpstunnelen til turbinen. I tillegg til drivgods og is er det ved mange inntakslokaliteter fisk på vandring opp og ned.

Laks vandrer fra sjøen og opp i vassdrag for å gyte. På gytevandringen møter fisken vandringshindre, både naturlige hindre som fosser og menneskeskapte hindringer som blant annet dammer (Nilsson et al. 2005). For å lette fiskens oppvandring har det vært vanlig å bygge fisketrapper eller fiskepassasjer. Den første kjente fisketrappen i Europa ble bygget for mer enn 300 år siden, og etter dette har det vært en stadig utvikling av fisketrapper (Calles & Greenberg 2007; Clay 1995). Det finnes utallige løsninger for å få fisken opp et vassdrag, men desto færre løsninger for å få fisken ned forbi inntaket. Dette er i dag blitt en viktig utfordring å løse, blant annet som følge av EUs vanndirektiv. Direktivet er gjort gjeldende i Norge gjennom vannforskriften, som blant annet krever at vandrende fisk skal ha kontinuitet i sine naturlige vandringsveier i vassdragene.

Fisk vandrer ned med hovedstrømmen i elva. Ved kraftverksinntak i elver går hovedstrømmen ofte gjennom varegrinda og videre inn mot turbinen. Turbinpassasjen innebærer en dødelighet hos fisk som er bestemt av selve turbinen og kraftverkets vannveier (Montén 1985). For å unngå å få fisk inn i turbinen må man stoppe den før den går inn i selve inntaket.

Det har vært påpekt at én av de største utfordringene ved kraftverk framover er nedvandring av ål, og at det mangler kunnskap til å utvikle gode løsninger for å få fisken nedstrøms kraftverksinntaket på en god måte (Thorstad et al. 2014a). Ålen er en truet art og ble omtalt som ”kritisk truet” da Artsdatabankens rødliste kom ut i 2010. På grunn av ålens lengde er det mye større risiko for at den blir skadet eller drept i turbinen ved passering enn for smolt. Dødeligheten for ålen er hele 4–5 ganger større enn for smolt, siden dødeligheten nærmest er lineært avhengig av kroppslengden (Larinier & Travade 2002). Den senere tiden har det både i Norge og internasjonalt vært økt fokus på å få fisk forbi kraftverksinntaket på en skånsom måte. Et sentralt punkt i vannforskriften, som ble vedtatt i 2006, er å opprettholde en toveis

vandring for fisk (Kraabøl 2013). Generelt kan utformingen av inntak med tanke på fiskepassasje bli bedre, og det forskes stadig på å finne bedre løsninger.

En modell av en ny inntakstype med horisontalgrind ble testet nylig (Wigestrånd 2013). Den fungerte slik at man kunne tilbakespyle drivgods på en enkel og grei måte. Modellen fungerte godt til sitt formål, og det ble spurt om denne modellen også kunne brukes til å se på forhold knyttet til nedvandring av fisk.

Den fysiske modellen ble bygget etter anbefalinger fra et ”computational fluid dynamics”-forsøk (CDF-forsøk) (Holmeset 2013) med en inntakskonstruksjon med horisontalrist (H-rist). H-rista har en horisontal inntaksgrind der drivgods skal fjernes fra grinda på en formålstjenlig måte ved hjelp av tilbakespyling. H-rista er laget for å være kostnadseffektiv både med tanke på konstruksjon, drift og vedlikehold.

Fordelen med H-rista er at den rensker grinda for drivgods effektivt. Ulempen er at man får et ekstra falltap gjennom inntaksstrukturen på grunn av den horisontale varegrinda. Dette blir imidlertid noe redusert når den skrå varegrinda blir montert i modellen. En annen fordel med H-rista er at ål lettere kan passere inntaket gjennom spyleluka, fordi ålen oftest nedvandrer nær bunnen (Gosset et al. 2005; Larinier 2008; Russon & Kemp 2011).

Denne oppgaven er basert på forsøk som er gjort i den fysiske modellen. Forsøkene som ble gjort, hadde ikke fokus på tilbakespyling, men spyleløret ble benyttet som en tenkt rømningsvei for fisk der minstevannføringen rant.

I denne oppgaven er det lagt vekt på problemstillinger knyttet til hydrauliske aspekter ved nedvandring av fisk forbi H-rista. Det vil bli gjennomgått viktige parametere for laks og ål, med hovedfokus på ål. Grunnen til at hovedfokuset har vært på ål, er at hensikten med modellen er å få fisken nedstrøms inntaket ved å få den til å svømme under konstruksjonen og gjennom spyleløret. Laksesmolt vandrer i hovedsak nær overflaten, og det kan virke som de ikke liker å svømme under ting. Trygg nedvandring hos smolt kan sikres med andre tekniske løsninger, for eksempel via overflateluker før selve inntaket. Det antas at modellen vil fungere bedre for ål enn for smolt, og den må testes i en fullskalamodell med levende fisk for å gi klarere svar.

Det var ønskelig å vite vannhastigheten rundt rista for å finne riktig vannmengde og utforming for at fisken skulle kunne svømme bort fra rista og ikke bli hengende fast. Tre ulike vinkler på rista ble testet for å se hva vinklingen hadde å si for vannhastighetsdistribusjonen.

## **2. Inntak for småkraftverk**

Inntaket til et kraftverk er området hvor vannet som skal benyttes i kraftproduksjonen blir hentet. For å få et velfungerende inntak er det en rekke ting en må tenke på. Inntaket må tilpasses til stedet det skal plasseres.

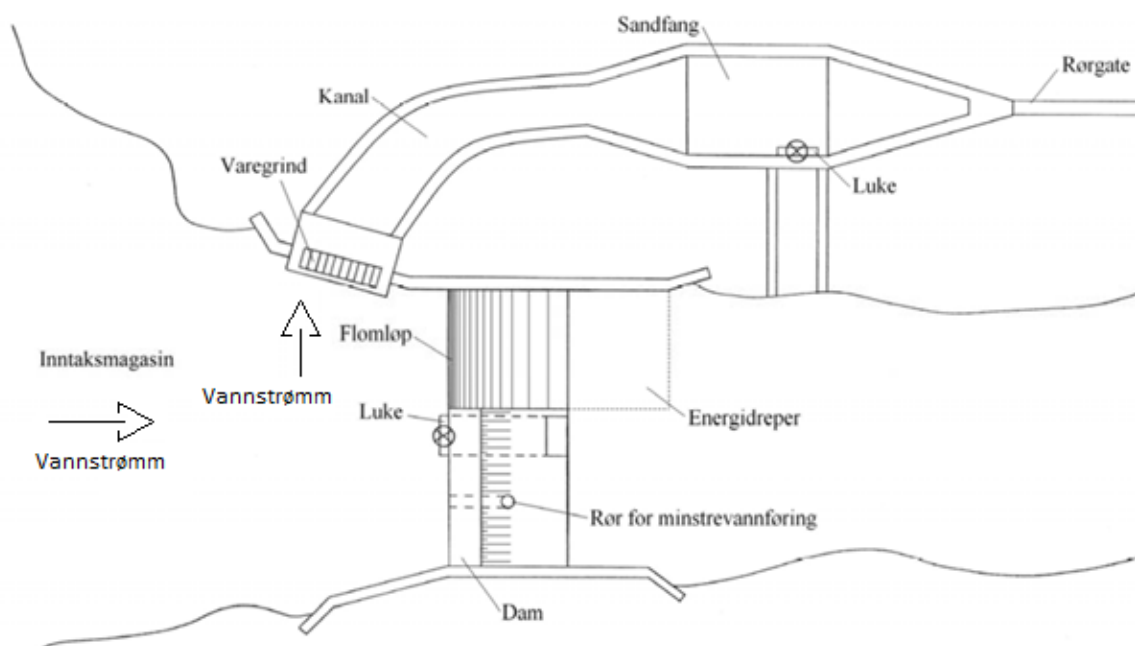
### **2.1 Funksjonskrav til inntak for vannkraftverk**

Det er svært viktig at en har tenkt nøye gjennom plasseringen og utformingen av et kraftverk. Dette gjelder i særlig grad når en planlegger å bygge småkraftverk, og har først og fremst sammenheng med at småkraftverk som regel ikke har et stort inntaksmagasin.

Hovedkomponentene til et inntak er (for eksempel (Nøvik 2013)):

- inntaksmagasin
- dam/terskel
- flomløp/overløp
- energidreperbasseng
- bunntappeluke
- slipp for minstevannføring
- varegrind/grind
- inntaksluke
- rørbruddventil
- kanal/fordelingsbasseng
- sandfang
- rørgate
- lufterør

Figur 2-1 viser et inntak sett ovenfra med de fleste komponentene som nevnt over.



**Figur 2-1 Hovedkomponenter for inntak (hentet fra Jenssen et al. (2006)).**

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) krever at et inntak må ha overløp, bunntappeluke, slipp for minstevannføring, finvaregrind, inntaksluke, rørgate og lufterør. De øvrige komponentene er det vanlig at et inntak har, men de er ikke lovpålagt.

Et inntak har følgende funksjonskrav som det må tilfredsstille:

1) Forbislipping av flommer

En inntakskonstruksjon med overløp skal kunne slippe forbi en dimensjonerende flom uten at overløpet eller inntaket tar skade.

2) Forbislipping av is, drivgods og avfall

Inntaket må være konstruert slik at is, drivgods og avfall slippes forbi og ikke akkumuleres foran inntaket og forårsaker driftsstans. Varegrinda skal hindre at fremmedlegemer fraktes ned til turbinen og forårsaker ødeleggelser. I elver med mye drivgods og is kan varegrinda bli tilstoppet. For å redusere tilstopping på varegrinda kan en enten montere en lense eller et skjørt slik at flytende drivgods blir ledet bort fra varegrinda og inntaket. For at dette skal fungere, må strømningshastigheten være liten nok. En skjønsmessig grensehastighet for flytende drivgods er rundt 0,5 m/s (Jenssen et al. 2006).

3) Forbislipping av sedimenter

En ønsker ikke opphoping av sedimenter i inntaksmagasinet. En bør derfor sørge for jevne strømningsforhold ved inntaket. I elver med mye sedimenter kan det være hensiktsmessig å installere en spyleluke for å spyle sedimenter bort fra inntaket.

#### 4) Kontroll med bunnivå ved inntaket

Elvebunnen foran inntaket skal ikke kunne bygge seg opp og blokkere inntaket. En ønsker å unngå sedimentering rett foran inntaket. Hvis en har spyleluke for sedimenter, bør inntaket plasseres i nærheten av – og helst rett over – spyleluka.

#### 5) Forhindre luftmedrivning gjennom inntaket

Luft som blir med ned i trykksatte rørgater og tunneler kan øke faren for kavitasjon. En kan også få ukontrollerte luftutblåsninger som kan være farlige for 3. person. Luftmedrivning kan også forårsake kavitasjon på turbinen og gassovermetning som kan skade fisk nedenfor kraftverksutløpet.

#### 6) Utfelling av suspenderte sedimenter

I elver med mye suspenderte sedimenter skal en lage et sedimenteringsbasseng der en får lav nok vannhastighet til at sedimenter blir utfelt før de blir transportert gjennom inntaket og ned til turbinen.

#### 7) Ta vare på miljøet

I elver med fisk og rødlistearter må en ta hensyn til deres krav til leveområder og vandringsmønster. Prosjekter kan bli stoppet hvis en finner rødlistearter i den planlagte elva. Det er viktig å finne en riktig minstevannføring på strekninger med fraført vann som tilfredsstiller kravene til en bærekraftig akvatisk økologi. Dette innebærer at vannslippet må tilpasses de forskjellige behov artene har i ulike livsstadier, blant annet under vandring, gyting og oppvekst.

#### 8) Sikkerhet og drift

Det må tas hensyn til hvilke komponenter det er ønskelig og nødvendig å ha tilgang til under drift. Det skal være trygt å fjerne drivgods fra varegrinda. I tillegg til at de som arbeider ved inntaket, skal være trygge, skal også 3. person kunne ferdes sikkert i området.

## 2.2 Falltap gjennom varegrind

Ved planlegging av et kraftverk er det viktig å være klar over falltapene en har gjennom et system. Ved å minimere falltapene kan en øke produksjonen. Som en kan se av formel (2.1), avhenger produksjonen av ulike variabler, i hovedsak trykkehøyde og vannføring. I denne ligningen er  $\rho$  tettheten til vannet,  $\eta$  er virkningsgraden til turbinen,  $Q$  er vannføringen til turbinen,  $g$  er tyngdens akselerasjon, og  $H$  er trykkehøyden.

$$P = \rho * \eta * Q * g * H \quad (2.1)$$

Trykkehøyden finner en ved å ta fallhøyden og trekke fra alle tap. Jo mer tap en har, desto mindre produksjon får en. En kan bygge varegrinder som har lite falltap, og en kan utforme inntaket slik at det får minst mulig falltap, men dette må kostnadsoptimeres for å se hvilke tiltak som er mest lønnsomme.

Falltaptet gjennom en varegrind kan beregnes ved å se på Kirschmer-Mosonyis formel, Idelchiks formel eller Meusbugers formel (Jenssen et al. 2006). Det er benyttet Kirschmer-Mosonyis formel i denne oppgaven. Den tar utgangspunkt i brutto vannhastighet over grinda og stavenes avstand og form.

$$\Delta H = k_F * \left(\frac{t}{b}\right)^{4/3} * \frac{v_R^2}{2g} * \sin \alpha * k_\delta \quad (2.2)$$

I formel (2.2) representerer  $\Delta H$  falltaptet,  $k_F$  er en konstant som er avhengig av formen på grindstaven (jo lavere  $k_F$ , desto bedre er utformingen på staven),  $t$  er tykkelsen på staven, og  $b$  er lysåpningen mellom staven,  $v_R$  er vannhastigheten gjennom grinda basert på brutto grindareal,  $\alpha$  er vinkelen mellom grindstavene og horisontalplanet og  $k_\delta$  er en faktor som avhenger av skjevstrømningen mot varegrinda. Koeffisientene er å finne i Inntakshåndboka (Jenssen et al. 2006). En starter med å regne ut  $v_R$ , gitt av formel (2.3).

$$v_R = \frac{Q_R}{H_R * B_R} \quad (2.3)$$

$Q_R$  er vannføringen gjennom grinda, og  $H_R$  og  $B_R$  er høyden og bredden på grinda. Ved hjelp av formel (2.2) og (2.3) finner en falltaptet på en ren varegrind, men ved tilstoppede varegrinder blir falltaptet svært mye større.

Av formel (2.1) ser en at trykkehøyden er én av komponentene produksjonen avhenger av. For et høytrykksanlegg og et lavtrykksanlegg er falltaptets prosentvise betydning ulik. Typiske grensebetingelser for et høytrykksanlegg og et lavtrykksanlegg er vist i et regneeksempel i Tabell 2-1.

**Tabell 2-1 Regneeksempel på falltap til et høytrykksanlegg og et lavtrykksanlegg.**

<u>Høytrykksanlegg</u>	<u>Lavtrykksanlegg</u>
Fallhøyde: 150 m	Fallhøyde: 15 m
Vannføring: $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$	Vannføring: $Q = 5,0 \text{ m}^3/\text{s}$
Virkningsgrad: $\eta = 0,9$	Virkningsgrad: $\eta = 0,9$
Falltap: 1 m	Falltap: 1 m
Produksjon uten falltap: 662 kW	Produksjon uten falltap: 662 kW
Produksjon: 657 kW	Produksjon: 618 kW
Tapt produksjon pga falltap; 0,67 %	Tapt produksjon pga falltap; 6,67 %

For et lavtrykksanleggs vedkommende viser regneeksempelet at falltapet har mye å si for tapt produksjon. For slike anlegg er det viktig å gjøre falltapet minst mulig.

En må passe på at hastigheten over grinda ikke blir for høy for å unngå store falltap. Kravet til maksimal vannhastighet over grinda og gjennom inntaksluka er 0,5 m/s (Jenssen et al. 2006).

### **2.3 Problemer med fisk i inntak**

Ved inntak utenom perioder med flomspill og uten tilrettelagte nedvandingsruter for nedvandrende fisk er den eneste nedvandingsveien gjennom turbinen. Hvor stor prosentvis andel fisk som blir drept eller skadet, avhenger blant annet av turbintypen, antall skovler på turbinen, fallhøyden og lengden på fisken. I tillegg kan det være dødelighet og subletale effekter på fisk i vannveiene før og etter turbinen som blant annet skyldes trykkendringer og kollisjon med tunnelvegger. I en peltonturbin er dødeligheten for fisk 100 prosent.

Peltonturbiner er fristråleturbiner med to til seks vannstråler mot skovlene, og de benyttes ved fall mellom 500 og 1300 meter. Francisturbiner har en fiskedødelighet mellom 5 og 90 prosent, mens en kaplanturbiner har en fiskedødelighet på mellom 5 og 20 prosent (Kraabøl 2013). Francisturbiner betraktes ofte som mer skadelige enn kaplanturbiner, men dette er en sannhet med modifikasjoner. Grunnen til at det ofte dør mer fisk i elver med francisturbiner, er ifølge Eicher (1987) knyttet til kraftverkets plassering og andre karakteristikk ved kraftverket. En francisturbin er ofte kombinert med større fallhøyde enn en kaplanturbin, og dette gir høyere hastigheter på vannet (Kraabøl 2013).

Fisk vandrer med hovedstrømmen i elva. Ved kraftverksinntak i elver går hovedstrømmen normalt gjennom varegrinda og videre gjennom turbinen. For å unngå at fisk kommer inn i turbinen, må fisken stoppes før den går inn i selve inntaket. En måte å stoppe fisken på er å ha en varegrind oppstrøms inntaket som har små nok lysåpninger til at fisken ikke klarer å svømme gjennom varegrinda. Vannhastigheten mot varegrinda må heller ikke være for stor. Er vannhastigheten større enn fiskene klarer å svømme imot, kan fisken bli trykt mot grinda og dø. Fiskene må også ha en passasje som fører dem nedstrøms inntaket slik at de kan fortsette vandringen mot sjøen. En kort oversikt over eksisterende løsninger for å holde fisk bort fra inntak er vist i kapittel 2.3.4. Det vil bli lagt vekt på laks, og ål i denne oppgaven.

#### **2.3.1 Nedvandring av laksesmolt**

For å kunne foreslå en egnet nedvandingspassasje for utgytt laks og smolt er det viktig å ha kunnskap om arten. Laks vandrer opp elver for å gyte. Den tar ikke til seg næring i denne fasen. Selve gyteprosessen er energikrevende, og mange av laksene dør i løpet av påfølgende vinter/vår før de når ut til sjøen og kan innta næring (Niemelä et al. 2011). Det er imidlertid flere av atlantehavslaksene som klarer å komme seg tilbake til sjøen og blir såkalte flergangsgytere (Niemelä et al. 2011). Disse individene må ha en nedvandingsmulighet forbi kraftverksinntaket for å overleve.

Samtidig som den utgytte laksen må ha en nedvandringsvei forbi kraftverksinntaket, må også smolten kunne finne veien ned til sjøen uten å ta skade. Smolten begynner å vandre ned fra ferskvann til saltvann når den er mellom ett og seks år gammel og har en lengde på 12–20 cm (Vøllestad 2007).

En tommelfingerregel for å unngå at smolten svømmer gjennom varegrinda, er at lysåpningen i varegrinda ikke må overstige bredden til smolten, som er 8–10 prosent av kroppslengden (Larinier & Travade 2002). Ved lysåpninger i varegrinda på mindre enn 4 cm har det vist seg at varegrindene kan virke som en atferdssperre, noe som vil si at fisken fysisk kan komme gjennom, men velger å ikke gjøre det. Smolten har vist seg å være motvillig til å passere grunder med slike lysåpninger (Larinier & Travade 2002), og atferdsstudier med video viser at fisken gjør sine valg både ved å føle seg fram med halen på varegrinda og ved å gjøre visuelle observasjoner.

Det er også viktig at vannhastigheten framfor varegrinda ikke blir høyere enn at fisken klarer å svømme bort fra grinda. Grensevannhastigheten for fisken avhenger av størrelsen på fisken og temperaturen i vannet, men forenklet kan en si at ”marsjfarten” i m/s til fisken er:

$$0,15 + 2,4 * L \quad (2.4)$$

L representerer fiskens kroppslengde i meter (Videler 1993). Det er ikke fastsatt en kritisk vannhastighet som atlantisk laksesmolt klarer å svømme imot, men ofte settes den til 0,5 m/s (Kroglund et al. 2013). Fisken har en mye høyere maksimal svømmehastighet, rundt 2,0 m/s, men den klarer ikke å svømme over tid mot en strøm som er høyere enn dens egen ”marsjfare” (Kroglund et al. 2013). En lav vannhastighet oppstrøms rista er derfor ønskelig. Da har fisken mulighet til å svømme ”på kryss og tvers” for å finne en alternativ nedvandringsrute.

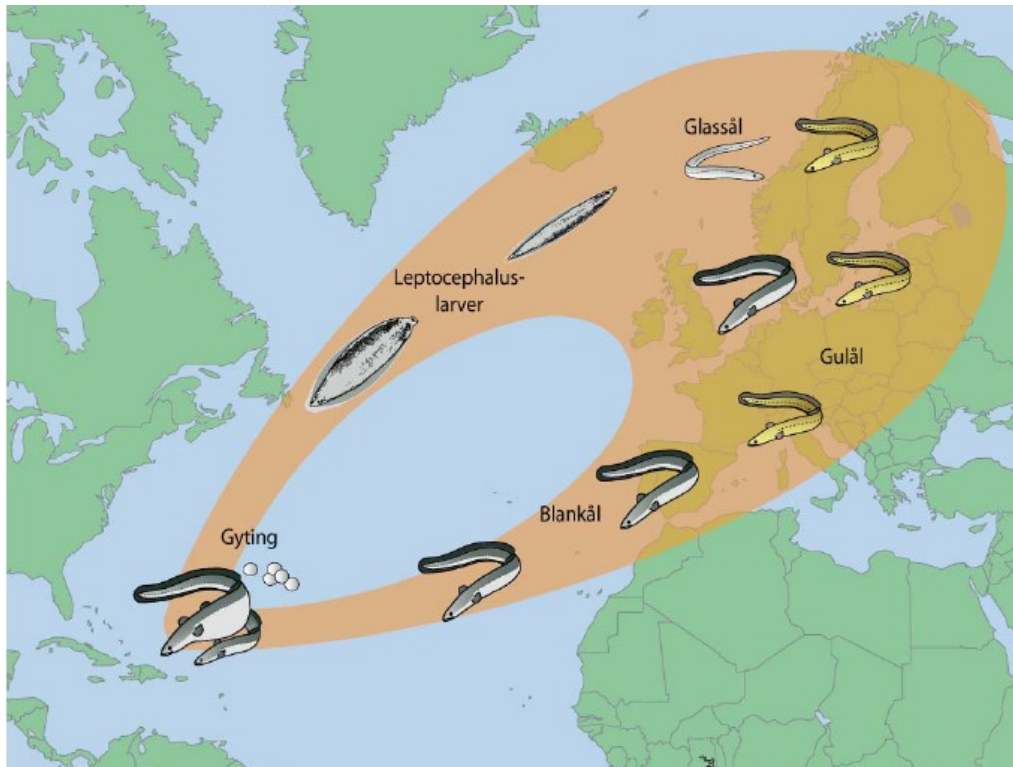
Selv om varegrinda har små nok lysåpninger og vannhastigheten er under grensehastigheten for laksen, må en alternativ nedvandringsrute for fisken også finnes. Den må være lokalisert slik at fisken lett finner den. Sideløp må ha inngang enten som en del av varegrinda eller i umiddelbar nærhet til varegrinda. En nedvandringsløsning som er lokalisert mer enn to meter oppstrøms varegrinda, vil i liten grad bli benyttet av fisken, mens en tilsvarende løsning som er plassert mindre enn én meter fra varegrinda, vil være en optimal løsning (Kvingedal et al. 2013). I brede elver bør det være fluktveier for fisken hver tiende breddemeter (Thorstad et al. 2014a). Det er viktig at det går nok vann i fluktveien til at fluktveien blir benyttet av fisken – jo mer vann, jo bedre avledningseffekt er det for fisken (Larinier & Travade 2002).

Hvis fluktveien til fisken munner ut i et overløp, er det av stor betydning at den frie fallhøyden ikke blir for stor. Anbefalt maksimal fri fallhøyde for fisk er 13 meter, men den bør holdes under 10 meter. Fisken skader seg ved fallhastighet på 15–16 m/s, som tilsvarer ca. 13 meter (Kraabøl 2013).



### 2.3.2 Ålens livssyklus i korte trekk

Ålen gyter i Sargassohavet nordøst for Cuba og Bahamas, og yngelen driver mer eller mindre passivt til Europa eller Nord-Amerika. Det er den europeiske ålen det blir lagt vekt på i denne oppgaven. Ålen vokser opp i saltvann langs Atlanterhavskysten og Middelhavet, eller i ferskvann. Ålen returnerer til gyteområdet når kjønnsmodningen begynner. Livssyklusen er skissert i Figur 2-2.



Figur 2-2 Ålens livssyklus (hentet fra Thorstad et al. (2011)).

Ålen opptrer som egg og plommesekklarve i Sargassohavet, som leptocephaluslarve på vandringen mot Europa, som glassål og deretter gulål nær kysten og i ferskvann og til slutt som blankål når den er kjønnsmoden og vandrer tilbake til gyteområdet. Etter gyting dør trolig ålen (Thorstad et al. 2011). Blant annet på grunn av ålens lange vandringer er det fortsatt mye ved ålens biologi som er ukjent.

### 2.3.3 Nedvandring av ål

Ålen er en truet art og var én av artene som ble omtalt som kritisk truet da Artsdatabankens rødliste kom ut i 2010. Bestanden har hatt en kraftig nedgang de siste 20–30 årene (Jokumsen et al. 2014). På grunn av ålens lengde er det mye større risiko for at den blir skadet eller drept i turbinen ved passering enn tilfellet er for smolt. Dødeligheten for ål er hele 4–5 ganger større enn for smolt (Larinier & Travade 2002).

I Frankrike konkluderes det med at de største utfordringene ved kraftverk er nedvandring av ål og mangel på kunnskap til å utvikle gode løsninger (Thorstad et al. 2014a). Det trengs kunnskap om ålens atferd for å kunne utvikle gode nedvandringsruter forbi kraftverket.

Ål følger som regel hovedstrømmen i elva og er et utpreget nattdyr. Ålen er kjent for å kunne ta seg fram over fuktige områder på land, og den kan klatre opp vertikale, ru vegger (Thorstad et al. 2014a). I en rapport fra NVE fra 2010 ble det konkludert med følgende årsaker til skader og dødelighet under nedvandring av ål forbi kraftverk:

- 1) Ålen setter seg fast i beskyttelsesgitter i vanninntaket eller foran turbinen.
- 2) Kollisjon med roterende turbinblad eller andre deler av turbinen.
- 3) Klemskader i turbinen.
- 4) Raske trykkendringer, kavitasjon, skjærkrefter og turbulens gjennom turbinen og andre deler av kraftverket.
- 5) Predasjon på ål som forsinkes og samles ovenfor kraftverket, eller ål som kommer desorientert og eventuelt skadet ut gjennom kraftverket.
- 6) Luftovermetning nedstrøms kraftverk (Thorstad et al. 2010).

For å hindre at ålen kommer inn i inntaket og gjennom turbinen må varegrinda ha små nok lysåpninger. I motsetning til laks har det vist seg at ålen klarer å presse seg gjennom varegrinder med lysåpninger som er mindre enn ålens egen bredde. Det finnes ingen eksakte mål på nødvendig lysåpninger på rister, men for små blankålhanner (hannen er som regel mindre en hunnen) må lysåpningen være helt ned i 0,9 cm for å hindre gjennomtrengning. Erfaringer fra Sverige tyder imidlertid på at en reduksjon av spalteåpning fra 2,0 til 1,8 cm førte til en god avledning av ål, mens en videre reduksjon av spalteåpningen ikke gav noen positiv effekt i form av at flere ål ble avledet (Thorstad et al. 2014a).

Det er vanskelig å si noe om en eksakt maksimal vannhastighet over rista som ålen kan klare å svømme imot. Noe av grunnen er at ålens svømmehastighet er avhengig av hvilket stadium ålen er kommet til i livssyklusen. Gulål har en høyere svømmehastighet enn blankål, og en må ta hensyn til ål i begge stadiene siden både gulål og blankål vandrer ned vassdrag. Samtidig viser forskjellige artikler til forskjellige anbefalte maksimalverdier for vannhastighet over varegrinder. Vannhastigheten mot varegrinda må ikke overstige 0,2 m/s for at ålen skal klare å svømme bort fra grinda ifølge (ICES 2007), mens den maksimale vannhastigheten ikke må overskride 0,5 m/s ifølge (Adam et al. 2005). I denne oppgaven er det imidlertid gått ut fra 0,5 m/s som maksimalt anbefalt vannhastighet normalt på varegrinda, siden dette er den verdien det oftest ble henviset til i litteraturen som ble lest.

#### **2.3.4 Tiltak for nedvandring**

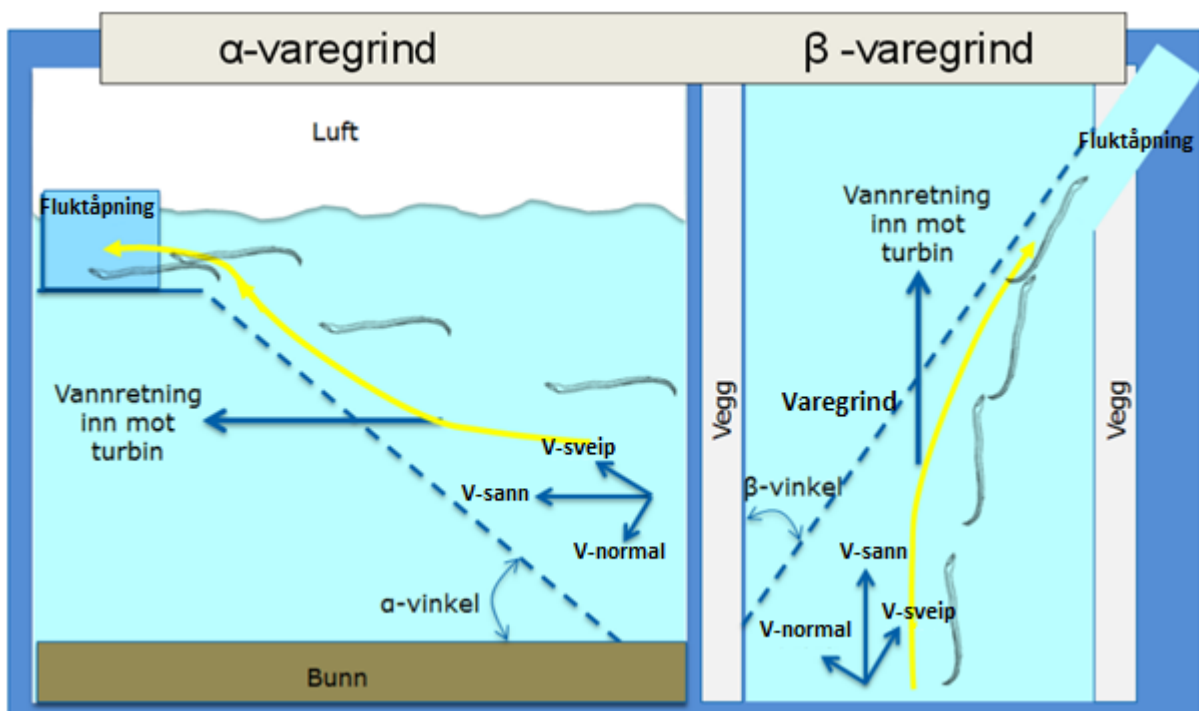
Arbeidet med å utvikle metoder for å få nedvandrende fisk forbi kraftverk har fått stor oppmerksomhet de siste 10–20 årene, både i Norge og internasjonalt (Thorstad et al. 2014a). Det blir nevnt flere anbefalte tiltak for å bedre situasjonen.

I NINAs rapport ”Status for ål i Sirdalsvassdraget” (Thorstad et al. 2014a, s. 46) blir det listet opp tre viktige faktorer som en må ta hensyn til for å få en velfungerende nedvandring for fisken. Punktene er som følger:

- *Fisken må hindres fra å svømme inn mot turbinen*
- *Fisken må ledes til en trygg fluktrute*
- *Fluktruta må ende i et løp hvor fisken kan vandre trygt videre*

For å tilfredsstille disse punktene finnes det flere aktuelle tiltak. For å hindre at fisk svømmer inn mot turbinen må en ha en varegrind med små nok lysåpninger til at fisken ikke slipper forbi. Verdiene for lysåpningen for smolt og ål er beskrevet i kapittel 2.3.1 og 2.3.3. Ved å undersøke artssammensetningen i den aktuelle elva samt størrelsen på smolten eller ålen har en et godt utgangspunkt for å velge riktig lysåpning. Størrelsen på fisken sier også noe om dens maksimal- og marsjhastighet. Som tidligere nevnt sier en ofte at marsjhastigheten er 0,5 m/s.

Det fins forskjellige måter å montere varegrinda på slik at fisken blir ledet til en fluktåpning. De to vanligste metodene for å lede fisk med varegrinder er å bruke en  $\alpha$ -varegrind eller en  $\beta$ -varegrind, skissert i Figur 2-3. En  $\alpha$ -varegrind er vinklet i horisontplanet med en bestemt vinkel,  $\alpha$ , mellom bunnen og rista. Denne rista fører fisken oppover langs rista, og videre mot en fluktåpning i overflaten. En  $\beta$ -varegrind er vinklet i vertikalplanet med en bestemt vinkel,  $\beta$ , mellom sidekanten og grinda. Rista fører fisken til langs rista og ut til den ene sidekanten mot en fluktåpning.



Figur 2-3 Prinsippet bak  $\alpha$ - og  $\beta$ -varegrind. Varegrindene er representert med den stiplede linjen på tegningen.  $\alpha$ -varegrind, til venstre, sett fra siden og  $\beta$ -varegrind, til høyre, sett ovenifra (Thorstad et al. 2014b).

For  $\alpha$ -varegrinder er det anbefalt å vinkle grinda slik at vannets sveiphastighet (vannhastighetskomponenten som går parallelt med varegrinda) er minst dobbelt så stor som vannets normalhastighet (vannhastighetskomponenten som går normalt på varegrinda). Studier viser at  $\alpha$ -vinkelen da må være mindre enn eller lik  $25^\circ$  (Raynal et al. 2013b). Vannhastigheten som går normalt på grinda, V-normal, skal ikke overskride 0,5 m/s, og vannhastigheten i elva, V-sann, kan da være opp til 1 m/s (Raynal et al. 2013b).

For  $\beta$ -varegrinda er prinsippet noenlunde det samme som for  $\alpha$ -varegrinda, men den er vinklet i horisontalplanet. En tommelfingerregel her er at vannhastigheten i elva, V-sann, delt på hastigheten normalt på grinda, V-normal, ikke må overskride 1. Studier viser at  $\beta$ -vinkelen må være mindre enn eller lik  $45^\circ$  for at tommelfingerregelen skal fungere (Raynal et al. 2013a). Hastigheten normalt på grinda, V-normal, skal heller ikke for denne varegrinda overskride 0,5 m/s. En kombinasjon av disse varegrindene kan være et godt alternativ for inntak med fisk og høy vannhastighet (Kroglund et al. 2013).

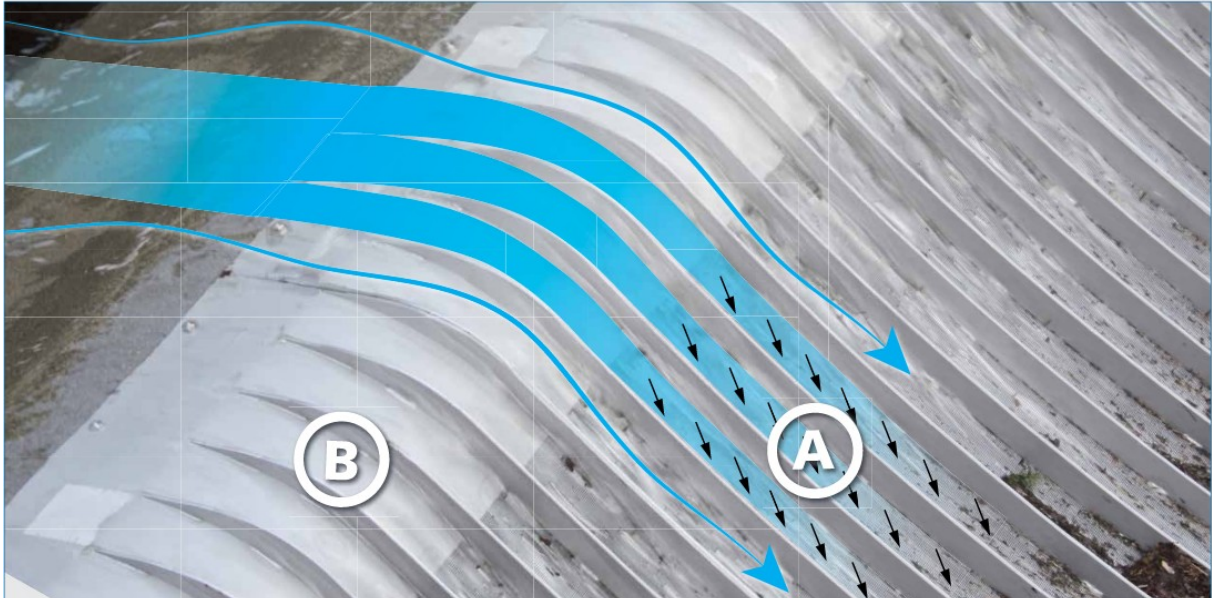
En kan også lede fisken mot alternative nedvandringsveier som flomluker, tømmerrenner og isluker. Dette kan fungere godt hvis nedvandringsveien er plassert helt i nærheten av varegrinda. I brede elver trenger man en nedvandringsvei hver tiende breddemeter (Thorstad et al. 2014a). Det må også slippes vann inn i de alternative nedvandringsveiene når det er vandringsvillig fisk til stede (Kraabøl 2013). Det er viktig at det går nok vann i den alternative nedvandringsveien, slik at fisken vil benytte seg av den. Vannbehovet avhenger av om varegrinda er skråstilt (da trengs ca. 2 prosent av totalvannføringen) eller vinkelrett varegrind (ca. 5 prosent av totalvannføringen) (Thorstad et al. 2014b). I Frankrike benyttes mellom 2 og 10 prosent av totalvannføringen i den alternative nedvandringsveien, alt etter hvordan nedvandringsveien er plassert, bredden på varegrinda og vannhastighetene i området (Larinier & Travade 2002). Det kan også benyttes kvikksølvbelysning for å trekke fisken, men da bare voksen laks og laksesmolt, inn mot sideoverløpet for å lede fisken inn i mørke kanaler.

En måte å få fisken til å finne de alternative nedvandringsveiene på er å installere skråstilte avledere. Dette er ikke en fysisk sperre, men en atferdssperre. Disse avlederne må stikke minst like dypt ned i vannet som fisken befinner seg. Denne typen avledning passer trolig best i elver med laks og smolt, og ikke i elver med ål. Erfaringsmessig beveger laks og smolt seg stort sett i overflaten, ikke dypt i elvene. Det holder derfor som regel å ha en avleder som stikker 3–5 meter ned i vannet. Ålen finnes derimot på alle dybder, og den liker seg ofte i dypet, hvor det er mørkt (Adam et al. 2005).

Varegrinder med mindre lysåpning og lik form på grindstavene gir et økt falltap. For å slippe økt falltap gjennom varegrinda hele året kan det enkelte steder være aktuelt å sette ned en varegrind med mindre lysåpninger bare i perioder da fisken nedvandrer. Det må imidlertid bemerkes at det finnes grindstaver med en utforming som gir svært lite falltap, og som kan benyttes hele året. Andre alternativer kan være å fange fisken oppstrøms inntaket, kjøre den forbi inntaket og deretter slippe den tilbake i elva.

Et inntak som går for å være svært fiskevennlig, er ”coandainntaket”. Inntaket har en coandarist som vannet strømmer over. Rista benytter coandaeffekten, som går ut på at en vannstråle bøyer av når den kommer i kontakt med et objekt (Skår 2013). Inntaket ser ut som

et overløp, og vannet renner over en terskel på samme måte som for et overløp. Når vannet kommer til coandarista, bøyer vannstrålen av, og vannet renner gjennom rista og ned i et inntakskammer. Dette er forsøkt skissert i Figur 2-4.



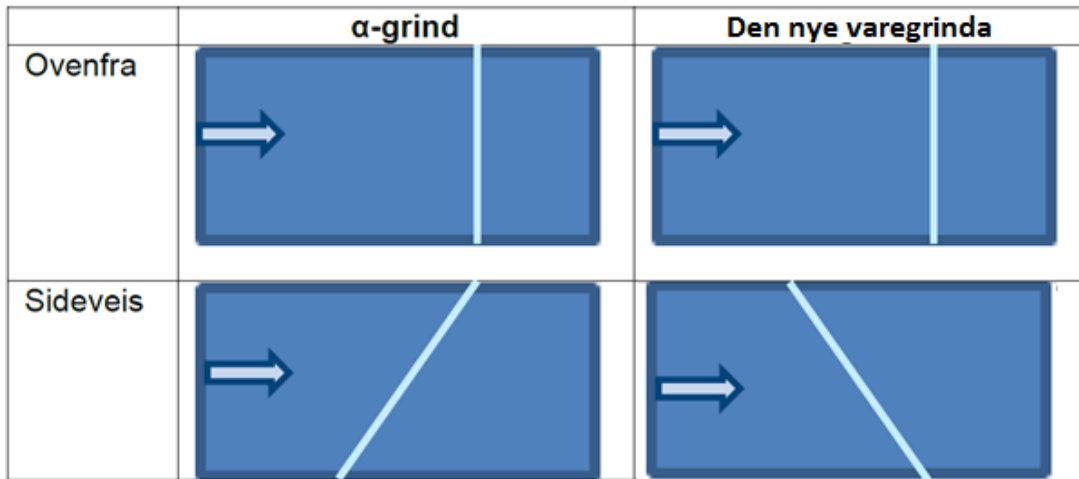
**Figur 2-4** Bilde av coandarista. Vannet kommer fra venstre, og rusk samler seg til høyre. Ved A renner vannet gjennom rista. Ved B kan en se "Boulder bars" som skal beskytte rista mot skader fra gjenstander som kommer med elva. Bildet er hentet fra (Skår 2013).

Rista er fiskevennlig på den måten at lysåpningen kun er 0,6–3,0 mm, og fiskene klarer ikke å komme gjennom. Fiskene kommer dermed nedstrøms inntaket på en skånsom måte. Det er her viktig at en har nok vann nedstrøms inntaket slik at fiskene klarer å svømme videre ned mot sjøen. Coandainntak er også selvrensende da rusk og rask ender nederst på rista (se Figur 2-4) og blir spylt bort når vannføringen i elva er høyere enn hva kraftverket sluker. Ulempen med inntaket er at en får et falltap på 0,4–1,3 meter, avhengig av risttypen, siden trykkhøyden ikke starter før vannspeilet under ristene (Skår 2013). Kapasiteten er også noe begrenset, ca. 140 l/s per meter. I elver med stor vannføring blir lengden som kreves for å få med ønskelig vannmengde, stor.

## 2.4 H-rista som konsept

H-rista som modell ble som tidligere nevnt testet høsten 2013, og modellforsøkene viste at tilbakespylingskonseptet fungerte godt. På grunn av at modellen fungerte godt til formålet, var det også ønskelig å se om modellen kunne fungere som et fiskevennlig inntak. Hovedfokuset var da på at vannhastighetene normalt på varegrinda ikke skulle være høyere enn det fisken klarte å svømme imot. En presentasjon av utførelse av forsøkene vil bli gitt i kapittel 3.3.

Det finnes lite litteratur på H-ristkonseptet, men det finnes litteratur på nedvandring av ål og laks. Det er blant annet presentert ideer med skrårister,  $\alpha$ -grind, som skal lede fisk mot overflaten og over hindringen. I Wigestrands (2013) ble det nevnt en modifisering av modellen der det blir benyttet en skrårist framfor en horisontalrist, som illustrert i Figur 3-2. Den foreslåtte modifiserte varegrinda står motsatt vei av  $\alpha$ -grinda, illustrert i Figur 2-5, og vil lede fisken ned mot bunnen i stedet for opp mot overflaten slik  $\alpha$ -grinda gjør. Nederst i modellen vil det renne vann i spylørret (som skal representere minstevannføringen), slik at fisken kan svømme under konstruksjonen og ende opp nedstrøms inntaket som skissert i Figur 3-2.



**Figur 2-5** Til venstre er  $\alpha$ -grind som er vinklet for at fisk skal svømme mot overflaten, til høyre er den modifiserte varegrinda som skal få fisk til å svømme mot bunnen.

### 3. Metode

Det ble høsten 2013 gjort tilbakespylingsforsøk på modellen H-rista (Wigestrands 2013) i Norsk Hydrologisk Laboratorium. Inntaket har en horisontal rist hvor drivgods samles, og vannet over rista blir benyttet til å spyle drivgodset ut under inntaket. Det viste seg at tilbakespylingen fungerte svært godt, og inntaksløsningen virker lovende for framtidige kraftverksinntak der problemer med drivgods kan være aktuelt. Etter en grov vurdering har H-rista potensial til å kunne lede fisk nedstrøms kraftverksinntaket.

Hallbjørn Brekke (Tafjord kraft) har i samarbeid med NTNU kommet fram til en inntaksløsning med en horisontalgrind som er bygget i Norsk Hydrologisk Laboratorium. Det ble bygget en fysisk modell basert på anbefalinger fra CDF-forsøkene (Holmeset 2013). Det er denne modellen som er benyttet under forsøkene som er blitt gjort på tilbakespyling av grinda. Det er gjort noen endringer på den opprinnelige modellen, og det er laget en skrårist som også ble testet.

Oppgaven går ut på å teste om modellen kan fungere som et fiskevennlig inntak. Testingen vil foregå uten fisk. Grunnen til dette er at det kreves en lang rekke tillatelser for å kjøre tester med levende fisk, samt at modellen er i skala 1:5. Det er ikke mulig å nedskalere fiskene.

#### 3.1 Fysisk modellering og skalering av modellen

Fysiske modeller av kraftverk konstrueres for å studere hydrauliske forhold i kraftverk, for eksempel flomløp eller inntak til planlagte kraftverk. Modellene brukes til å finne teknisk og økonomisk optimalisering av komponenter til det planlagte kraftverket. Ut fra testene kan det sies om utformingen av komponentene i modellen er tilfredsstillende, og da også om utformingen av prototypen er god nok, eller om modellen må modifiseres for at prototypen skal klare å takle ulike scenarioer som kan skje i virkeligheten.

Det finnes flere måter å nedskalere modeller på, og de to vanligste metodene er Froude-skalering og Reynolds-skalering. I de aller fleste modellene med friskeilstrømning benyttes Froude-skalering, siden gravitasjonen som oftest er viktigste faktor i slike modeller. Reynolds-skalering blir benyttet i modeller hvor væskens skjærstyrke (indre friksjon) er viktig. Et eksempel på hvor en bruker Reynolds-skalering, er hvis en skal modellere krefter på en brupilar og en har lave Reynolds-nummer (Hughes 1993). I denne oppgaven blir det i hovedsak fokusert på Froude-skalering.

Grunnen til at Froude-skalering er brukt, er at det antas turbulent strømning i prototypen, og det er turbulent strømning i modellen. Det er en friskeilstrømningsmodell, og da blir som regel Froude-skalering benyttet. Overflatespenninger er ikke vesentlige i denne modellen (Hughes 1993). Når en bruker Froudeskalering skal Froude nummeret i prototyp og modell være likt.

Definisjonen på Froude nummeret er gitt i formel (3.1) (Hughes 1993):

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g^* y}} \quad (3.1)$$

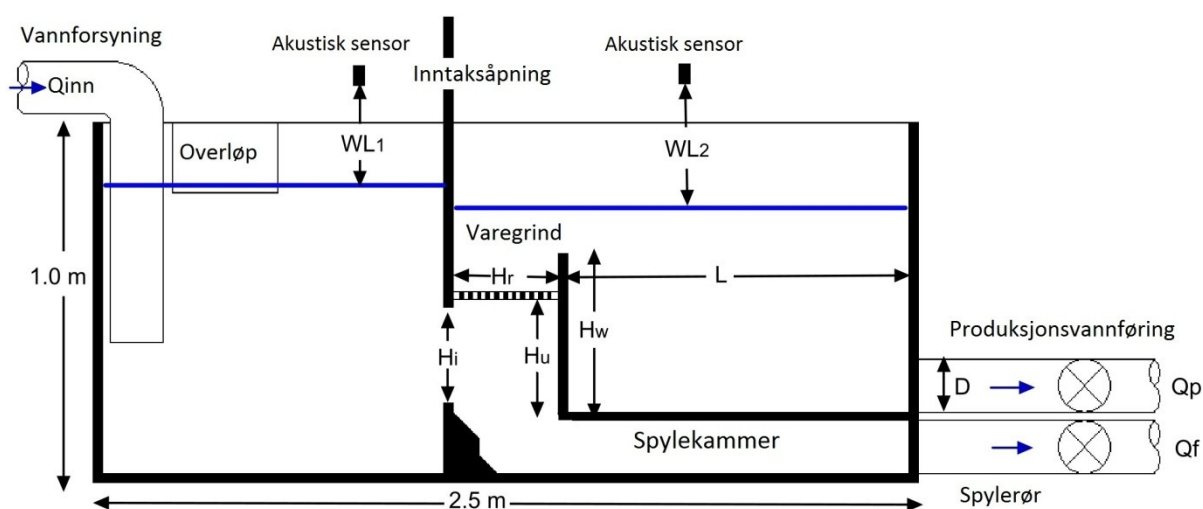
Det finnes ikke en prototyp av H-rista, men modellen er laget med dimensjoner som skal passe til et tenkt kraftverksinntak.

Modellen er bygget med skalering 1:5. Hovedgrunnen til dette er at hastigheten over grinda ville overskride grensehastigheten for grinder hvis en bruker en mindre skalering. Det viser seg også at en får et Reynolds' tall ( $Re$ ) på ca. 500 ved normaldrift når en bruker skalaen 1:5, noe som også taler for å bruke denne skalaen. I området fra  $Re = 500$  til  $Re = 100\,000$  er motstandskoeffisient for grinda konstant (Crowe et al. 2000). Ved en skala på 1:10 ville en kommet utenfor det konstante området for motstandskoeffisienten.

### 3.2 Beskrivelse av modell

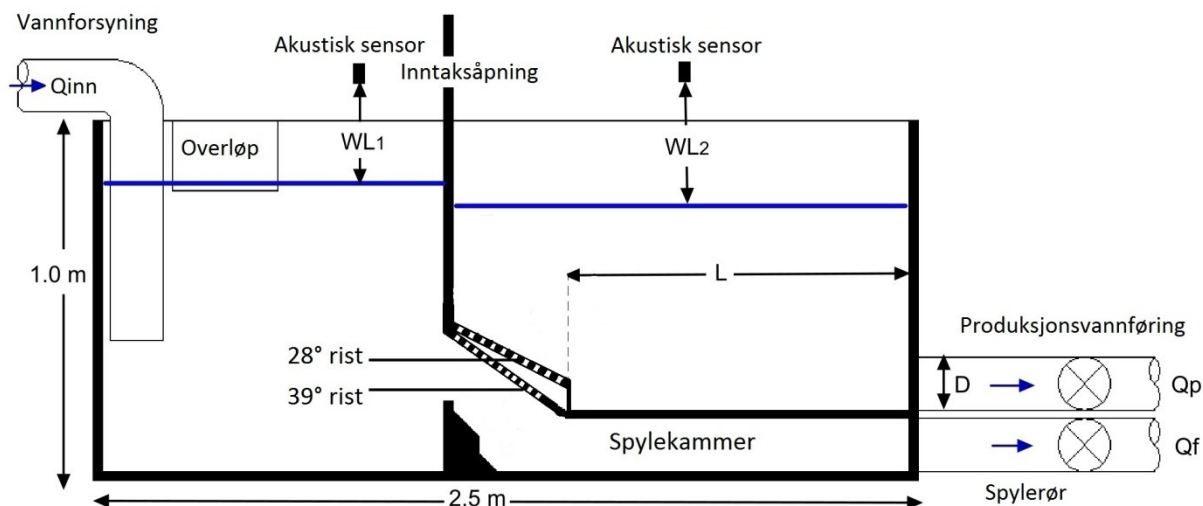
H-rista ble benyttet høsten 2013 i prosjektoppgaven ”Fysisk modellforsøk av ny inntakstype for småkraftverk, horisontalgrind” (Wigestrand 2013). I prosjektet ble tilbakespylingseffekten til konseptet samt falltap for ulike oppsett testet. Den samme modellen er benyttet i denne masteroppgaven, men med noen tilleggskomponenter.

Modellen av H-rista består av mange komponenter. Modellen består av to kamre, som vist i Figur 3-1 og Figur 3-2. Kammeret til venstre på figurene representerer inntaksmagasinet. Her er overløpet plassert. Mellom de to kamrene er det en inntaksluke. Grinda med terskel er plassert nedstrøms inntaksåpningen. En kan se i Figur 3-1 at grinda ligger horisontalt, og i Figur 3-2 at grinda ligger på skrå. Modellen har et inntaksrør hvor vannet skal gå til et tenkt kraftverk, samt et kombinert spyleør og minstevannføringsrør (videre kalt spyleør) som er plassert under inntaksrøret.



Figur 3-1 Skisse av den fysiske modellen med horisontalgrind, sett fra siden.





**Figur 3-2** Skisse av den fysiske modellen sett fra siden. Det er kun én av skråristene som er i modellen av gangen.

Modellen er laget slik at en kan endre på følgende komponenter:

- inntakslukens åpning,  $H_i$
- høyden på grinda,  $H_u$
- høyden på terskelen,  $H_w$
- skrå eller horisontal grind

I denne oppgaven har inntaksluken vært posisjonert i samme stilling i alle forsøkene, med en åpning på 21 cm. Høyden på grinda har vært konstant i forsøkene med horisontalgrind, og variert i forsøkene med skrå grind. Terskelhøyden har vært konstant i forsøkene med horisontalgrind og for skrågrinda som er tiltet  $28^\circ$ , men i forsøkene med skrågrind tiltet  $39^\circ$  har terskelen vært fjernet.

Det er benyttet en rist med mål 0,30 m x 0,35 m for horisontalgrinda. For skrågrindene er samme rist med mål 0,41 m x 0,35 m benyttet. Helningen på skrågrindene kunne justeres ved å sette inntaksåpningen i et spor 4 cm til venstre for den opprinnelige posisjonen. Grinda blir også løftet 6 cm for å treffe inntaksåpningen på riktig plass.

Lysåpningen er 0,8 cm, og stavtykkelsen er 0,3 cm. Lysåpningen og stavtykkelsen er den samme på begge ristene. I fullskala ville dette tilsvart 4 cm for lysåpning og 1,5 cm tykke staver. Av kapittel 2.3.1 og 2.3.3 ser en at anbefalt lysåpning for smolt og ål er ulik. I modellen er den anbefalte lysåpningen for smolt benyttet. Ideelt skulle den minste lysåpningen vært benyttet, men for denne modellskalaen ble det vanskelig fordi lysåpningen ville blitt så liten som 0,36 cm med skala på 1 : 5. Hvis den minste lysåpningen skulle vært benyttet, måtte hele modellen blitt bygget i en mindre skala (større modell). Dette er fordi dragkoeffisienten, og dermed energitapet, gå opp når blokkeringen øker. Da kan dragkoeffisienten til rista endres. I modellforsøk blir ikke vannmolekyler eller overflateskjærstyrke nedskalert.

Forsøkene som er gjort, kan deles inn i tre hovedkategorier etter hvordan de er utført: de innledende forsøkene, hovedforsøkene og falltapsforsøkene.

### 3.2.1 Målemetoder

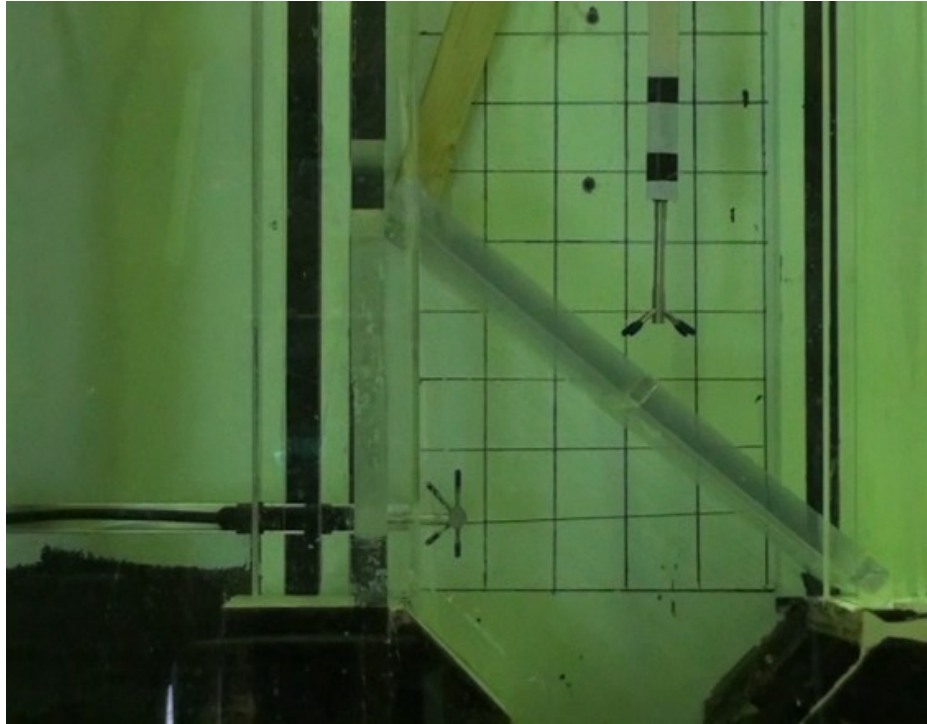
Måleinstrumentene som er benyttet til denne oppgaven er en datalogger, to Accoustik doppler velocimeter (ADV) målere, to akustiske sensorer og vannføringsmåler.

Dataloggeren er av merke Agilent U2 300 A series (*Agilent U2300A Series USB Modular Multifunction Data Acquisition Devices* 2013). Den får inn signaler fra de akustiske sensorene og vannføringsmålerne.

Det er plassert to akustiske sensorer over hvert kammer. Disse akustiske sensorene måler lengden ned til vannflaten, og ut fra disse målingene kan en si noe om falltapet i systemet. Sensorene er koplet til dataloggeren. De akustiske sensorene er av typen microsonic, mic+130/IU/TC en analog 4–20 mA + 0-10V, med en nøyaktighet på 1 prosent (*Microsonic - ultrasonic sensors*).

I inntaksrøret og spylerrøret er det montert vannføringsmålere. Disse er også koplet til dataloggeren og blir logget sammen med de akustiske sensorene. Vannføringsmåleren er en Siemens SITRANS F M MAG 5000 kombinert med sensoren SITRANS F M MAG 5000W vann applikasjon. Nøyaktigheten er 4 prosent av vannføringen  $\pm 1$  mm/s (*SITRANS F M MAG 5000* 2013).

I tillegg til de nevnte instrumentene blir også to ADV-måler, Vectrino, brukt i forsøkene. En ADV brukes til å måle vannhastigheter, og i disse forsøkene blir ADV-en brukt til å måle hastigheten på forskjellige steder over og under grinda. Det er gjort målinger i to minutter for hvert punkt som ble målt over og under ristene. ADV eller Vectrino, som er navnet på den spesifikke måleren som er benyttet, er en 3D vannhastighets sensor. Vectrinoen er et høyoppløselig akustisk velocimeter og brukes til 3D-målinger i laboratorier eller ute i felten for å se på hurtige endringer i vannhastigheten. Nøyaktigheten ligger på 0,5 prosent av målte verdier,  $\pm 1$  mm/s (Nortek 2013). Det er benyttet en sideveis og en nedadrettet måler som er avbildet i Figur 3-3.



**Figur 3-3** En sideveis (til venstre) og en nedadrettet (til høyre) ADV måler avbildet i modellen, sett fra siden. Det er bare brukt en ADV måler av gangen.

### **3.3 Forklaring av forsøk**

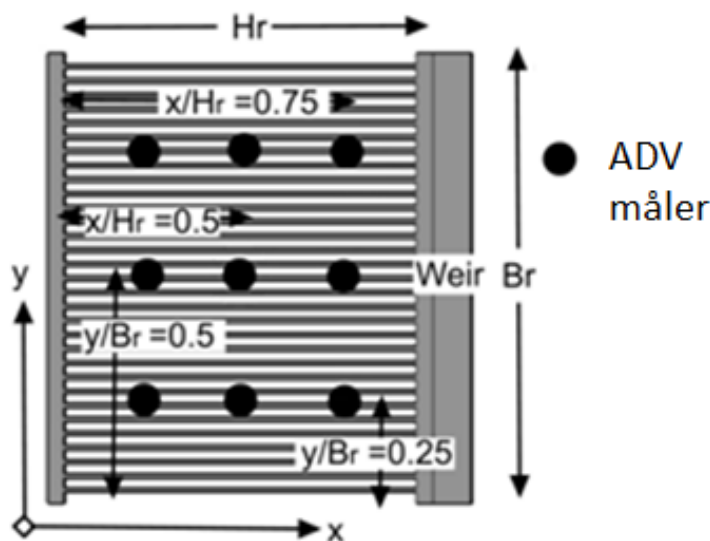
Det ble gjort noen innledende forsøk før hovedforsøkene ble gjennomført. De innledende forsøkene ble utført for å fastsette metodene for hovedforsøkene. Det var ønskelig å finne vannhastigheter i forskjellige snitt i modellen, med og uten grind, og å finne falltapet til de forskjellige oppsettene.

Etter at de innledende forsøkene var gjennomført, skulle en avklare hvorvidt hovedforsøkene kunne gjøres uten grinda til stede. Hovedforsøkene kan gjennomføres på en enklere og mer praktisk måte uten at rista er til stede i modellen, men før en eventuelt tar bort grinda, må det være sikkert at dette ikke påvirker måleresultatene nevneverdig.

#### **3.3.1 De innledende forsøkene**

Framgangsmåten for de innledende forsøkene har vært å sette vannføringen inn ( $Q_{inn}$ ) til 20,5 l/s og produksjonsvannføringen ( $Q_p$ ) til 20,0 l/s. Grunnen til at en setter vannføringen inn høyere enn vannføringen til produksjon, er at  $Q_{inn}$  kommer fra en pumpe som endres noe over tid. Modellen er, som forklart i kapittel 3.2, laget med et overløp, og ved å sette  $Q_{inn}$  til en høyere verdi enn  $Q_p$  vil noe vann gå i overløpet, og det vil være en konstant vannhøyde og en stasjonær strømnings situasjon i modellen under hele forsøket.

Den første gjennomkjøringen gikk ut på å måle vannhastigheter på ni punkter, se Figur 3-4, nedstrøms grinda og med grinda til stede. Det ideelle hadde vært å måle enda flere punkter, siden en da får et enda bedre bilde av strømmingen, men siden det er en tidsbegrensning på oppgaven, ble det målt 3 x 3 punkter over rista. Disse var jevnt fordelt i x- og y- retning. Det ble målt i to minutter på hvert av de ni punktene med en målefrekvens på 25 Hz. Målingene av vannhastighet på de ni punktene ble deretter gjentatt, men da uten rist. Samtidig som forsøket pågikk, ble dataene fra vannføringsmåleren i produksjonsrøret registrert. Etter at forsøkene var gjennomført, ble dataene bearbeidet. Det første steget var å klippe bort en del av støyen og målingene som hadde for lav korrelasjon. Dette ble gjort i programmet WinADV (Wahl 2000) , hvor alle målinger som hadde korrelasjon under 70 prosent ble klippet bort. Dataene ble så eksportert til Excel, hvor gjennomsnittet av verdiene som ikke var klippet bort, ble regnet ut. ADV-måleren måler i tre retninger, x, y og z, hvor x og y er i horisontalplanet og z er i vertikalplanet. X-retningen er i lengderetningen til modellen, og y-retningen er i bredderetningen til modellen, som det også framgår av Figur 3-4. I Excel-filen kunne en lese av gjennomsnittsmålingene i x-, y- og z-retningen. Dataene fra de to testene ble så sammenlignet.

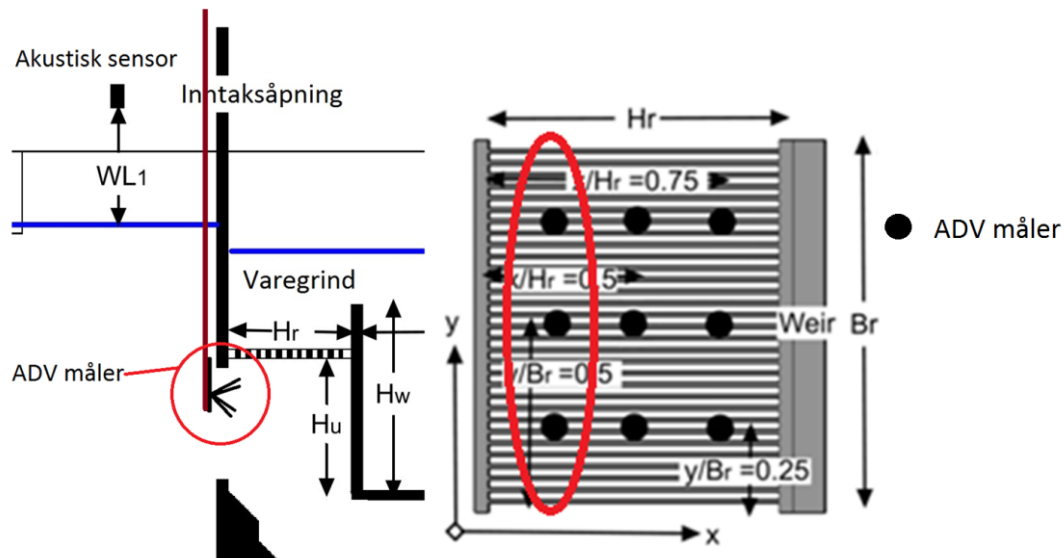


**Figur 3-4 Målepunkter på grinda sett ovenifra.**

Den andre gjennomkjøringen ble utført med å måle vannhastigheter på tre punkter under rista som illustrert i Figur 3-5. Det ble gjort én gjennomkjøring med grind og én uten. Samtidig som forsøket pågikk, ble dataene fra vannføringsmåleren i produksjonsrøret registrert. Videre ble dataene behandlet i programmet WinADV, som beskrevet over.

Dataen fra den andre gjennomkjøringen ble behandlet på samme måte som i den første gjennomkjøringen. Feilmålinger ble klippet bort ved hjelp av WinADV, og de resterende dataene ble eksportert til Excel, der snittverdiene ble regnet ut.

I originalfilen som en får fra dataloggeren Agilent, finner en verdiene i x-, y-, og z- retning. Disse retningene er bestemt ut fra hvordan ADV-måleren er orientert i forhold til strømmingen i modellen. Fra første gjennomkjøring til andre gjennomkjøring ble ADV-måleren rotert 90° med klokken. Det medførte at verdiene som dataloggeren kalte x-retning, ikke stemte overens med koordinatsystemet som er brukt i denne oppgaven. Verdiene fra dataloggeren ble derfor endret til riktig koordinatsystem ved å bytte x- og y- retning, og verdiene i den nye y-retningen ble ganget med  $-1$  for å få riktig fortegn på de målte hastighetene. Dataene fra de to testene ble så sammenlignet.

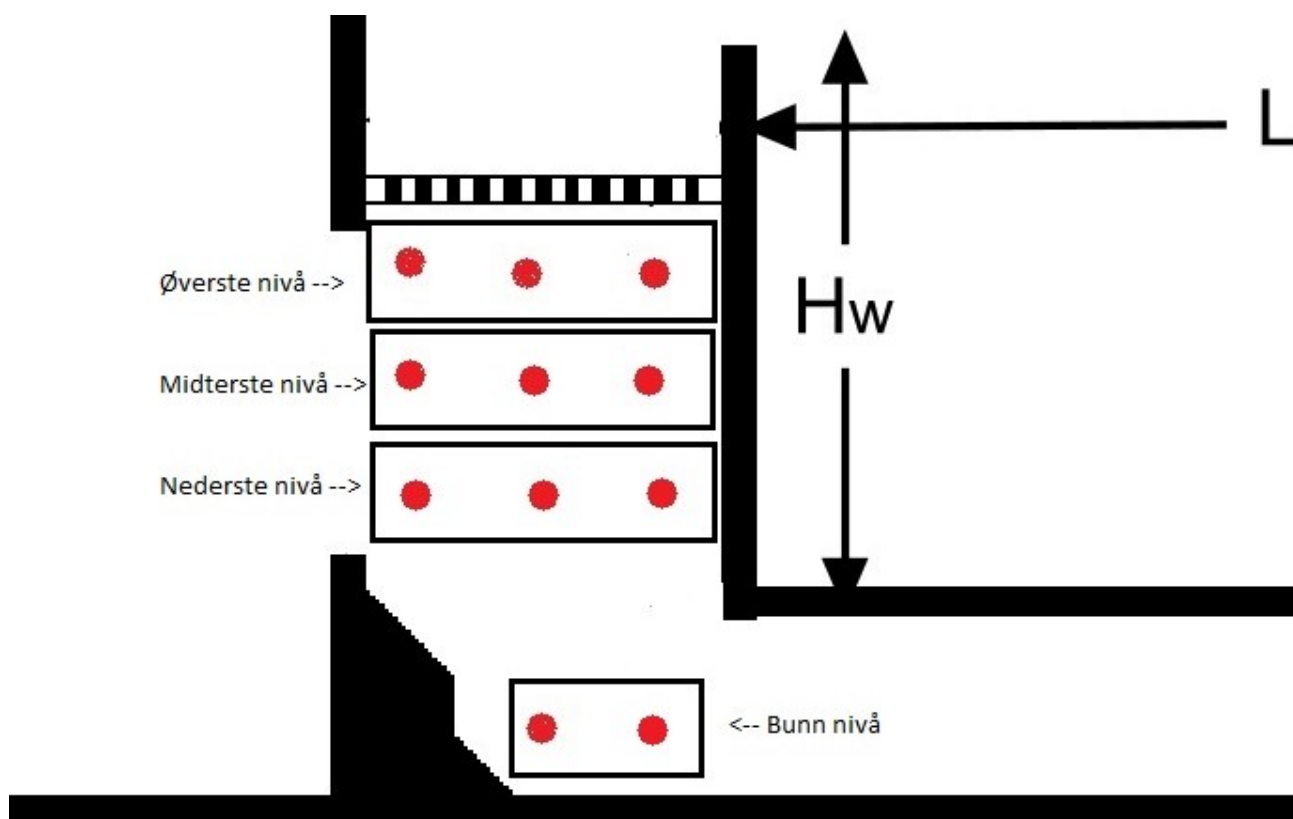


Figur 3-5 Til venstre er det skissert hvor målingene ble gjort, sett fra siden. Til høyre er de målte punktene under rista markert, sett ovenfra.

### 3.3.2 Framfangsmåten i hovedforsøkene

Framfangsmåten i forsøkene har vært å skru vannføringen inn,  $Q_{inn}$ , til 23,8 l/s; produksjonsvannføringen,  $Q_p$ , til 22 l/s og vannet i spylørøret,  $Q_f$ , til 1,2 l/s. Med mer vannføring inn enn ut vil noe vann gå i overløpet.

Det ble målt vannhastigheter på ni punkter i horisontalplanet, se Figur 3-4, på tre forskjellige nivåer i modellen, se Figur 3-6.



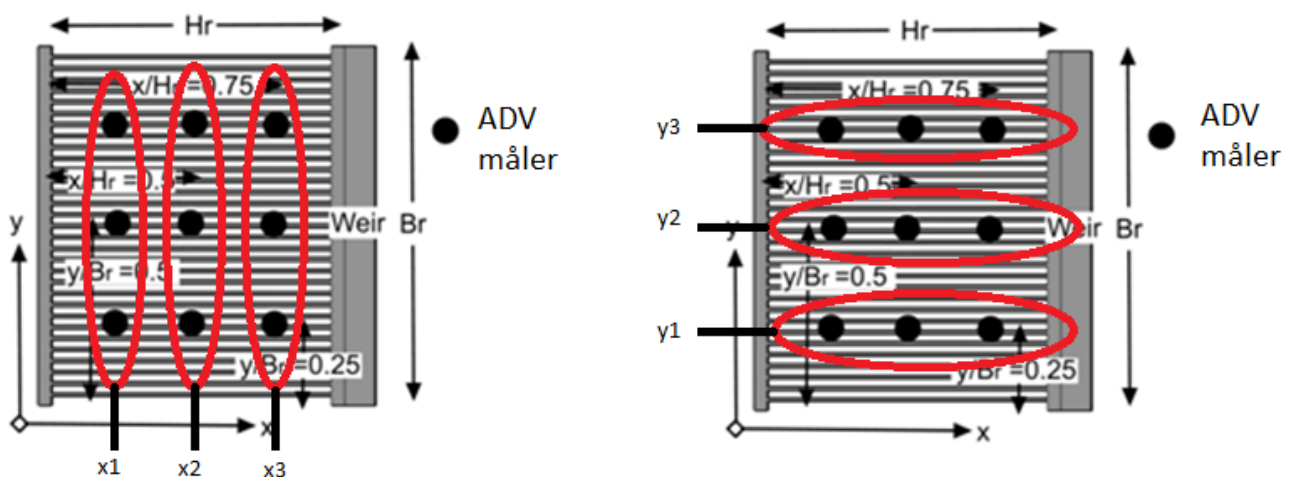
**Figur 3-6 Utsnitt av modellen. De røde prikkene viser målepunktene til ADV måleren sett fra siden.**

Hvert nivå hadde ni punkter som ble målt. Det ble målt 27 punkter (9 x 3) for både H-rista, skrårista med vinkel på 39° og skrårista med vinkel på 28°. Det ble benyttet to ADV-målere: én sideveis måler og én nedadrettet måler. Den nedadrettede måleren ble benyttet på de målepunktene som ble målt over grinda, og sideveismåleren ble benyttet til å måle punktene under grinda, noe som endret seg avhengig av om det var H-rista eller skråristene som ble benyttet. Det ble også målt seks punkter i bunnen av modellen. Disse målingene ble gjort uten rist til stede, av den enkle grunn at det var den eneste måten å få målt disse punktene på. Ved disse seks målingene var vannføringen den samme som for de 27 målingene som er nevnt over. Samtidig som forsøket pågikk, ble dataene fra vannføringsmålerne i produksjonsrøret og spylørøret loggført. Det ble registrert vannhastigheter og vannføringer i to minutter for hvert av punktene. Målefrekvensen som ble benyttet under alle målingene, var 25 Hz. En oversikt over forsøkene er vist i Tabell 3-1

**Tabell 3-1 Oversikt over hovedforsøkene.**

Forsøk nr	Risttype	Nivå	ADV måler
1	Horisontal rist	Øverste	Sideveis
2	Horisontal rist	Midterste	Sideveis
3	Horisontal rist	Nederste	Sideveis
4	Skrårist 28°	Øverste	Nedadrettet
5	Skrårist 28°	Midterste	Sideveis og nedadrettet
6	Skrårist 28°	Nederste	Sideveis
7	Skrårist 39°	Øverste	Nedadrettet
8	Skrårist 39°	Midterste	Sideveis og nedadrettet
9	Skrårist 39°	Nederste	Sideveis og nedadrettet
10	Ingen	Bunn	Nedadrettet

Når det senere henvises til punktene som ble målt i forsøkene, vil de bli omtalt som et koordinatsystem som vist i Figur 3-7. Et eksempel på hvordan punktene vil bli omtalt, er at det midterste punktet på rista blir omtalt som  $[x_2, y_2]$ , de tre punktene helt til høyre over rista som  $[x_3, y_1-y_3]$ .



**Figur 3-7 Målepunktene kategorisert til venstre i  $[x_1-x_3]$  og til høyre i  $[y_1-y_3]$ , sett ovenfra.**

Målingene blir framstilt i konturplott i kapittel 4.2 sammen med en liten tabell hvor de dimensjonløse måleverdiene står. Konturplottene er framstilt på grunnlag av punktene som ligger rett under rista. For H-rista er altså det øverste nivået benyttet i framstillingen av konturplottene, og for de to skråristene er punktene i det midtre og nedre nivået benyttet. Programmet SigmaPlott er benyttet til framstillingen av konturplotta. For alle plottene, er det ni målepunkter, og mellom målepunktene er det interpolert.

### 3.3.3 Framgangsmåten i falltapsforsøkene

Gangen i forsøket har vært at en har skrudd opp vannføringen inn,  $Q_{inn}$ , til 6 l/s og deretter skrudd opp kranen til "kraftverket",  $Q_p$ , til 5 l/s. Når  $Q_p$  har nådd 5 l/s, er  $Q_{inn}$  skrudd opp med ytterligere 5 l/s, og videre har en økt  $Q_p$  med 5 l/s. En har økt  $Q_{inn}$  og  $Q_p$  trinnvis med 5 l/s til både  $Q_{inn}$  og  $Q_p$  har nådd ca. 30 l/s. Grunnen til at en har benyttet en trinnvis økning av vannføringene inn og ut, er at hvis en hadde satt vannføringen til 30 l/s med én gang, ville vannstanden i kammeret oppstrøms varegrinda blitt for høy og falt utenfor rekkevidden til lasermåleren som ble brukt. Det ville også blitt mye mer bølger og uroligheter i inntakskammeret som ville gitt mer støy enn nødvendig i falltapsmålingene. Samtidig som forsøket pågikk, ble dataene fra lasermålerne og vannføringsmåleren i produksjonsrøret loggført.

Det er gjort tre falltapsmålinger: én på hver skrårist og én på horisontalrista.



## 4. Resultater og analyser

Litteraturstudiet hadde vist at en mye benyttet grenseverdi for vannhastighet normalt på ei varegrind både for smolt og ål var 0,5 m/s. Det er satt som en maksimal vannhastighet, som smolt og ål klarer å svømme mot over tid. Egentlig varierer denne grensehastigheten både med fiskens lengde og temperaturen i vannet. Siden dette er et modellforsøk, og siden prototypen ikke er bygget noen bestemt plass og fiskens lengde og vanntemperaturene dermed ikke er kjent, er verdien på 0,5 m/s benyttet som grensehastighet også i denne oppgaven. Lysåpningen på rista skal også være så liten at fisken ikke klarer å svømme gjennom rista. Rista blir da et fysisk hinder og stopper fisken før den kommer til turbinen.

Modellen ble bygget i skala 1:5, og ved å bruke formelen (4.1) til å regne ut modellgrensehastigheten (4.2) finner en modellens grensehastighet:

$$\text{Hastighet} : V_r = \sqrt{L_r} \quad (4.1)$$

$$V_{\text{grenseverdi}} = \sqrt{\frac{1}{5}} * 0,5 = 0,224 \text{ m/s} \quad (4.2)$$

I forsøkene som ble gjort med H-rista, er det den vertikale hastighetsvektoren  $z$  som tilsvarer grensehastigheten normalt på grinda. I forsøkene som er gjort med skrårister, er vannets hastighetsvektorer blitt dekomponert til hastighetsvektorer som går normalt og parallelt på rista. Grensehastigheten på 0,224 m/s korrelerer med hastighetsvektoren som går normalt på rista.

Det er med andre ord 0,224 m/s som blir grensehastigheten i den benyttede modellen. Det er viktig å vite hvordan vannhastighetene er distribuert rundt rista for å kunne si om fisken vil klare å svømme bort fra rista eller ikke. Er vannhastighetene normalt på rista over 0,224 m/s (i modellen), kan det hende at fisken ikke klarer å svømme bort og blir hengende fast på rista og dør. Er vannhastigheten lik eller under grensehastigheten, vil fisken mest sannsynlig klare å svømme bort.

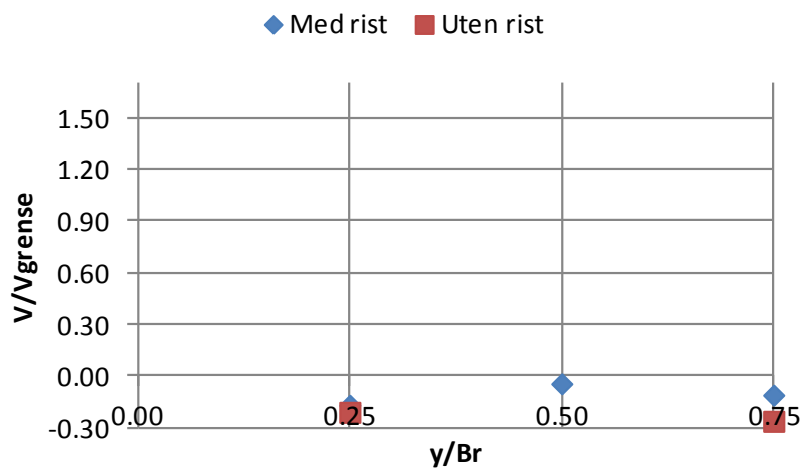
Det ble gjort et stort antall målinger, og data og videoregistrering fra målingene vil bli brent på en cd. En del grafer og plott fra målingene blir presentert i ”Resultater og analyser” og ”Diskusjon” samt i Vedlegg 1 – 4.

### 4.1 De innledende forsøkene

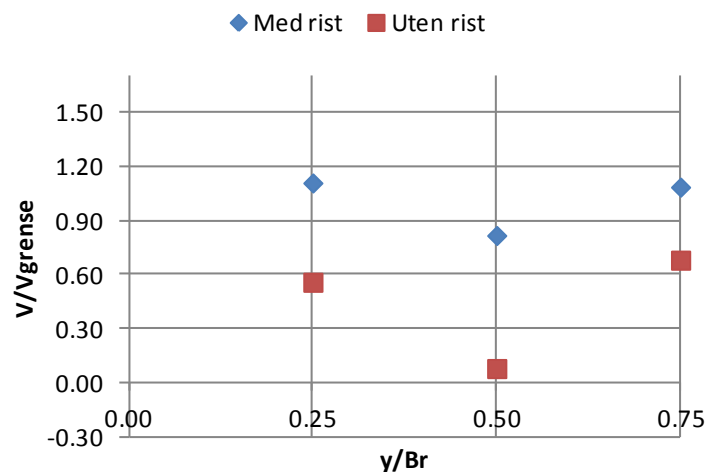
De innledende forsøkene ble gjort for å avklare om hovedforsøkene kunne gjøres uten rista på plass i modellen. De innledende forsøkene ble gjort for å se om en kunne unngå det tidkrevende arbeidet med å lage et nytt oppsett for måleinstrumentene og heller bruke det eksisterende utstyret. Forsøkene ble utført som beskrevet i kapittel 0, og gjennomført i to runder. Forsøkene ble utført som beskrevet i kapittel 0.

Grafene i Figur 4-1, Figur 4-2 og Figur 4-3 viser vannhastighetene i punktene som ble målt i z-retningen, med og uten rist til stede i modellen. Målingene ble utført oppstrøms rista, det vil si at vannet hadde passert rista da målingen ble utført. Disse måleresultatene sier ikke noe om fiskens overlevelsesmuligheter, som denne oppgaven søker å finne ut av. Punktene ble kun målt for å se hvor stor forskjellen i vannhastighet var med og uten rist på de aktuelle punktene.

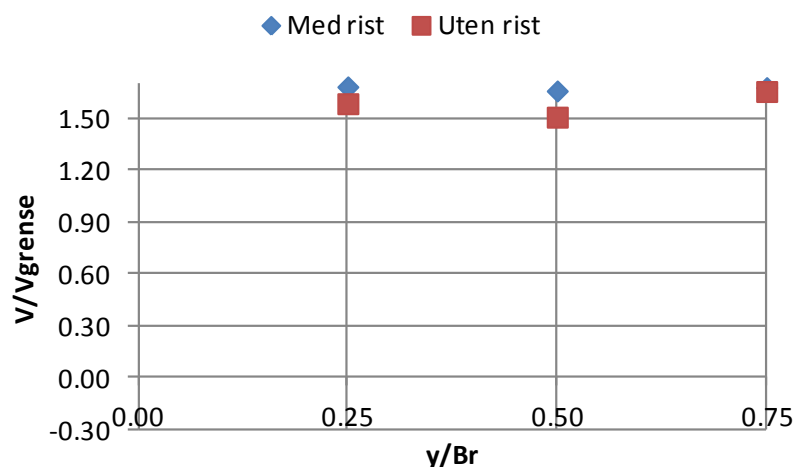
De målte vannhastighetene er delt på en grensehastighet, som i denne modellen er regnet ut til 0,224 m/s, for å få en dimensjonløs graf. Plasseringen til måleren i x-retning er delt på lengden til rista, Hr, og plasseringen til måleren i y-retning er delt på bredden til rista, Br.



Figur 4-1 Sammenligning av vannhastigheten/grensehastigheten i z-retning med og uten rist ved [x1, y1–y3].

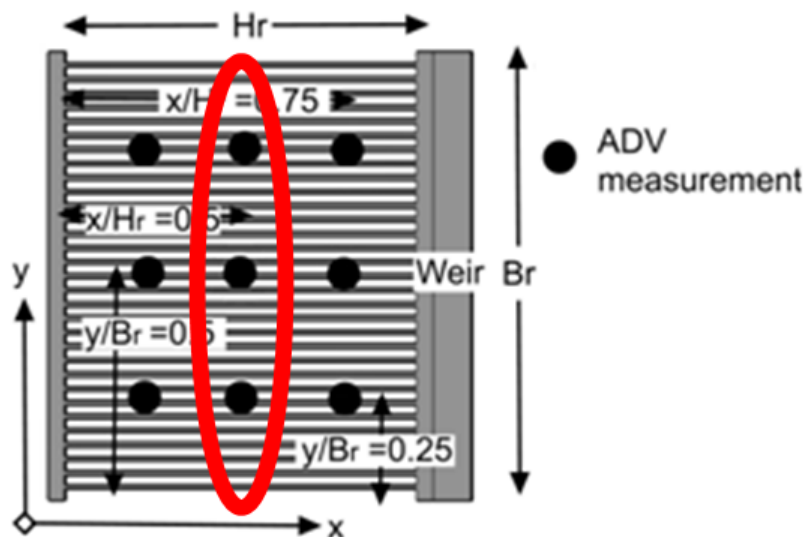


Figur 4-2 Sammenligning av vannhastigheten/grensehastigheten i z-retning med og uten rist ved [x2, y1–y3].



Figur 4-3 Sammenligning av vannhastigheten/grensehastigheten i z-retning med og uten rist ved [x3, y1–y3].

Som en ser av grafene i Figur 4-1, Figur 4-2 og Figur 4-3 er avvikene størst i de midtre punktene, [x2, y1–y3], som er markert med rød sirkel, i Figur 4-4.



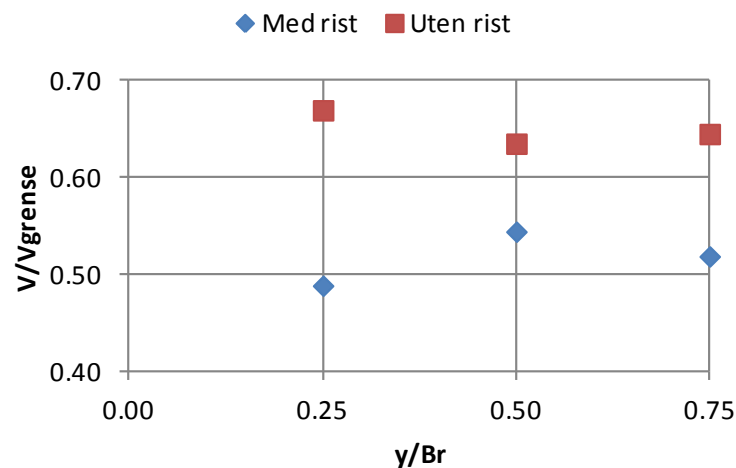
Figur 4-4 Markering av målepunktene med de største forskjellene i vannhastighet mellom målingene med og uten rist ved [x2, y1–y3], sett ovenfra.

På disse punktene kan en se at det er en vesentlig forskjell på vannhastigheten med og uten rist til stede i modellen. Den samme tendensen gjelder i x-retningen. Figurene fra x-retningen finnes i Vedlegg 1 – Sammenligning av vannhastigheter i x-retning med og uten rist. Y-retningen er som tidligere nevnt bredderetningen i horisontalplanet. I denne retningen skal

hastigheten i teorien være null. Hastighetene som er målt i y-retningen, er nær null, og disse verdiene har det dermed liten hensikt å sammenligne.

I tillegg til å teste vannhastighetene over rista var det ønskelig å teste vannhastigheter under rista. Disse testene ble utført som forklart i kapittel 0. I denne gjennomkjøringen ble det som nevnt i kapittel 0 bare testet i punktene  $[x_1, y_1-y_3]$ . Grunnen til dette var at måleinstrumentene som var tilgjengelige under forsøket, bare kunne måle i denne posisjonen.

Til informasjon er det i benyttet en annen skala på  $V/V_{grense}$  akse enn i Figur 4-1, Figur 4-2 og Figur 4-3.



**Figur 4-5 Sammenligning av vannhastigheter i z-retning med og uten rist ved  $[x_1, y_1-y_3]$ . Målepunktene er plassert under rista.**

Det eneste som er forandret på under målingene, er om rista har vært installert i modellen eller ikke. Punktene er målt på samme sted med samme måler og samme måleroppsett. Vannføringen inn og ut har vært lik, og den samme loggeren er benyttet. Det er da nærliggende å tro at årsaken til at punktene i grafene ikke ligger helt oppå hverandre, er at rista påvirker vannhastighetene signifikant.

Vannhastighetene blir helt opp mot ti ganger høyere med rist enn uten (jf. eksempel fra den første gjennomkjøringen i "De første forsøkene", der z-verdien med rist var ca. 18,3 cm/s og uten var 1,8 cm/s). Det er på de midterste punktene ved  $[x_2, y_1-y_3]$  ristas påvirkning på vannhastigheten er tydeligst. Dette gav utslag både over og under rista. Endringene ble målt i både x- og z- retning.

Siden det var relativt store forskjeller på den målte vannhastigheten med og uten rist, ble hovedforsøkene utført med rista installert i modellen. Dette medførte at en måtte lage et arrangement der en fikk én av ADV-målerne til å måle under rista, både mens rista lå

horisontalt og mens den lå på skrå. ADV-måleren måtte også kunne flyttes slik at det kunne måles vannhastigheter i alle punktene under rista.

## **4.2 Hovedforsøkene**

Det vises resultater fra hastighetsfordelingen som går normalt på rista og hastighetsfordelingen som går parallelt på rista. Til høyre for konturplottene er det lagt ved en liten tabell med de målte verdiene.

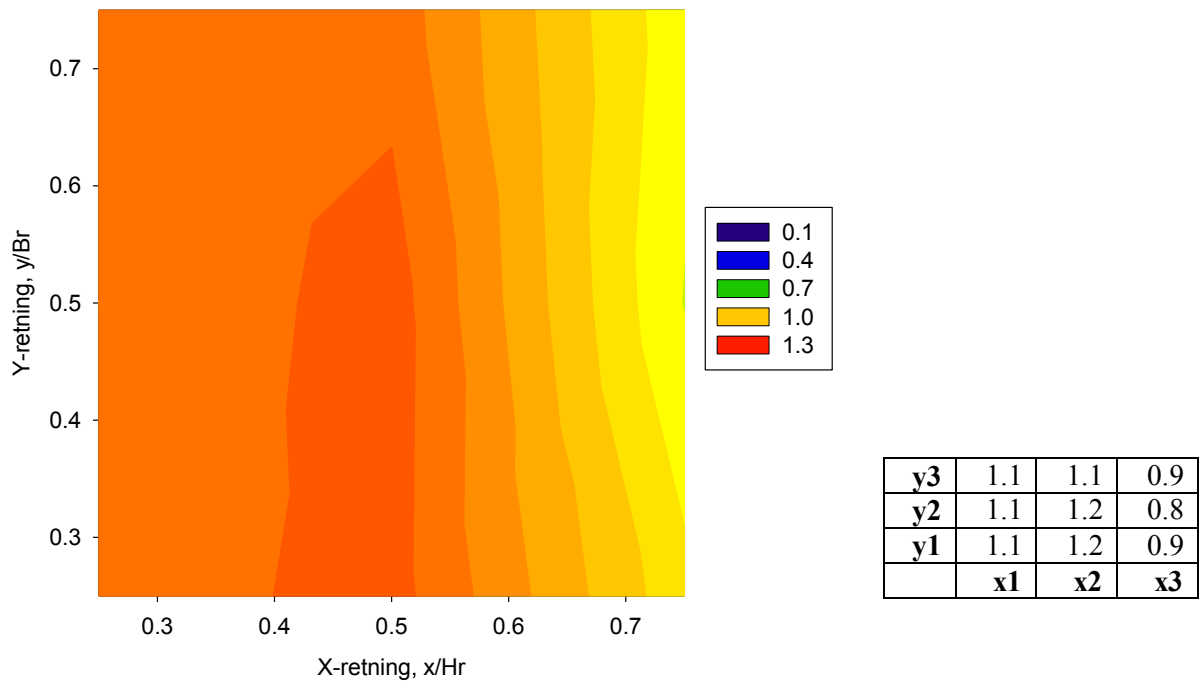
Figurene med konturplott er framstilt på en slik måte at det skal svare til se på rista i fugleperspektiv. Plottets x- og y-retning er de samme som på Figur 3-4.

### **Hastighetsfordeling normalt på ristene:**

I alle plottene er hastighetene normalt på rista ( $V_n$ ) delt på grensehastigheten ( $V_{gr}$ ) for å gjøre plottene dimensjonløse ( $V_n/V_{gr}$ ). Alle punktene som er over 1 i plottet, er over grensehastigheten. I konturplottet for H-rista er de målte z-verdiene benyttet som hastighet normalt på rista; for skråristene er x- og z-verdiene dekomponert til hastigheter normalt på rista. Konturplottene for grafene med hastighetsfordeling normalt på rista har en skala fra 0,1 til 1,3.

### **Vannhastigheter ved H-rista**

Det øverste nivået er ca 5 cm under H-rista, og det er disse målingene som kan si noe om hvor vidt hastighetene på rista er lave nok for at fisken skal klare å svømme bort. På Figur 4-6 ser en hastighetsfordelingen over rista, skissert som et konturplott.

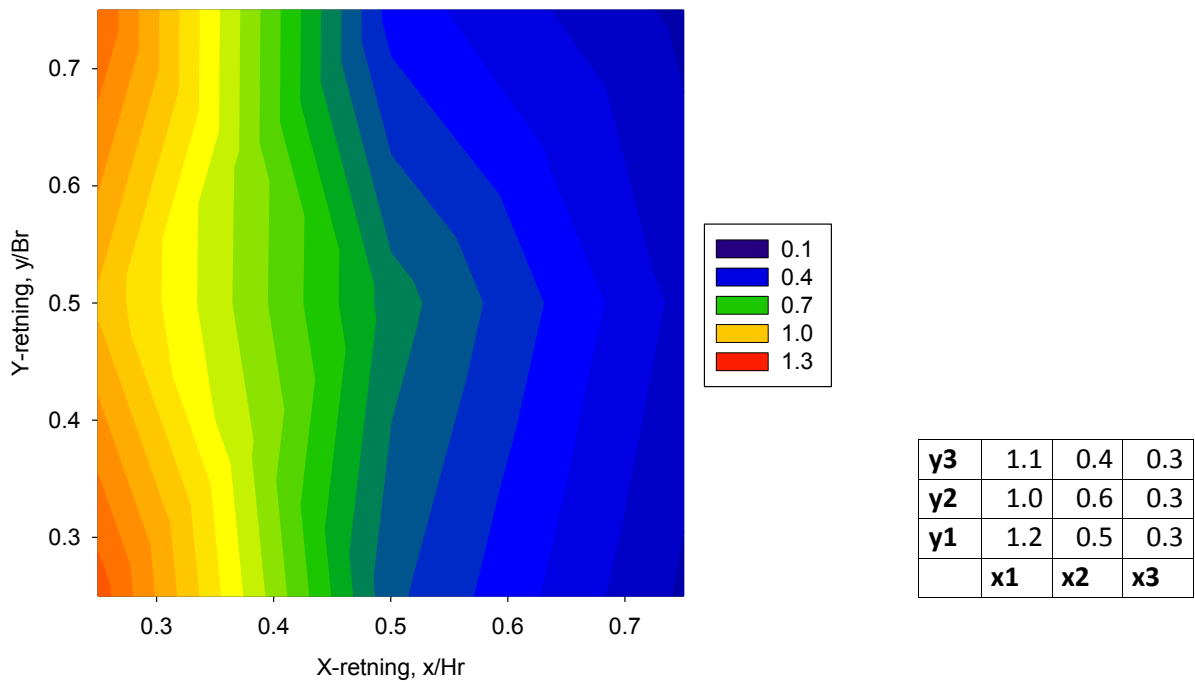


**Figur 4-6 Konturplott av hastighetsfordelingen normalt på rista, målt 5 cm under H-rista,  $V_n/V_{gr}$ , sammen med en tabell over de målte verdiene.**

Som en ser av plottet, er vannhastighetene stort sett høyere enn grensehastigheten. Nær terskelen ved  $[x_3, y_1-y_3]$  er hastigheten lavere enn grensehastigheten, og nær inntaksåpningen,  $[x_1-x_2, y_1-y_3]$ , er hastigheten høyere enn grensehastigheten.

### **Vannhastigheter ved skrårist 28°**

Målingene er gjort på skrå ca 5 cm under rista. De tre punktene  $[x_1, y_1-y_3]$  er målt ved det midterste nivået med den sideveis ADV måleren, de tre punktene ved  $[x_2, y_1-y_3]$  er målt ved det nederste nivået med den sideveis ADV måleren, og de tre siste punktene  $[x_3, y_1-y_3]$  er målt ved det nederste nivået med den sideveis ADV måleren. Hastighetsfordelingene av hastighetsvektorene normalt på rista er vist i Figur 4-7.

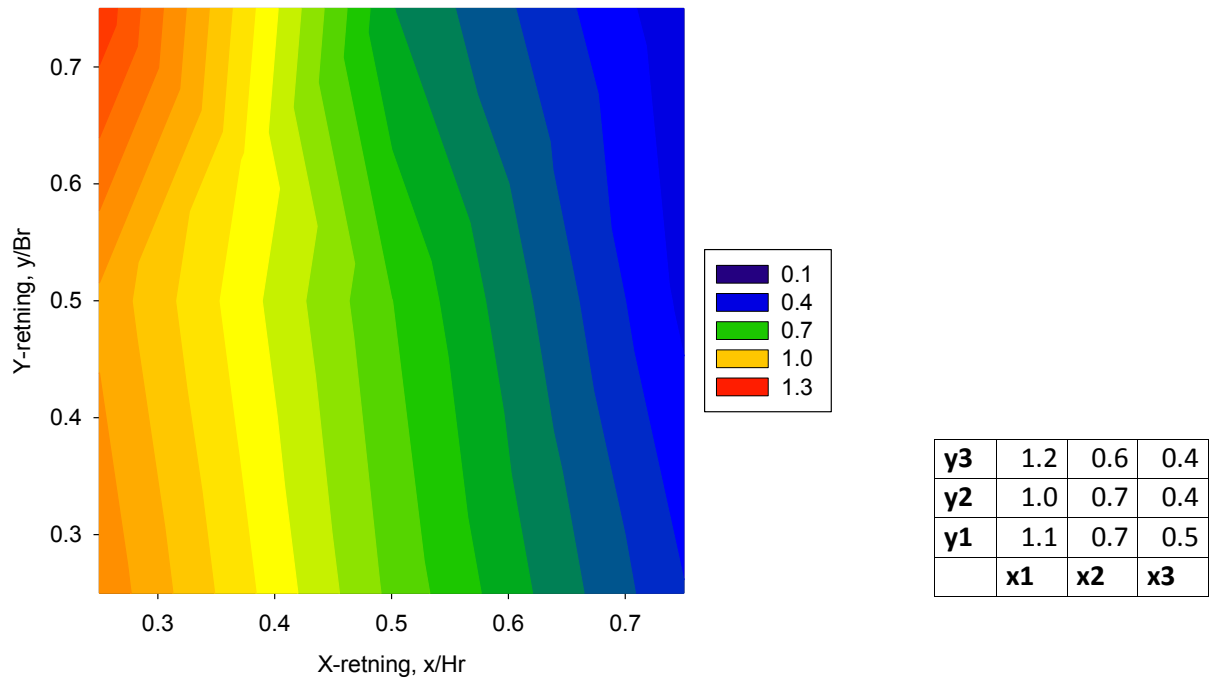


**Figur 4-7 Konturplott av hastighetsfordelingen normalt på rista, målt 5 cm under 28°-rista.**

Konturplottet viser at hastigheten er høyest ved  $[x_1, y_1-y_3]$  og lavest ved  $[x_3, y_1-y_3]$ . Vannhastighetene er stort sett lavere enn grensehastighetene, med unntak av to punkter ved  $[x_1, y_1]$  og  $[x_1, y_3]$ .

### **Vannhastigheter ved skrårista 39°**

Målingene er gjort på skrå ca 5 cm under rista. De tre punktene ved  $[x_1, y_1-y_3]$  er målt ved det midterste nivået med den sideveis ADV måleren, de tre punktene ved  $[x_2, y_1-y_3]$  er målt ved det nederste nivået med den sideveis ADV måleren, og de tre siste punktene ved  $[x_3, y_1-y_3]$  er målt gjennom rista med den nedadrettede ADV måleren fra oversiden av rista. Hastighetsfordelingene av hastighetsvektorene normalt på rista er vist i Figur 4-8.



**Figur 4-8** Konturplott av hastighetsfordelingen normalt på rista, målt 5 cm under 39°-rista.

Konturplottet viser at vannhastigheten er høyest ved  $[x_1, y_1-3]$ , og lavest ved  $[x_3, y_1-y_3]$ . Vannhastighetene er stort sett lavere enn grensehastighetene, med unntak av de tre punktene ved  $[x_1, y_1-y_3]$ .



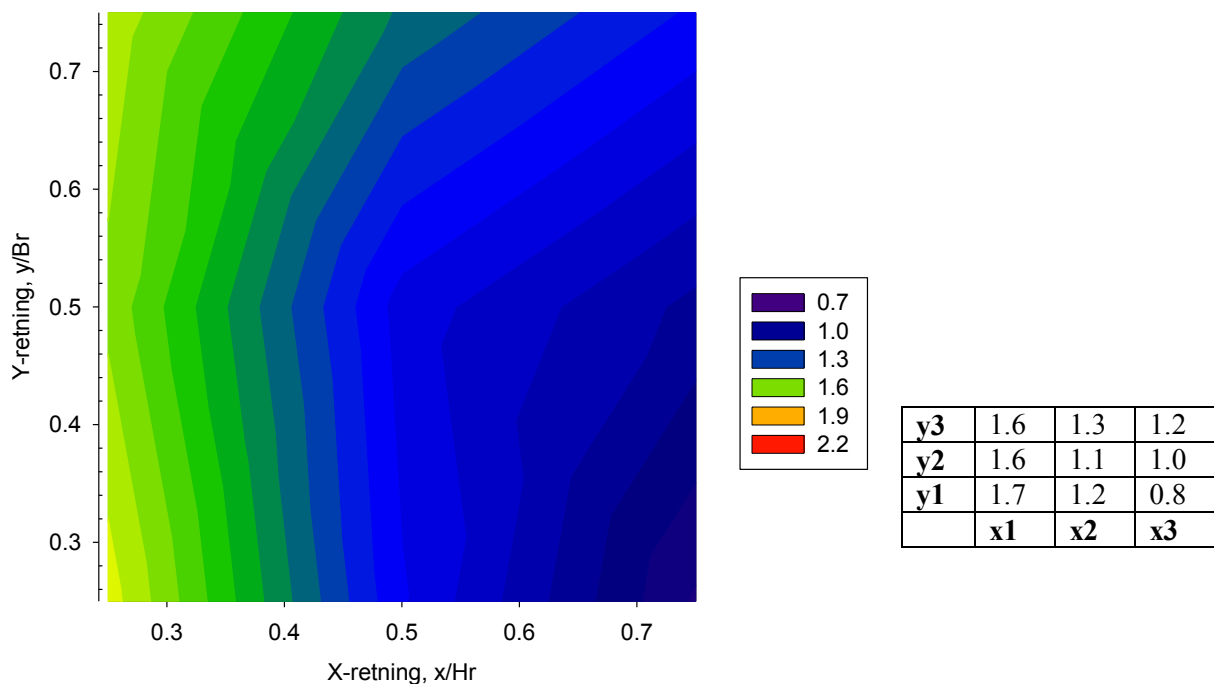
### Vannastighetsfordeling parallelt på ristene (sveiphastigheten):

Det er også laget konturplottframstillinger av hastighetsfordelingen parallelt med varegrinda, sveiphastigheten. I alle plottene er sveiphastigheten delt på den korrelerende hastigheten normalt på rista for å gjøre plottene dimensjonløse. Dette er gjort for å få en grei framstilling av forskjellen mellom hastigheten normalt på rista og sveiphastigheten. I konturplottet for H-rista er de målte x-verdiene benyttet som sveiphastigheten til rista; for skråristene er x- og z-verdiene dekomponert til sveiphastigheter til rista. Disse konturplottene har en annen skala enn konturplottene av hastighetene normalt på rista. Skalaen på grafene under er fra 0,7 til 2,2.

Verdiene som er benyttet i konturplottene under, er som nevnt fra de samme målingene som for hastighetene normalt på rista, men med vektorer som tilsvarende sveiphastigheter. Beskrivelsen av hvor de forskjellige målepunktene er hentet fra i modellen, og hvilken ADV-måler som er benyttet, blir derfor ikke gjentatt siden dette kan leses i forklaringen til hastighetsfordelingen normalt på rista.

### Sveiphastigheter ved H-rista

Fordelingen av sveiphastighetene er vist i Figur 4-9.

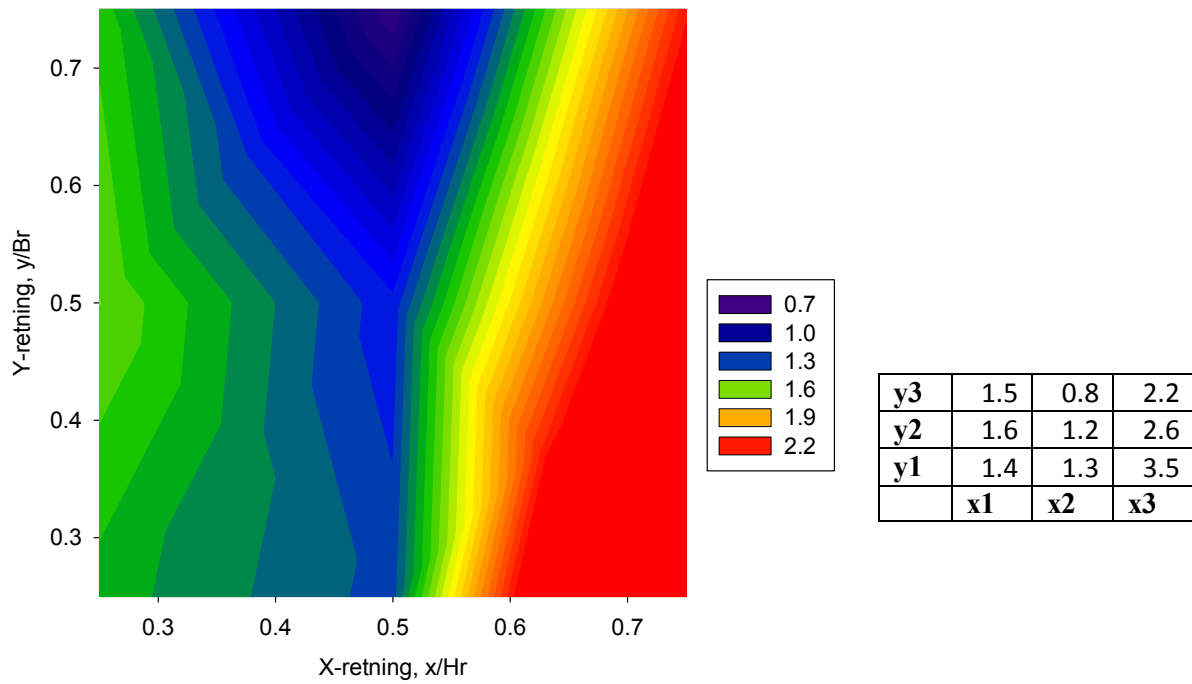


**Figur 4-9 Konturplott av hastighetsfordelingen parallelt på rista delt på hastigheten normalt på rista, målt 5 cm under H-rista.**

Konturplottet viser at hastighetene ved  $[x1-x2, y1-y3]$ , og  $[x3, y3]$  er høyere enn hastigheten normalt på rista. Det er bare ett målepunkt hvor sveiphastigheten er lavere enn hastigheten normalt på rista, nemlig  $[x1, y1]$ .

### Sveiphastigheter ved skrårist 28°

Fordelingen av sveiphastighetene er vist i Figur 4-10.

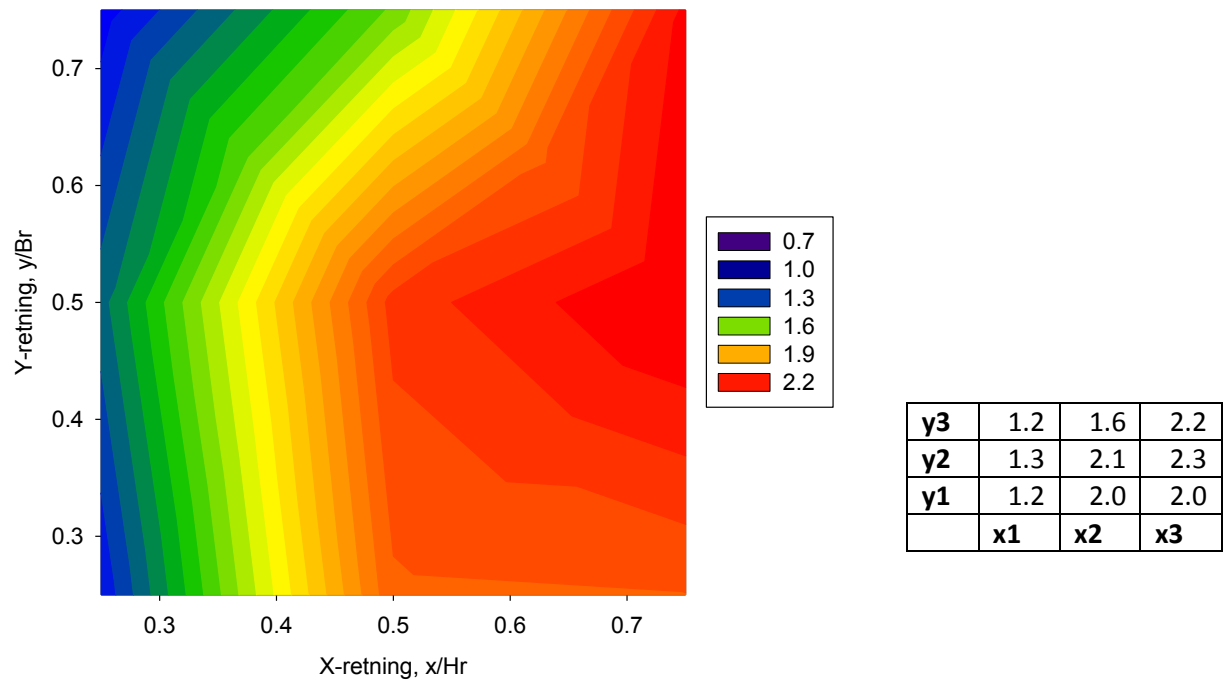


**Figur 4-10 Konturplott av hastighetsfordelingen parallelt på rista delt på hastigheten normalt på rista, målt 5 cm under 28°-rista.**

Konturplottet viser at alle de målte sveiphastighetene, unntatt punkt [x2, y3], er høyere enn vannhastighetene normalt på rista.

### Sveiphastigheter ved skrårista 39°

Fordelingen av sveiphastighetene er vist i Figur 4-11.

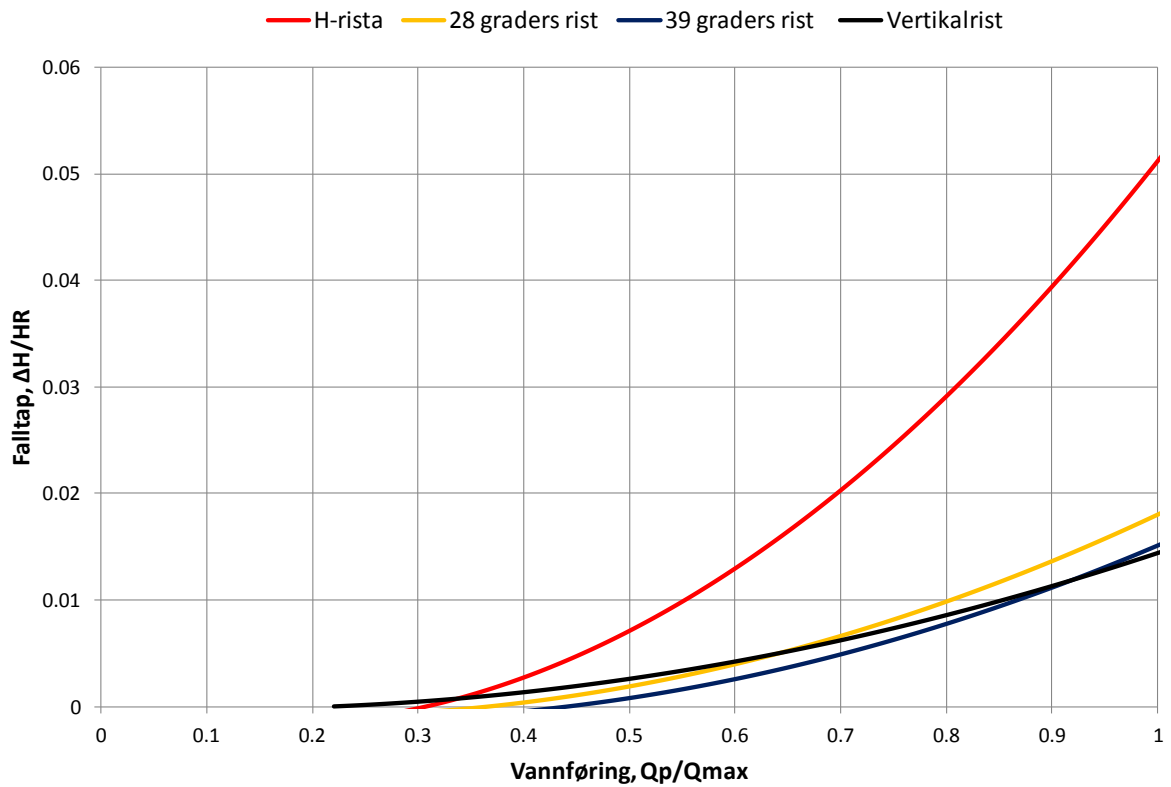


**Figur 4-11 Konturplott av hastighetsfordelingen parallelt på rista delt på hastigheten normalt på rista, målt 5 cm under 39°-rista.**

Konturplottet viser at alle sveiphastighetene er høyere enn hastighetene normalt på rista over hele plottet.

### 4.3 Falltapsforsøkene

Figur 4-12 viser falltapskurvene for de forskjellige oppsettene sammenlignet med falltapskurven for en vertikalgrind. Figuren er laget fra trendlinjer med polynomregresjon med eksponent to.

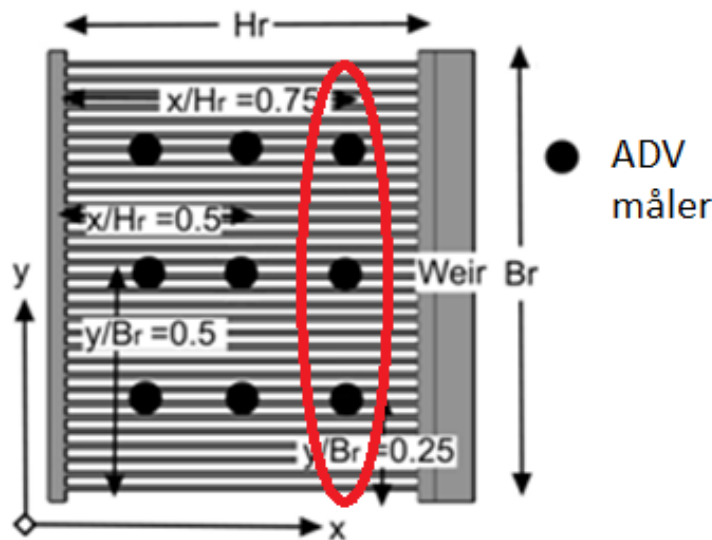


Figur 4-12 Oversikt over falltapedet til de forskjellige oppsettene, sammenlignet med falltapedet til en vertikalgrind.

## 5. Diskusjon

### Diskusjon av H-rista, vannhastigheter normalt og parallelt på grinda:

Med tanke på fisk er vannhastighetene normalt på grinda noe høye, opptil 17 prosent over grensehastigheten. Bare tre av ni verdier er lavere enn grensehastigheten. Disse punktene er markert med en rød ring i Figur 5-1, ved  $[x_3, y_1-y_3]$ . De resterende seks punktene  $[x_1-x_2, y_1-y_3]$  har verdier over grensehastigheten.



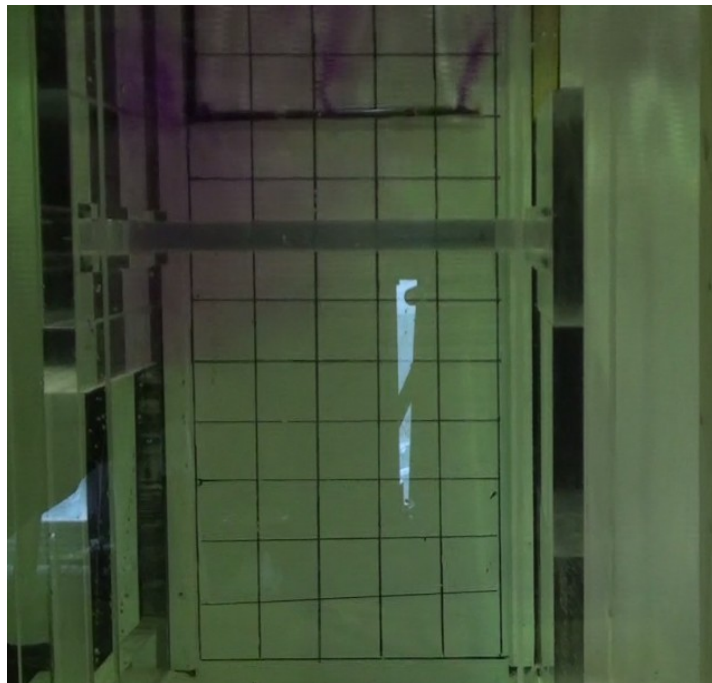
Figur 5-1 Målte punkter som er lavere enn grensehastigheten, er markert med en rød ring, sett ovenfra.

Det er en fordel for fisk hvis sveiphastigheten er større enn vannhastigheten normalt på grinda, og gjerne to ganger større enn vannhastigheten normalt på grinda (Thorstad et al. 2014b). Høy sveiphastighet kan hjelpe fisken til å svømme bort fra rista i sveiphastighetens retning. Sveiphastighetene til rista er høyere enn hastigheten normalt på grinda i de seks punktene  $[x_1-x_2, y_1-y_3]$  hvor hastigheten normalt på grinda var over grensehastigheten. Dette kan hjelpe fisken bort fra områdene med for store hastigheter. Det er likevel uheldig med vannhastigheter normalt på rista høyere enn grensehastigheten over så store deler av rista. Det kan da være en fordel for fisken at produksjonsvannføringen (vannføringen gjennom rista) blir redusert, slik at vannhastigheten normalt på grinda blir redusert i perioder da fisk nedvandrer.

Det var forventet at de målte vannhastighetene over rista skulle være mer eller mindre like i alle punktene innenfor  $[x_1, y_1-y_3]$ , og at alle punktene i  $[x_2, y_1-y_3]$  skulle ha samme hastighet, og det samme med punktene i  $[x_3, y_1-y_3]$ . Fordi modellens strømmingstverrsnitt i  $y$ -retning er konstant, var det også en forventning om at vannhastigheten i  $y$ -retning skulle være tilnærmet null.

Vannhastigheten i  $y$ -retning har vist seg å være tilnærmet lik null, og har derfor ikke blitt tatt hensyn til i denne oppgaven. Hastighetene i  $x$ - og  $z$  retning har også vist seg å være relativt

like i alle punktene innenfor  $[x_1, y_1-y_3]$ ,  $[x_2, y_1-y_3]$  og  $[x_3, y_1-y_3]$  for H-rista. Unntaket er de ni målingene som ble målt ved det nederste nivået. Her var hastighetsfordelingen ujevn, noe som trolig skyldes at målingene ble påvirket av vannet som gikk ned i spylørøret. Da strømningssituasjonen ble observert med tilsatt farge i vannet ble det observert en dynamikk, ved at vannet i noen perioder tok med seg fargen gjennom rista, og i andre perioder ble farge tatt med ned i spylørøret. Videre kunne det observeres at strømmingen ved  $[x_1, y_1-y_3]$  i det øverste nivået hadde en noe mer "rotete" strømming enn ved  $[x_2-x_3, y_1-y_3]$ . Dette er forsøkt vist i Figur 5-2. Figuren viser at det er farge under rista. Dette betyr at vannet går motsatt vei av hovedvannføringen, nemlig nedover ved  $[x_1, y_1-y_3]$ . Vannet tar med seg farge ned og gjennom rista, før det går gjennom rista igjen ved  $[x_2, y_1-y_3]$  og følger hovedstrømmen. Dette indikerer en bakevje ved punktene i  $[x_1, y_1-y_3]$ , og dette kan være grunnen til at vannføringen blir noe rotete.

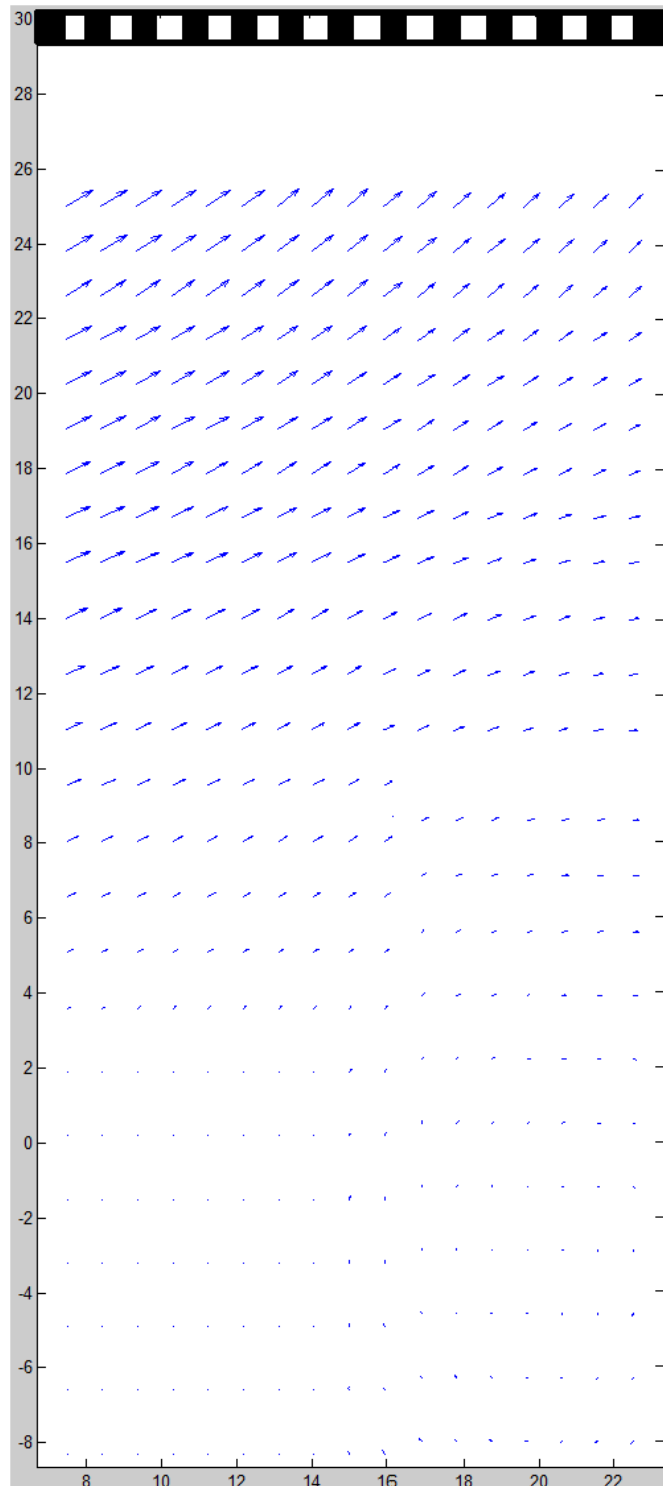


**Figur 5-2** Bilde med farge i vannet for å kunne observere strømmingen i modellen, fra en måling med horisontalrist, sett fra siden. Fargen i vannet kommer fra røret over rista.

Et annet problem med utformingen til H-rista er at avstanden fra grinda og ned til spylørøret er relativt stor. Det ble i kapittel 2.3.1 opplyst om viktigheten av å ha den alternative nedvandringruta i umiddelbar nærheten av varegrinda, og helst under 1 meter fra grinda. I en fullskalamodell tilsvarer avstanden fra varegrinda ned til spylørøret 1,75 meter, noe som er over den anbefalte maksimalavstanden på én meter.

Hastighetsfordelingen i vertikalplanet er presentert i Figur 5-3, som er et vektorplott. Plottet er laget ved å ta gjennomsnittet av hastighetene i x-retningen for  $[x_1, y_1-y_3]$ ,  $[x_2, y_1-y_3]$  og  $[x_3, y_1-y_3]$  for alle nivåene, og det samme for z-retningen. Ut fra dette får en elleve vektorer til elleve punkter, de samme punktene som er tegnet på Figur 3-6.

Mellom punktene er det interpolert.



**Figur 5-3** Vektorplott av vannhastighetene under H-rista sett fra siden. Rista er tegnet inn øverst på figuren.

Vektorplottet gir ikke en helt riktig framstilling av strømmingen siden framstillingen er basert på målte gjennomsnittsverdier. Da det ble sett på strømningsbildet til modellen ved å helle farge i vannet, kunne en se at strømmingen endret seg periodevis. Dette gjaldt spesielt ved nederste nivå. Her gikk strømmen tidvis oppover og gjennom rista, tidvis nedover og ut spyleløret. Den utregnede gjennomsnittshastigheten ble dermed påvirket av at noe vann gikk opp gjennom rista (positive verdier), og noe vann gikk ned til spyleløret (negative verdier). Denne periodevise vekslingen kommer ikke til syne når en bruker gjennomsnittshastigheter. Det må også nevnes at det var relativt små vannhastigheter som gikk både opp og ned. Vannføringen ut spylekammeret og spyleløret var rundt 1,2 l/s, noe som tilsvarte en vannhastighet på ca. 3 cm/s i spylekammeret. Dette gjelder for alle de tre vektorplottene på Figur 5-3, Figur 5-4 og Figur 5-6.

### **Diskusjon av skrårist 28°, vannhastigheter normalt og parallelt på grinda:**

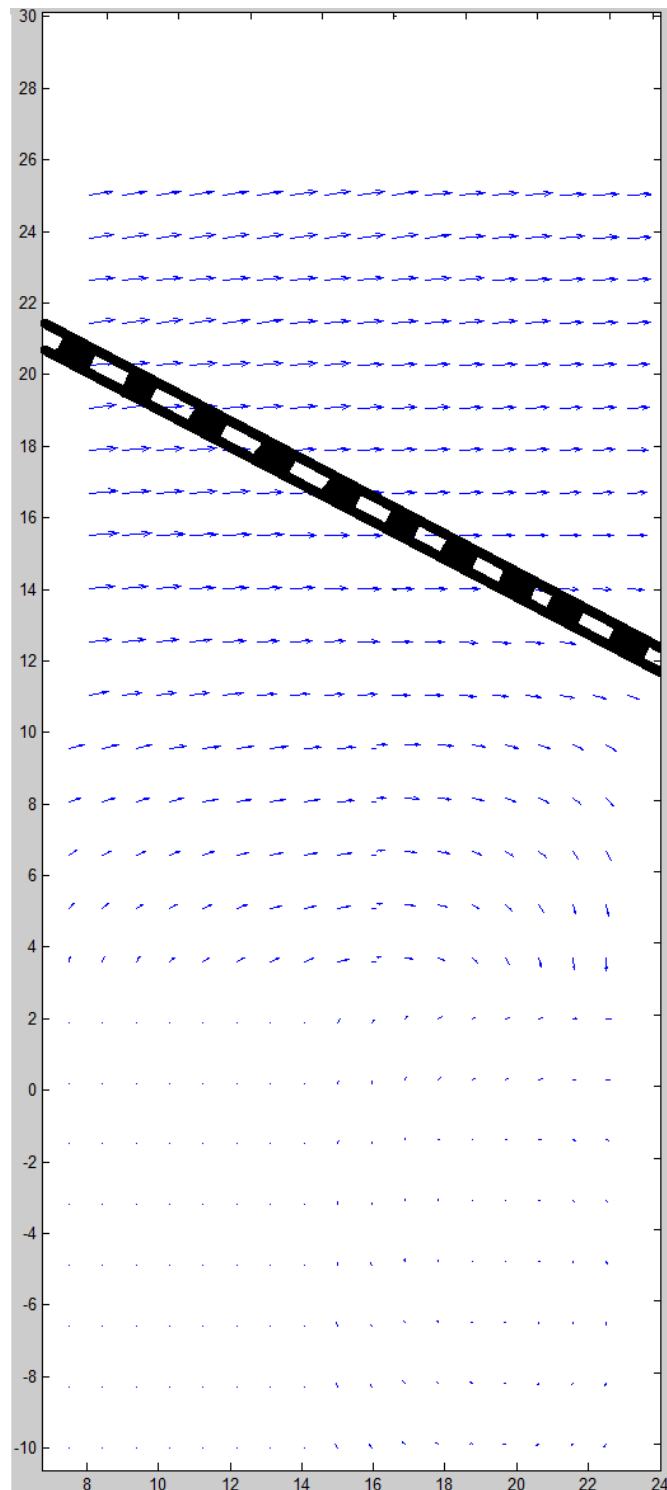
Målingene av hastighetene normalt på grinda viste at hastighetene hovedsakelig var under grensehastigheten med hensyn til fisk. Kun ved punktene  $[x_1, y_1]$  og  $[x_1, y_3]$  var vannhastighetene henholdsvis 15 og 18 prosent over grensehastigheten. Det var kun to målinger som var over grensehastigheten, og mest sannsynlig vil fisken klare å svømme bort fra disse områdene så lenge den kan oppholde seg andre steder, hvor de kan hvile.

Et annet poeng med de to målingene som var over grensehastigheten, er at det ble målt en sveiphastighet på 1,4 og 1,5 ganger hastigheten normalt på rista i disse punktene. Den høye sveiphastigheten kan hjelpe fisken til å svømme bort fra rista til et område hvor den klarer å komme seg vekk. Ved å ha en stor sveiphastighet kan en lede fisk mer effektivt langs varegrinda og til fluktåpningen, som i denne modellen er spyleløret.

Forventningen om at de målte hastighetene over rista skulle være mer eller mindre like i alle punktene innenfor  $[x_1, y_1-y_3]$ ,  $[x_2, y_1-y_3]$  og  $[x_3, y_1-y_3]$ , gjaldt også for 28°-rista. Hastighetene har vist seg å være relativt like i alle punktene innenfor  $[x_1, y_1-y_3]$ ,  $[x_2, y_1-y_3]$  og  $[x_3, y_1-y_3]$  for skrårista på 28°.

Hastighetsfordelingen i vertikalplanet er presentert i Figur 5-4, som er et vektorplott. Plottet er laget på samme måte som for H-rista. Den eneste forskjellen er at tre punkter som ble målt tett inntil rista, er tatt bort. De målte verdiene i disse punktene ble tilnærmet lik null, noe som ikke stemmer overens med hva som blir observert når en heller farge i vannet i de målte situasjonene. En grunn til at de målte verdiene er blitt så lave, kan være at målepunktet som måleren måler i, er i en bakevje til rista. Mellom de anvendte målingene er det benyttet interpolerte vannhastighetsverdier.

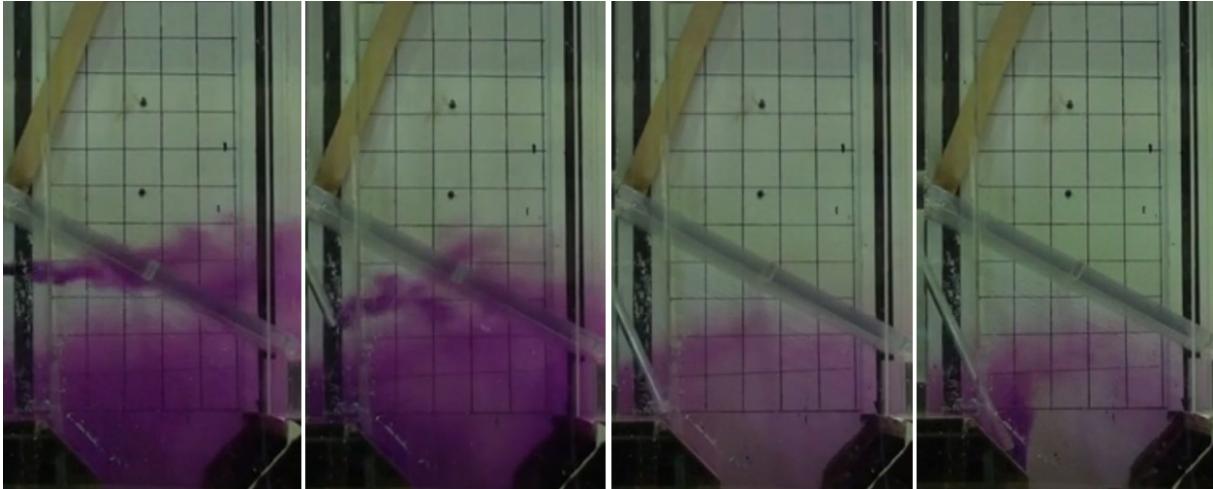




**Figur 5-4** Vektorplott av vannhastighetene rundt 28° rista, sett fra siden. Rista er tegnet på figuren.

Vektorplottet stemmer ganske godt overens med hvordan strømningsbildet så ut med farge tilsatt i vannet, unntatt kanskje den nederste delen av vektorplottet fra 0 til -10. Her ble det

observert en dynamisk strømningssituasjon som skapte vannhastigheter både opp gjennom rista og ned mot spyleluka. Dette kom ikke med i vektorplottet. I Figur 5-5 er det gjort et forsøk på å vise strømningens bildet.



**Figur 5-5** Bilder av strømmingen over skrårista på 28° med farge i vannet. Bilde 1 til venstre har fargekilden i øverste nivå, og viser strømmingen i øverste nivå, bilde 2 er fargekilden i det midterste nivået og viser strømmingen i det midterste nivå, bilde 3 er har fargekilden i det nederste nivået, og viser strømmingen i det nederste nivå og bilde 4 helt til høyre har fargekilden i bunnivået og viser strømmingen ved bunnivå. Alle bildene er sett fra siden.

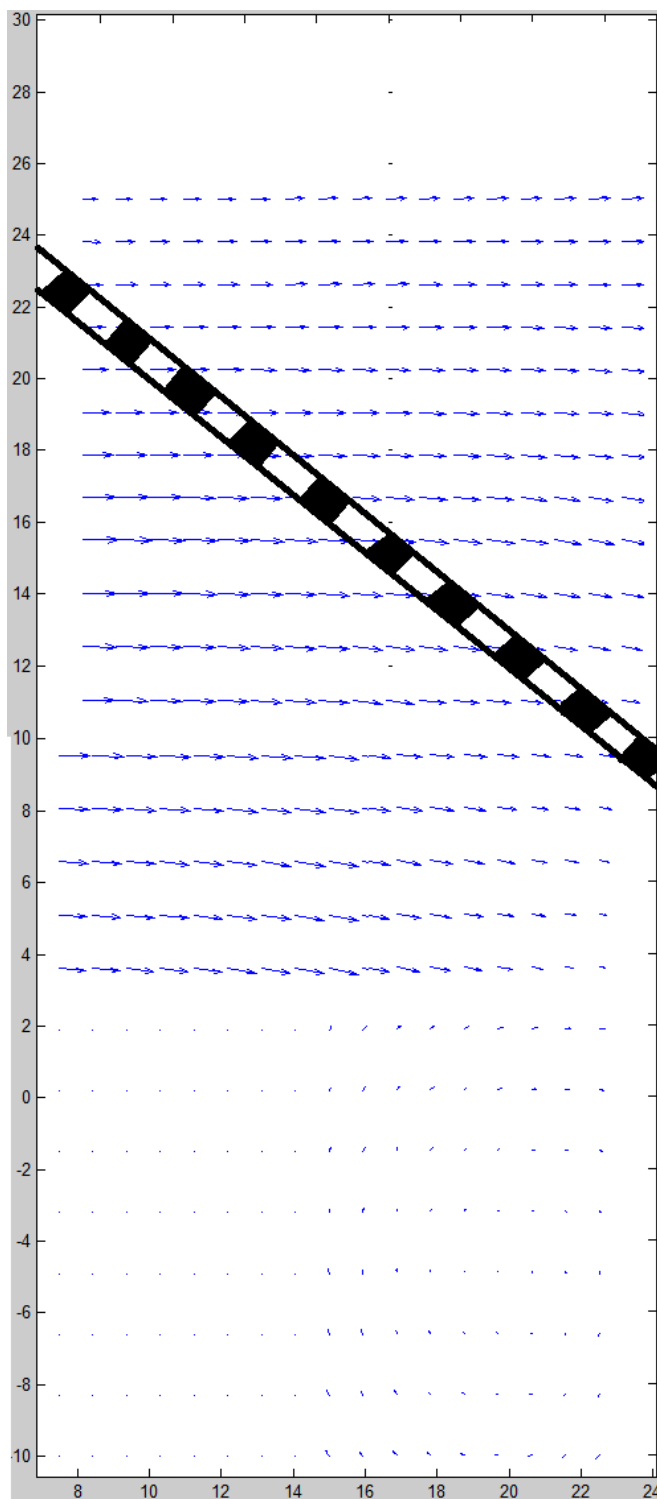
Nivåene det blir henviset til kan finnes igjen i Figur 3-6. Fra Figur 5-5 kan en se at strømmingen stort sett går horisontalt gjennom rista ved øverste og midterste nivå, og at strømmingen er mer turbulent ved de to nederste nivåene. Dette kan skyldes at vannet som går til spyleluken, påvirker hovedstrømmen ved nedre nivå og bunnivået.

#### **Diskusjon av skrårist 39°, vannhastigheter normalt og parallelt på grinda:**

I de fleste punktene som ble målt rett under rista var vannhastigheten normalt på rista under grensehastigheten. Unntaket var de tre punktene ved  $[x_1, y_1-y_3]$ . I disse punktene var vannhastigheten henholdsvis 9 og 24 prosent høyere enn grensehastigheten. I de andre punktene var vannhastigheten vesentlig lavere enn grensehastigheten. Fisken vil trolig klare å svømme bort fra disse punktene siden hastighetene er lavere enn grensehastigheten andre steder under rista hvor den kan få hvilt. Sveiphastigheten i de omtalte punktene var høyere enn hastigheten normalt på ristene, mellom 1,2 og 1,3 ganger så høy.

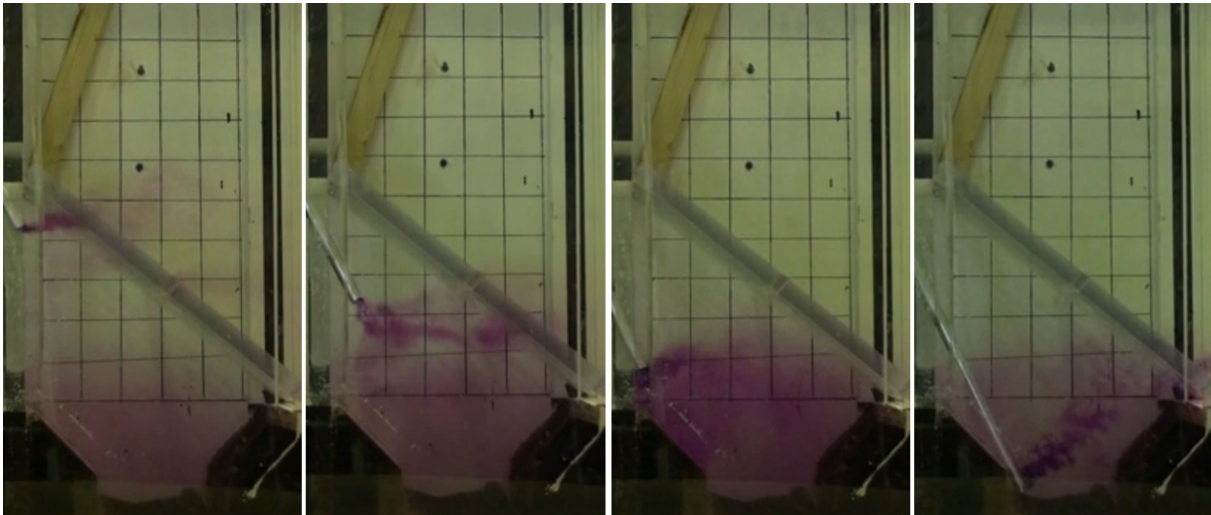
Forventningen om at de målte hastighetene over rista skulle være mer eller mindre like i alle punktene innenfor  $[x_1, y_1-y_3]$ ,  $[x_2, y_1-y_3]$  og  $[x_3, y_1-y_3]$ , gjaldt også for 39°-rista, og forventningene stemte.

Hastighetsfordelingen i vertikalplanet er presentert i Figur 5-6, som er et vektorplott. Plottet er laget på samme måte som for H-rista og skrårista på 28°. Tre punkter som ble målt tett inntil rista, ble tatt bort for 39°-rista på samme måte som for 28°-rista. Det er interpolert mellom de anvende målingene.



**Figur 5-6** Vektorplott av vannhastighetene rundt 39° rista, sett fra siden. Rista er tegnet på figuren.

Vektorplottet stemmer ganske godt overens med hvordan strømningsbildet så ut med farge i vannet, unntatt kanskje den nederste delen av vektorplottet fra 0 til  $-10$ . Her ble det observert en dynamisk strømmingssituasjon, slik som H-rista og skrårista  $28^\circ$ . Dette kom ikke med i vektorplottet. I Figur 5-7 er det gjort et forsøk på å vise strømningsbildet.



**Figur 5-7** Bilder av strømmingen over skrårista på  $39^\circ$  med farge i vannet. Bilde 1 til venstre har fargekilden i øverste nivå, og viser strømmingen i øverste nivå, bilde 2 er fargekilden i det midterste nivået og viser strømmingen i det midterste nivå, bilde 3 er har fargekilden i det nederste nivået, og viser strømmingen i det nederste nivå og bilde 4 helt til høyre har fargekilden i bunnivået og viser strømmingen ved bunnivå. Alle bildene er sett fra siden.

Strømmingen gjennom rista er stort sett horisontal også for  $39^\circ$ -rista ved det øverste og det midtre nivået. Strømmingen blir mer turbulent ved det nederste nivået og bunnivået noe som trolig skyldes påvirkning fra vannføringen ned mot spylørret.

### **Generelle kommentarer til plotta og målingene:**

Grafene som er plottet i SigmaPlot, har kun hastighetsmålinger i ni punkter som utgangspunkt. SigmaPlot er benyttet for å beregne vannhastigheter mellom punktene for å skape et bilde av vannhastighetsdistribusjonen. En får dermed et visuelt inntrykk, men det er ikke dermed sikkert at de interpolerte verdiene stemmer overens med de faktiske verdiene.

En alternativ metode for å kunne si noe om det faktiske strømningsbildet kunne ha vært å bruke "Particle image velocimetry" (PIV). PIV er en optisk metode for å få et godt strømningsbilde (Adrian & Westerweel 2010). Kort forklart går metoden ut på å bruke laserlys og et opptaksmedium til å registrere partiklers posisjon over tid, samt en datamaskin til å bearbeide resultatet. Denne metoden kunne ikke benyttes i dette arbeidet da kunnskapen om å anvende utstyret manglet. Det virker imidlertid for at denne metoden hadde passet godt til denne oppgaven, for med dette utstyret kan en få et strømningsbilde som er mye mer nøyaktig enn ved bruk av ADV-måler. En ville fått ut et hastighetsbilde over hele rista, ikke

bare punktvis som en får ved bruk av ADV-måler. Strømningsbildet hadde blitt fullstendig, og en kunne med sikkerhet si hvordan strømmingen rundt og gjennom de forskjellige ristene var.

Den benyttede metoden med ADV-målere påvirker resultatet noe. Strømningen i punktene hvor det måles, blir påvirket av selve måleren. Partiklene i vannet treffer først måleren for så å strømme rundt måleren før de blir målt. Ved å bruke PIV ville en ikke hatt påvirkning fra måleapparatet siden måleapparatet (kameraet og lyset) befinner seg på utsiden av modellen.

ADV-måleren benytter også partikler i vannet for å finne vannhastigheten. Da noen av forsøkene ble gjennomført, var det til dels litt lite partikler i vannet, og dette kan ha påvirket resultatene. Det er gjort forsøk på å kompensere for manglende partikler ved å tømme finkornet sand og sandstøv i vannet mens forsøkene har pågått.

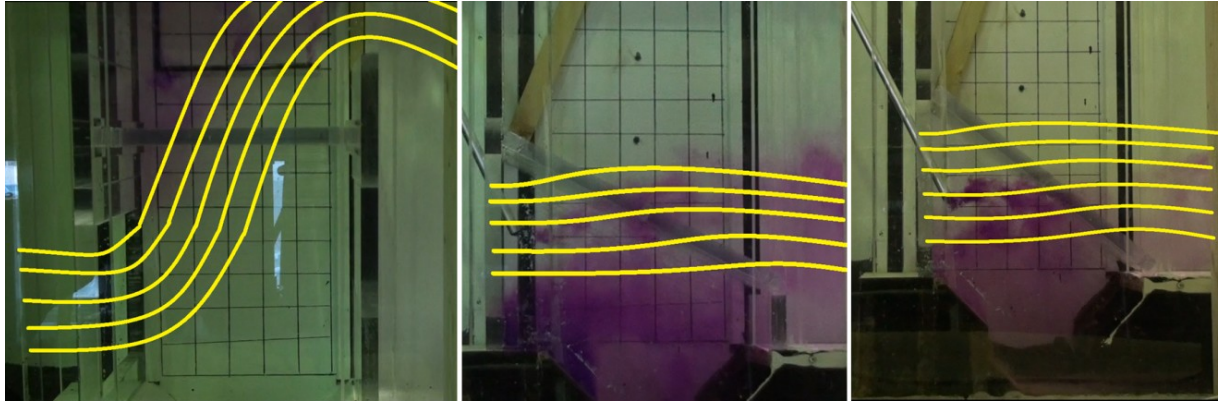
Resultatene fra målingene som ble gjort med ADV-måleren like ved rista, gir et inntrykk av at hastighetene her er nær null i alle retninger. Dette er ikke et riktig bilde av strømmingssituasjonen for de aktuelle punktene. De lave hastighetene som ble målt, kan for eksempel komme av at en bakevje har oppstått rett bak rista, og at ADV-måleren har målt i det punktet i bakevja der vannet nesten har stått i ro.

### **Falltapsforsøkene:**

En kan tydelig se av grafene i Figur 4-12 at oppsettet med H-rista gir større falltap enn de skråstilte ristene. Det kommer også fram av den samme figuren at rista med den bratteste vinkelen, 39°-rista, gir noe lavere falltap, rundt 16 prosent lavere ved dimensjonerende produksjon enn 29°-rista. Forskjellen i falltap mellom 39°-grinda og vertikalgrinda ved dimensjonerende produksjon er relativt liten; vertikalgrinda har rundt 4 prosent mindre vertikaltap enn skrårista. Hovedforskjellen i de målte falltapene ligger imidlertid i om det blir benyttet horisontalgrind eller vertikalgrind/skrågrinder.

Det må nevnes at det er benyttet trendlinjer for å framstille grafene i Figur 4-12. Regresjonen som er benyttet for å lage kurvene, gir bare en omtrentlig falltapskurve, og forskjellene mellom kurvene kan i virkeligheten både være større og mindre.

Grunnen til at falltapedet er en del høyere for oppsettet med horisontalgrind, er trolig at det er en terskel ved grinda som gjør at vannet får en lengre vei å gå, og det må skifte retning flere ganger enn ved skråristene. Dette er forsøkt skissert i Figur 5-8.



**Figur 5-8** Inntegnet vannstrømmen til H-rista (til venstre), skrårist 28° (i midten) og skrårist 39° (til høyre). Sett fra siden.

### **Anbefalt utforming:**

Skal inntaket være best mulig utformet i kraftverksøyemed, skal det være best mulig utformet i forholdt til å ta vare på nedvandrende fisk, eller kan man oppnå begge deler En gjennomgang av positive og negative sider ved de ulike ristene blir presentert under.

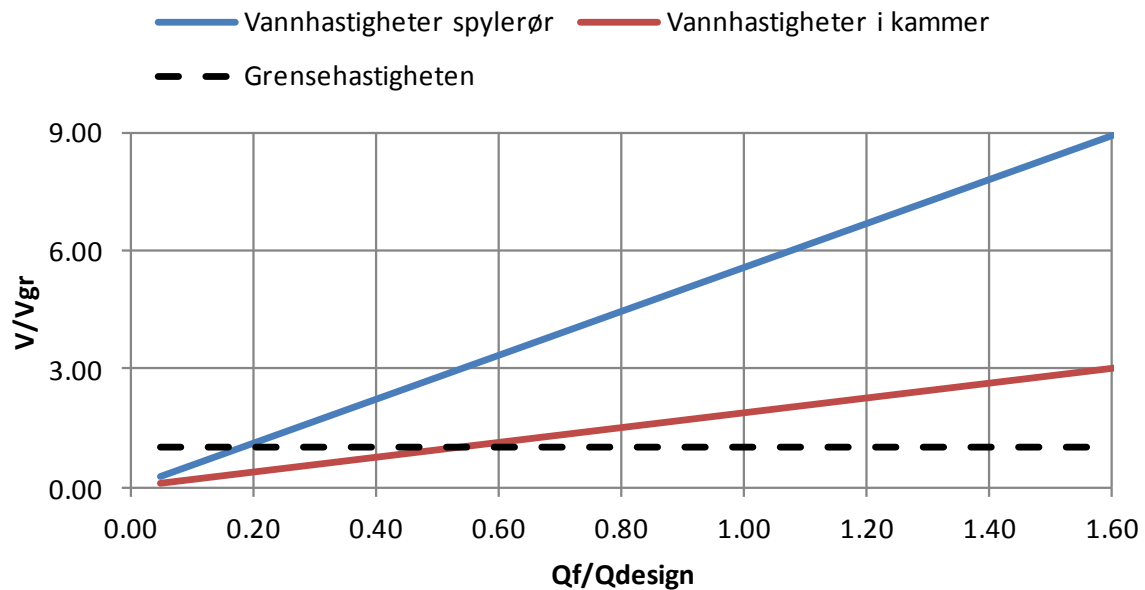
H-rista er effektiv ved tilbakespyling (Wigestrand 2013), som vil si at vedlikeholdet er forenklet. Hastigheten over rista er noe høy for fisk, og generelt høyere enn for skråristene. Arealet vannet skal gjennom, er mindre for H-rista, og med samme vannføring som for skråristene blir også vannhastigheten høyere. Lengden fra H-rista og ned til spyleøret er også lengre enn den anbefalte lengden fra en hindring for fisk til en fluktvei. H-rista har også høyere falltap enn de skråstilte ristene, som diskutert over.

For de to skråristene viser målingene at både vannhastigheter og falltap er relativt like. Det er ikke gjort tilbakespylingsforsøk på skråristene, slik at effekten ved tilbakespyling er vanskelig å vurdere. Det virker imidlertid som om tilbakespyling kan fungere godt også for skråristene fordi prinsippet for tilbakespylingen vil være det samme for disse ristene som for H-rista. Hvilken utforming som er mest gunstig i forhold til spyling må verifiseres med videre forsøk.

Falltaped på de to skråristene er som tidligere nevnt vanskelig å si noe eksakt om, siden Figur 4-12 er laget ut fra trendlinjer. En kan anta at 28°-rista har noe høyere falltap enn 39°-rista, slik Figur 4-12 viser. 28°-rista har en mindre vinkel enn 39°-rista og ligner dermed mer på H-rista, noe som bygger opp under at falltaped trolig er høyest for 28°-rista. Forskjellen ser imidlertid ut til å være svært liten, så er det vanskelig å si noe mer eksakt om dette. Hastighetsfordelingen på ristene ser ut til å være relativt lik.

Slik modellen er laget i laboratoriet, gir den mulighet til å spyle drivgods bort fra grinda. Det er mulig å lukke igjen en inntaksluke for så å tømme inntakskammeret helt for vann ved å åpne spyleluken. Hvis dette skal gjøres, må kraftverket stoppe helt opp for ikke å dra med luft ned i turbinen. Fisken som befinner seg under rista, blir da tvunget til å svømme ut spyleøret med lave vannhastigheter, eller spylt ut ved høye vannhastigheter. Spylekapasiteten med full åpning av spyleluka er 35 l/s, og designvannføringen til kraftverket er 22 l/s, noe som vil si at

spylekapasiteten er 1,6 ganger designvannføringen til kraftverket (Wigestrånd 2013). Figur 5-9 viser de dimensjonsløse vannhastighetene i spylekammeret og spylørøret.



**Figur 5-9 Beregnet vannhastighet i spylørøret og spylekammeret ved forskjellige spylevannføringer, med grensehastigheten stiplet inn.**

Spylekammeret og spylørøret kan sees i Figur 3-1 og Figur 3-2. Figur 5-9 viser at vannhastighetene i både spylekammeret og spylørøret kommer over grensehastighetene med relativt liten spylevannføring. Ved maksimal spyling er hastighetene så store at fisken ikke klarer å svømme mot strømmen, og fisken vil trolig bli fraktet passivt med vannstrømmen (sammen med eventuelt annet drivgods). Hvis spyling skal brukes, må en lage spylekammer og spylørør på en måte som skåner fisken og sikrer at den ikke tar skade av å bli spylt. Det må være jevne overganger mellom spylekammer og spylørør, og stengeanordningen til spylesystemet må ikke ha skarpe kanter slik at fisken får skader under spyling.

Det er vanskelig å konkludere med hvilken av skråristene som har den beste utformingen. Målingene er relativt like for begge ristene.

### Feilkilder

Som nevnt tidligere i oppgaven er det benyttet flere måleinstrumenter som har en usikkerhet, og det blir ikke gått nærmere inn på dette her. I tillegg til usikkerheten til ADV-måleren ble det observert at de målte vannhastighetene ble nær null hvis ADV-måleren stod for nært rista. Dette er også en feilkilde og kan trolig komme av at det dannes bakevjer nedstrøms rista.

Alle verdiene til målepunktene som hadde "signal to noise reducion" under 70 prosent ble klippet bort. Det ble til tider klippet bort opp til 50 prosent av de målte verdiene. Grunnen til

at "signal to noise reducion" var lav i enkelte målinger kan komme av at det var lite partikler i vannet måleapparatet var plassert i. Det er ikke en direkte feilkilde, men siden det ble klippet bort en del verdier kan kvaliteten på gjennomsnittet være dårligere. Det ble imidlertid gjort forsøk på å kompensere for dette med å tilføre små partikler i vannet.

Resultatene er basert på gjennomsnittsmålinger. Dette kan være en feilkilde hvis strømmingen ikke er lik over tid. Det ble for eksempel observert at strømmingen i nederste nivå vekslet mellom å gå opp gjennom rista og ned i spyleluka i korte intervaller. Dette gir negative og positive verdier i samme måleserie og blir ikke tatt hensyn til når det bare er snittverdien som blir benyttet. Vannhastigheten i dette området var lav, ca 3,0 cm/s, og med målinger på to minutter blir gjennomsnittshastigheten riktig. En får likevel ikke med at vannføringen her veksler med å gå ned i spyleløret, og opp gjennom rista.

Menneskelige faktorer kan også være en feilkilde i forsøkene. Modellen har blitt betjent av to personer, de kan ha forskjellige måleprosedyrer.

Skaleringseffekten kan også gi feilkilder. En må bestemme seg for hvilke parametere det er viktigst å ha like i fullskala og modell og skalere ut fra det. I denne modellen er det benyttet Froude-skalering.



## 6. Konklusjon

Det foreliggende arbeidet er på den nyutviklede inntakskonstruksjonen for småkraftverk, H-rista, og de hydrauliske forholdene knyttet til nedvandring av fisk. Det er gjort mange forsøk og målinger på modellen med en horisontal varegrind, en skråvaregrind med vinkling på 28° og en skråvaregrind med vinkling på 39°. Ut fra forsøk og observasjoner ser det ut til at skråristene mest sannsynlig vil være den beste utformingen for nedvandring av fisk. Årsaken er at skråristene har vesentlig mindre falltap enn H-rista, at H-rista er plassert for langt fra spylørret (fluktruta) og at en større del av H-rista har en vannhastighetsfordeling normalt på rista som er høyere enn grensehastigheten på 0,5 m/s. Det er vanskelig å foreslå en bestemt vinkling av varegrinda, siden resultatene var ganske like for begge ristene.

Det bør bygges en fullskalamodell for videre testing med fisk. En kan da si hvorvidt inntakskonseptet fungerer for smolt og/eller ål. Modellen passer trolig best for ål, ettersom smolt som regel svømmer nær overflaten og ål ofte svømmer hvor det er dypt og mørkt. Dette er imidlertid bare en antakelse og må som sagt testes ut i full skala. Viser det seg at modellen ikke vil fungere for smolt, kan en lage en alternativ nedvandningsrute ved overløpet til inntaket, hvor smolten svømmer over overløpet. Testingen kan også gi svar på hvilken vinkling av varegrinda som fungerer best, og om fisk tar skade av å bli tilbakespylt.

### **Etterord og anbefalinger for videre arbeid:**

For å få et bedre strømningsbilde under varegrindene hadde det vært en fordel om en hadde målt enda flere punkter rett under ristene. For skråristene ville det si å gjøre målinger et par centimeter under ristene i samme vinkel som ristene. Det kunne gitt et enda mer eksakt bilde av hvordan strømmingen under ristene var.

En enda større fordel hadde trolig vært å benyttet PIV, som tidligere nevnt. Hvis det hadde vært et alternativ, hadde det vært spennende å se på hvordan hastighetsbildet hadde blitt for de forskjellige ristene med forskjellige produksjonsvannføringer kombinert med forskjellige minstevannføringer.

Ved dette inntaket er det ønskelig å få fisken til å svømme gjennom spylørret sammen med minstevannføringen i vanlig drift. Hvis det er behov for å spyle ristene i samme periode som det er nedvandring av fisk, vil fisk som er i inntakskammeret under ristene, også bli spylt ut. Hvorvidt fisk benytter spylørret under vanlig drift eller kun i forbindelse med tilbakespyling må testes gjennom forsøk med fisk. Da vil en også finne ut om fisk skades eller dør ved spyling.

For å finne den beste helningen på rista bør en kjøre forsøk med et større spekter av vinklinger på ristene. Videre bør det bygges en fullskalamodell i en elv. I modellen i full skala bør en teste konseptet og de forskjellige ristene med levende fisk. Den beste metoden for å kunne si med sikkerhet om konseptet vil fungere for laks/smolt og/eller ål, er å gjøre forsøk i full skala med levende ål og laks/smolt. Hvis det viser seg at konseptet ikke fungerer for smolt, kan en lage en alternativ nedvandningsvei ved overløpet til inntaket, hvor smolt svømmer over overløpet. Dette har vist seg å fungere i tidligere studier.

For at fisk skal benytte seg av en alternativ nedvandningsrute, må nedvandningsruta ha mellom 2 og 10 prosent av totalvannføringen. Hvis 2–10 prosent av vannet fra hovedstrømmen er mer enn minstevannføringskravet i den aktuelle elva, kan et alternativ være å pumpe vannet tilbake til inntaket etter at fisken er silt ut. En får på denne måten sikret en god passasje for fisken, og ”tapt” produksjon blir minimert. Dette må baseres på økonomiske vurderinger, og det må medregnes at det uansett behøves et fall på 1–2 meter for å få skilt ut fisken.

Dette konseptet kan i teorien prefabrikeres, noe som kan gi en lavere kostnad. En kan bygge konseptet som en boks som en setter oppstrøms det eksisterende inntaket eller ved nye inntak hvor det er nedvandring av fisk, problemer med drivgods eller begge deler. Hvis det skal plasseres oppstrøms et eksisterende inntak, må det bores hull til spylørøret i en eventuell terskel, eller minstevannføringsrøret må benyttes dersom det finnes. Boksen kan eventuelt tas bort i tidsrom hvor det ikke er nedvandring av fisk.

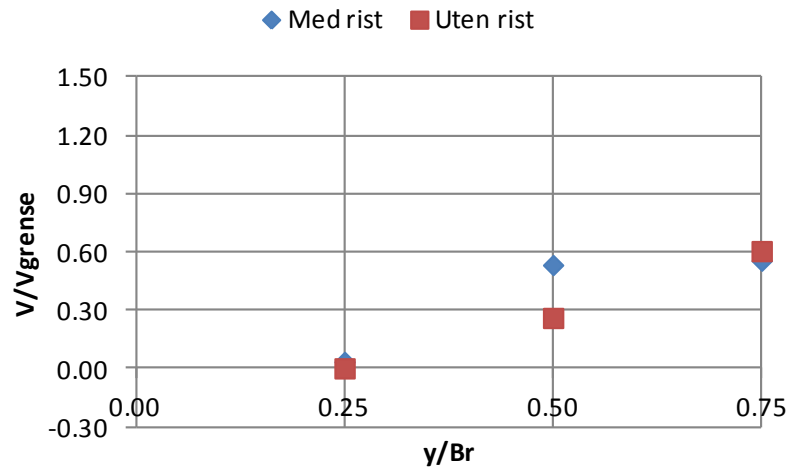
## 7. Referanseliste

- Adam, B., Bosse, R., Dumont, U., Hadderingh, R., Joergensen, L., Kalusa, B. & Lehmann, G. (2005). *Fish protection technologies and downstream fishways: dimensioning, design, effectiveness inspection*. [S.l.]: DWA German Association for Water. 226 s. : ill. s.
- Adrian, R. J. & Westerweel, J. (2010). *Particle image velocimetry*, b. 30: Cambridge University Press.
- Agilent U2300A Series USB Modular Multifunction Data Acquisition Devices*. (2013).
- Calles, E. O. & Greenberg, L. A. (2007). The use of two nature-like fishways by some fish species in the Swedish River Emån. *Ecology of Freshwater Fish*, 16 (2): 183-190.
- Clay, C. H. (1995). *Design of fishways and other fish facilities*: CRC Press.
- Crowe, C. T., Elger, D. F. & Roberson, J. A. (2000). Drag and Lift. I: *Engineering Fluid Mechanics 7th edition*, s. 493: John Wiley & Sons, Inc.
- Eicher, G. J. (1987). Turbine-Related Fish Mortality: Review and Evaluation of Studies. I: Institute, E. P. R. (red.). California.
- Europabevegelsen. (2010). *Fornybarhetsdirektivet*. I: Europabevegelsen (red.). Tilgjengelig fra: <http://www.europabevegelsen.no/Fakta-om-EU/Direktiver-fra-EU/Fornybarhetsdirektivet> (lest 23.05.14).
- Gosset, C., Travade & Larinier. (2005). Test of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. I: *River Research and Applications*, s. 1095-1105.
- Holmeset, F. (2013). Debris handling at small hydro power intakes. Trondheim: NTNU.
- Hughes, S. A. (1993). *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering*. Singapore: World Scientific. XV, 568 s. : ill. s.
- ICES. (2007). Report of the 2007 session of the joint EIFAC/ICES Working Group on Eels. Roma, Italia.
- Jenssen, L., Tesaker, E., Lund, S. & Huber, D. (2006). *Inntakshåndboken*. Oslo: NVEs hustrykkeri.
- Jokumsen, A., Larsen, V. J., Graver, C. & Lauritzen, M. (2014). Certificering af ål og andre mindre arter, 8774811843: DTU Aqua. Institut for Akvatiske Ressourcer.
- Kraabøl, M. (2013). Varegrinder foran turbininntak ved elvekraftverk; barriere eller inngangsport for fisk? *VANN*, 1: 45-53.
- Kroglund, F., Haraldstad, T. & Güttrup, J. (2013). Bruk av i løpet som utvandningsrute for laks ved Rygene kraftverk, Nidelva, 6592-2013: NIVA. 1-50 s.
- Kvingedal, E., Forseth, T., Kroglund, F. & Fjeldstad, H.-P. (2013). Reetablering av laks i Kragerøvassdraget - anbefalte tiltak for å sikre toveis vandringsmuligheter, 943: NINA. 1-36 s.
- Larinier, M. & Travade, F. (2002). DOWNSTREAM MIGRATION: PROBLEMS AND FACILITIES. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (364): 181-207.
- Larinier, M. (2008). "Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France." I: *Hydrobiologia*, s. 97-108.
- Microsonic - ultrasonic sensors*.
- Montén, E. (1985). *Fisk och turbiner: om fiskars möjligheter att oskadda passera genom kraftverksturbiner*. [Vällingby]: Vattenfall. 116 s. : ill. s.
- Niemelä, E., Hassinen, E., Haantie, J. & Lämsman, M. (2011). DEN ATLANTISKE LAKSEN (Salmo salar, L.) I TANAVASSDRAGET V.
- Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M. & Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308 (5720): 405-408.
- Nortek. (2013). *Vectrino*.
- Nøvik, H. (2013). *Inntakshydraulikk*. Trondheim.

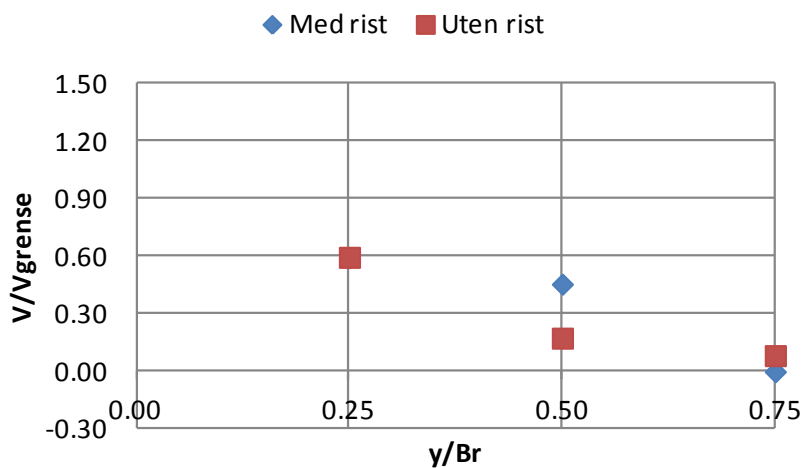
- Raynal, S., Chatellier, L., Courret, D., Larinier, M. & David, L. (2013a). An experimental study on fish-friendly trashracks–Part 2. Angled trashracks. *Journal of Hydraulic Research*, 51 (1): 67-75.
- Raynal, S., Courret, D., Chatellier, L., Larinier, M. & David, L. (2013b). An experimental study on fish-friendly trashracks – Part 1. Inclined trashracks. *Journal of Hydraulic Research*, 51 (1): 56-66.
- Russon, I. J. & Kemp, P. S. (2011). Advancing provision of multi-species fish passage: Behaviour of adult European eel (*Anguilla anguilla*) and brown trout (*Salmo trutta*) in response to accelerating flow. I: *Ecological Engineering*, s. 2018-2024. *SITRANS F M MAG 5000*. (2013).
- Skår, B. (2013). *Fossekallen. Det miljøvennlige inntaket*. . coandaeffekt., I. t. s. m. (red.). dhal.no.
- Thorstad, E. B., Larsen, B. M., Hesthagen, T., Næsje, T. F., Poole, R., Aarestrup, K., Pedersen, M. I., Hanssen, F., Østborg, G. & Økland, F. (2010). Ål og konsekvenser av vannkraftutbygging–en kunnskapsoppsummering, 8241007086: Norges vassdrags-og energidirektorat Oslo.
- Thorstad, E. B., Larsen, B. M., Finstad, B., Hesthagen, T., Hvidsten, N. A., Johnsen, B. O., Næsje, T. F. & Sandlund, O. T. (2011). Kunnskapsoppsummering om ål og forslag til overvåkingssystem i norske vassdrag. *NINA Rapport*, 661: 69.
- Thorstad, E. B., Kroglund, F., Saksgård, R. & Midtbø, R. (2014a). Status for ål i Siravassdraget. 1-58.
- Videler, J. J. (1993). *Fish swimming*, b. 10: Springer.
- Vøllestad, A. (2007). *smolt*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/smolt> (lest 23.03.14).
- Wahl, T. L. (2000). *Analyzing ADV data using WinADV*. Proc., Joint Conf. on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management: ASCE Reston, Va. 1-10 s.
- Wigestrånd, M. (2013). *Fysisk modellforsøk av ny inntakstype for småkraftverk*. Trondheim.

## Vedlegg 1 – Sammenligning av vannhastigheter i x-retning med og uten rist

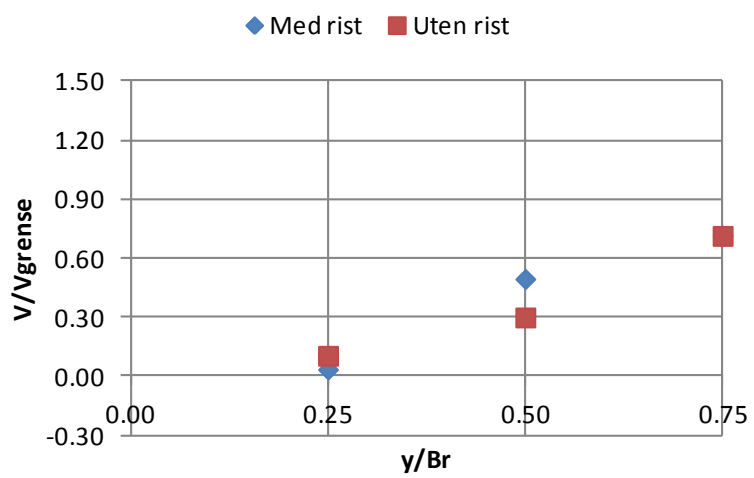
Sammenligning av vannhastigheten/grensehastigheten i x-retning med og uten rist ved  $x/H_r = 0,25$ .



Sammenligning av vannhastigheten/grensehastigheten i x-retning med og uten rist ved  $x/H_r = 0,50$ .



Sammenligning av vannhastigheten/grensehastigheten i x-retning med og uten rist ved  $x/Hr = 0,75$ .

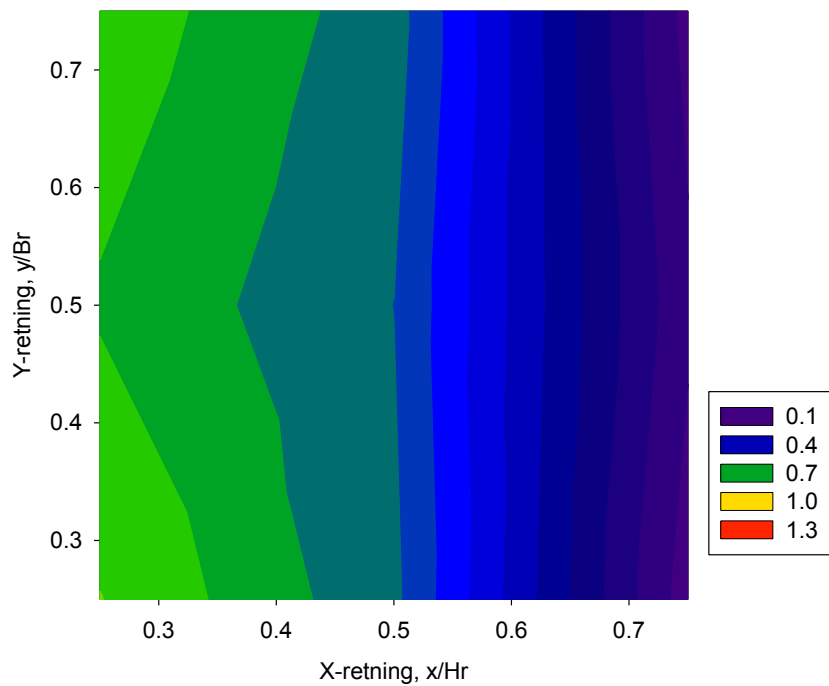


## Vedlegg 2 – Konturplott fra H-rista, normalt på rista og sveiphastigheter

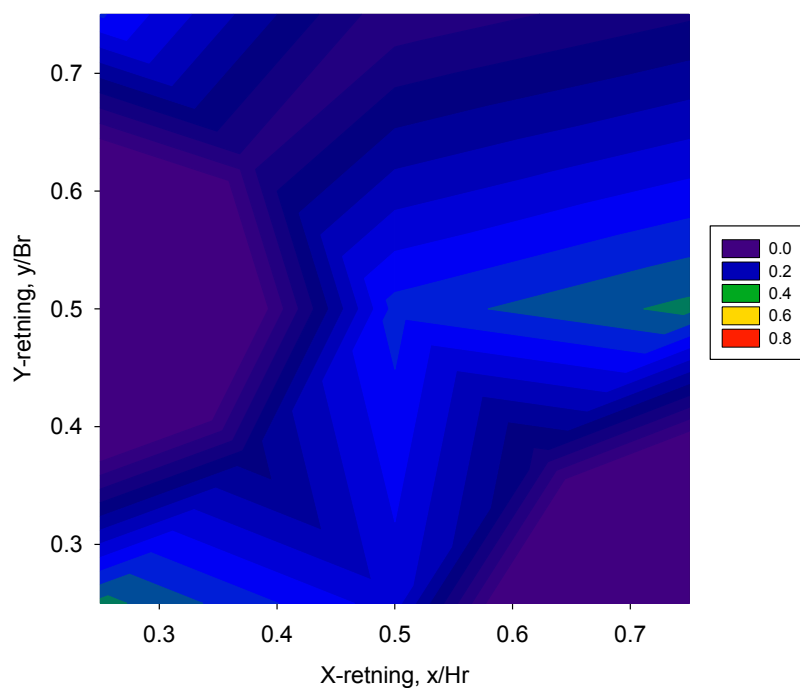
### Konturplott fra H-rista normalt på rista:

Konturplottene normalt på rista og sveiphastigheter for det øverste nivået ble presentert i ”Resultater og analyser”.

Midterste nivå:

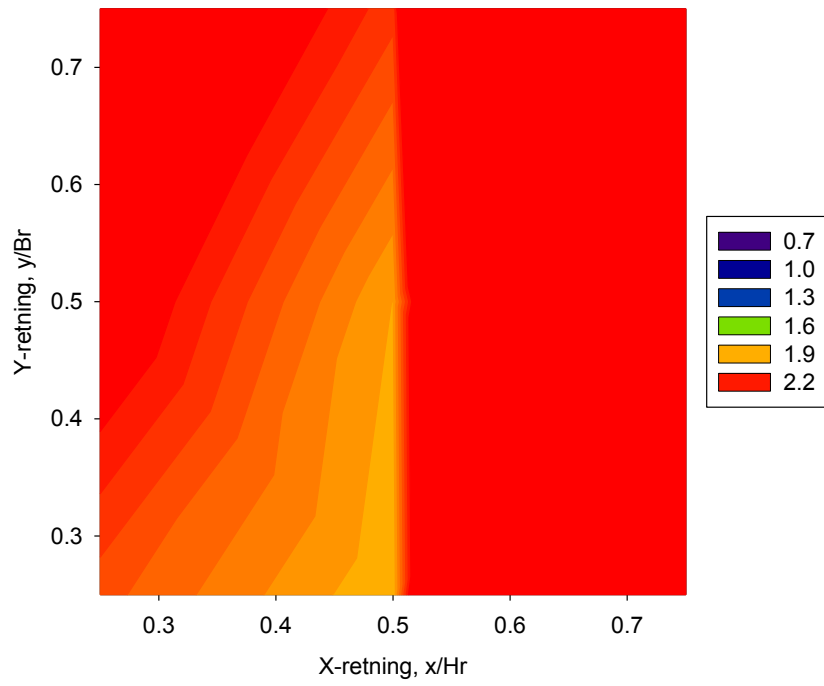


Nederste nivå, NB ny skala fra 0,0 til 0,8:

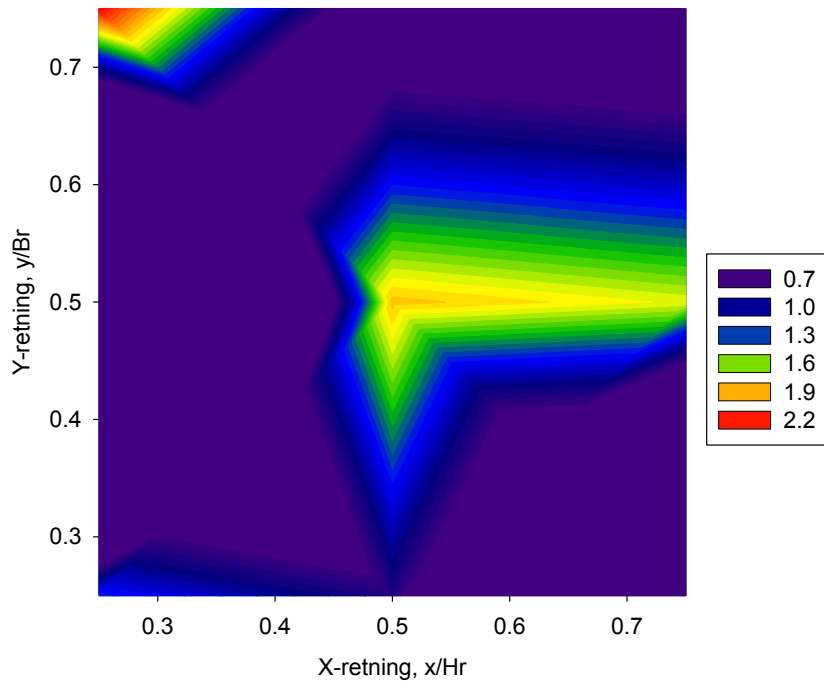


Konturplott fra H-rista, sveiphastigheter.

Midterste nivå:



Nederste nivå:

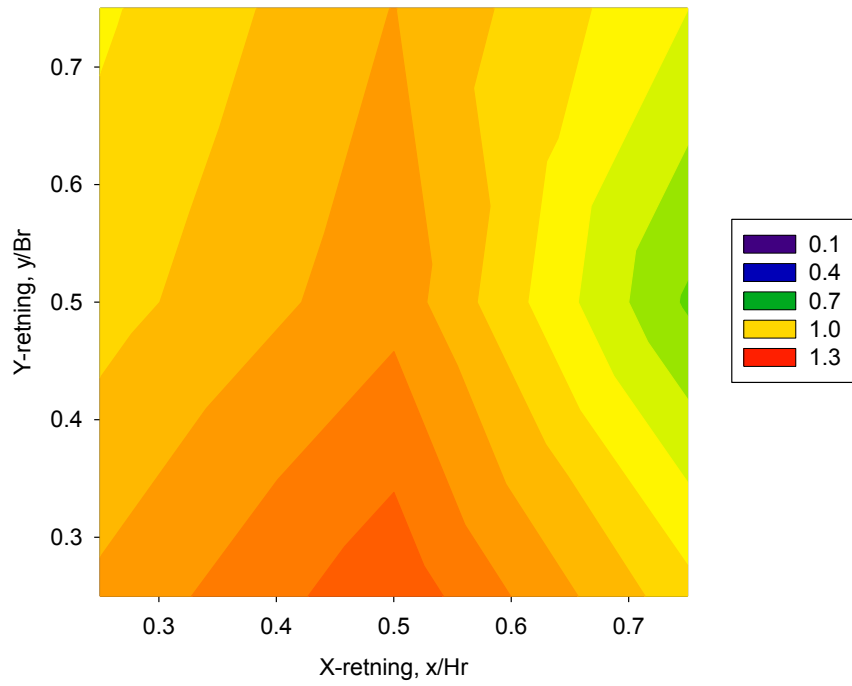




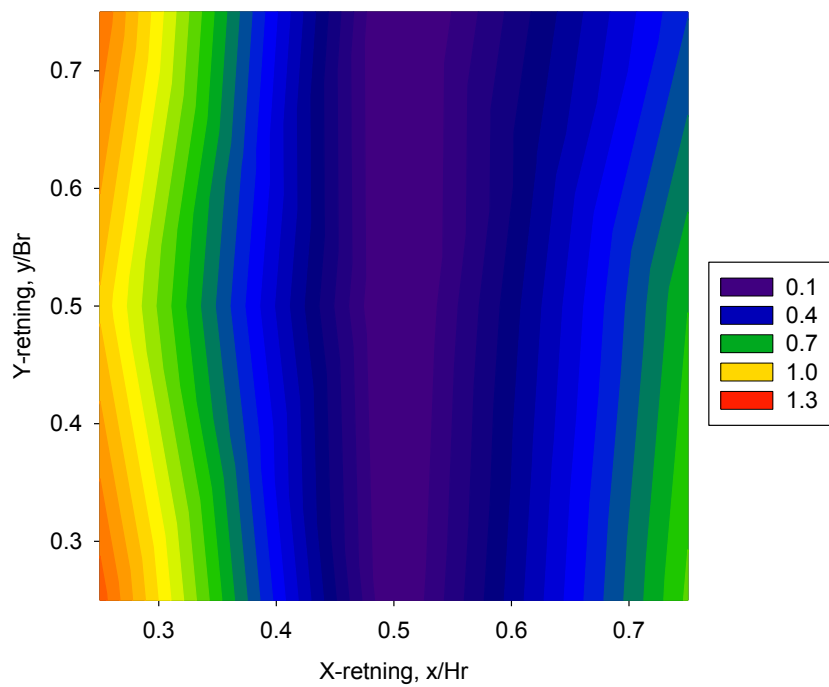
### Vedlegg 3 – Konturplott fra skrårista på 28°, normalt på rista og sveiphastigheter

Konturplott fra skrårista på 28° normalt på rista.

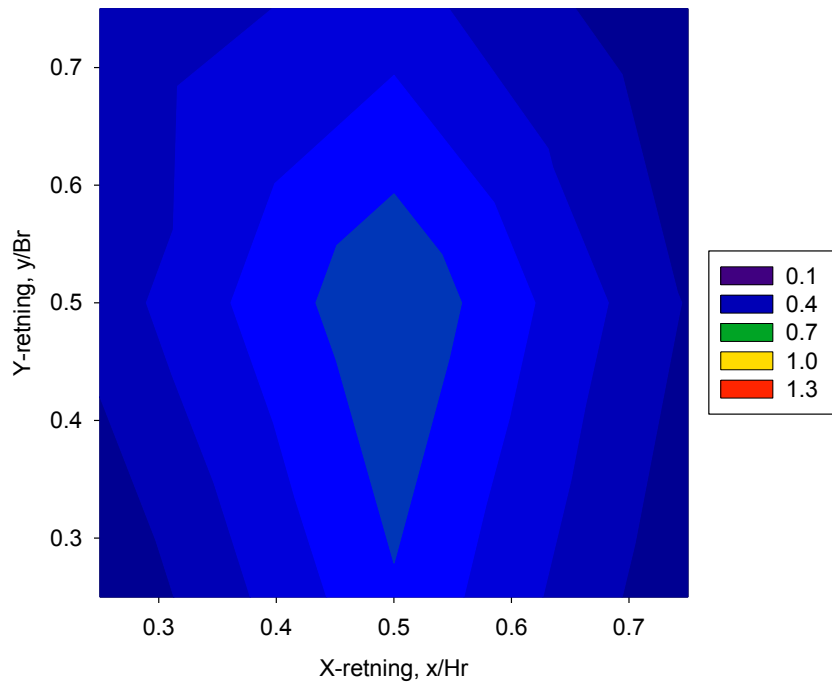
Øverste nivå:



Midterste nivå (NB: Punktene [x2, y1–y3] er målt like under rista, og verdiene er nær null):

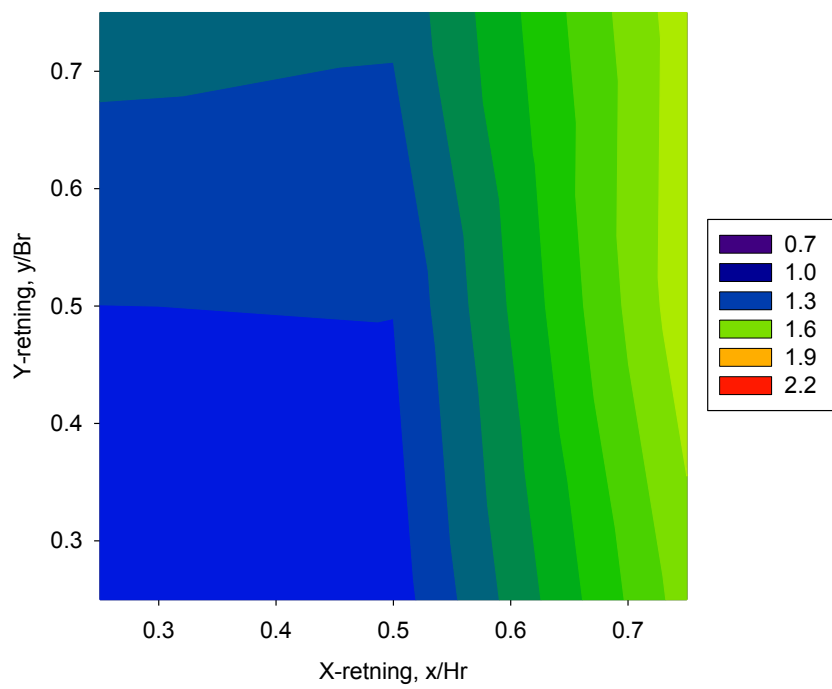


Nederste nivå:

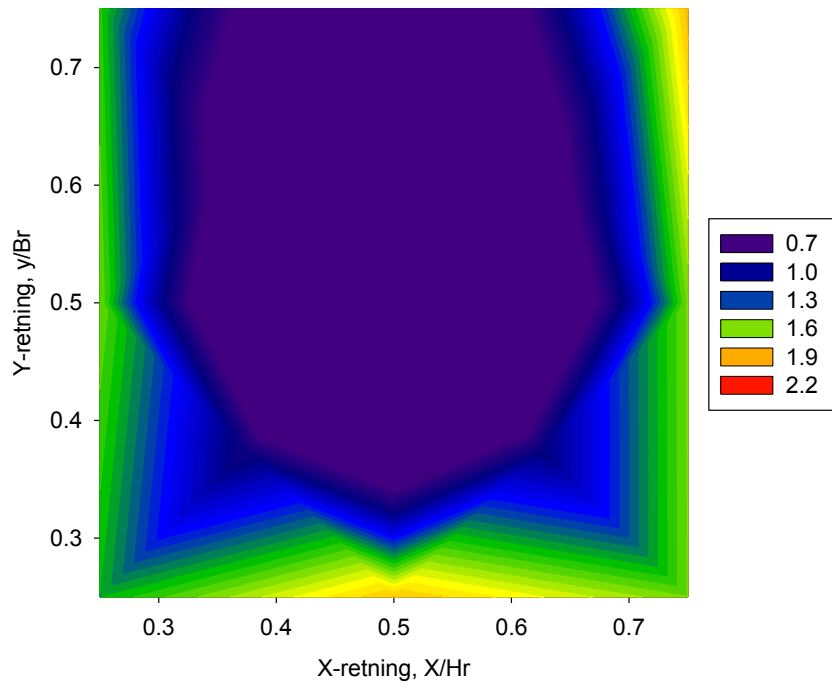


Konturplott fra skrårista på 28°, sveiphastighet.

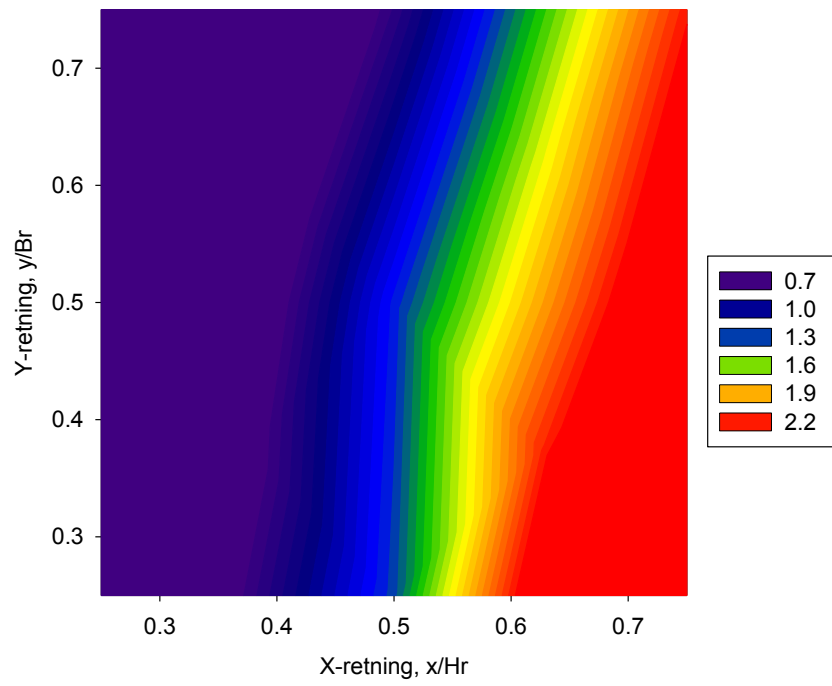
Øverste nivå:



Midterste nivå:



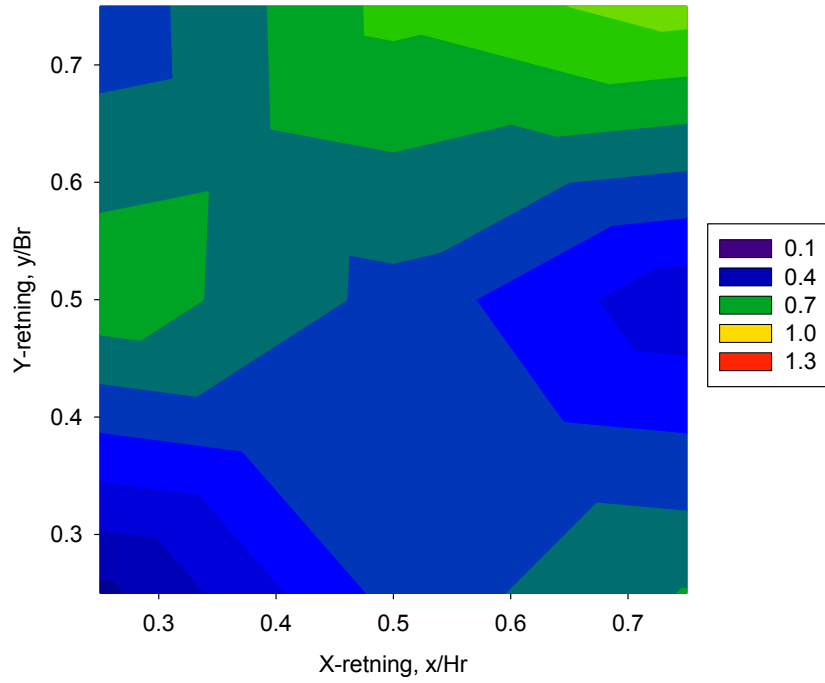
Nederste nivå:



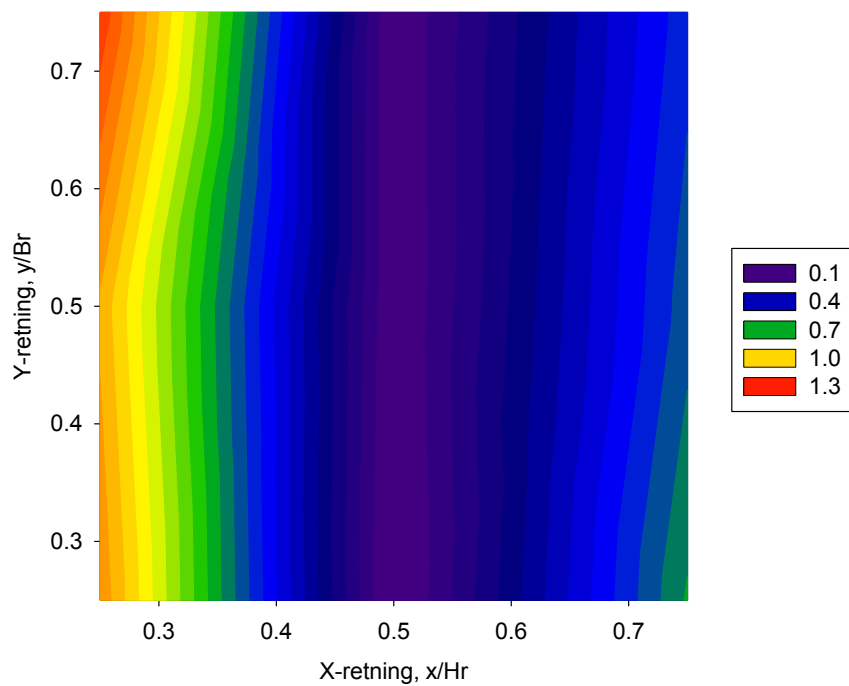
## Vedlegg 4 – Konturplott fra skrårista på 39°, normalt på rista og sveiphastigheter

Konturplott fra skrårista 39° normalt på rista.

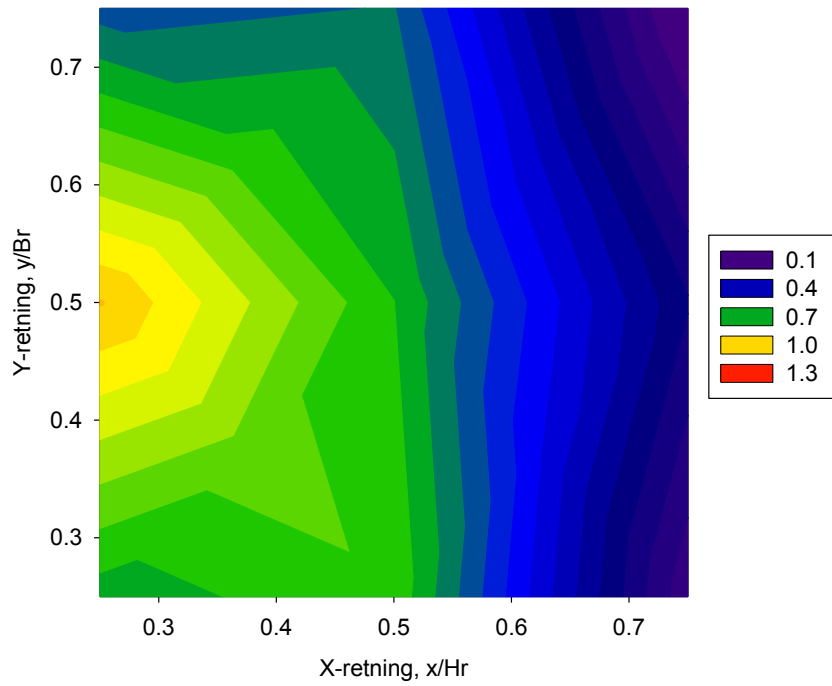
Øverste nivå:



Midterste nivå (NB: Punktene [x2, y1–y3] er målt like under rista, og verdiene er nær null):

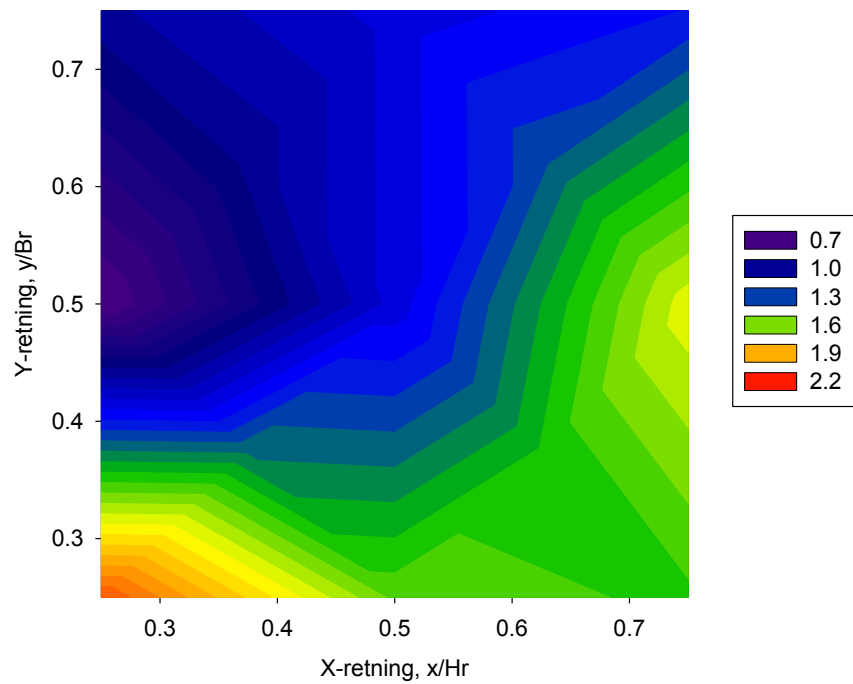


Nederste nivå (NB: Punktene [x3, y1–y3] er målt like under rista, og verdiene er nær null):

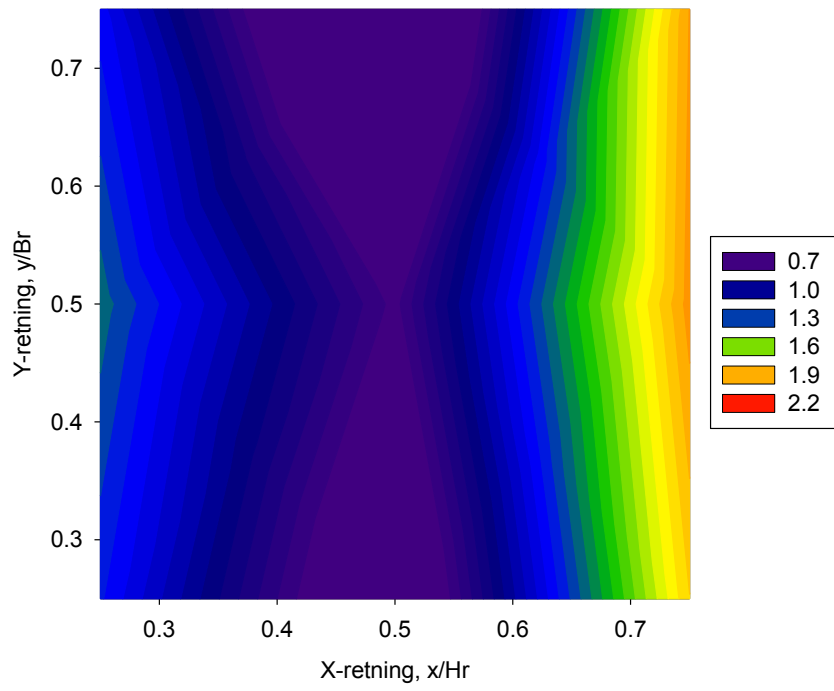


Konturplott fra skrårista på 39°, sveiphastighet.

Øverste nivå:



Midterste nivå:



Nederste nivå:

