

Doktordisputas

Joakim Carlsønn Sellevold disputerte til doktorgraden ved NTNU den 13. desember 2024. Avhandlingens tittel er «**Effects of geometric optimization and partial blockage on the hydraulic efficiency of pipe culvert inlets**».

Bedømmelseskomiteen ble ledet av professor Leif Lia ved NTNU. Professor Blake Tullis fra Utah State University var 1. opponent, og dr. Matthias Kramer fra University of Cranberra, Australia, var 2. opponent.



Thesis summary

This doctoral study focused on culvert hydraulics in the context of flood risk. Culverts are ubiquitous hydraulic structures used for conveyance of water through hindrances in the terrain. The objectives of this study have been to determine the effects of geometric inlet optimization and partial blockage on the hydraulic efficiency of pipe culvert inlets in order to extend existing design frameworks. This study has been conducted mainly in the context of road culvert usage in Norway and the Federal Highway Administration (FHWA) design framework used by the Norwegian Public Roads Administration (NPRA). The project has been funded by the NPRA E39 Project with support from the Research Council of Norway (Project No. 312001).

An initial literature review showed that significant experimental data was available for unblocked pipe culvert inlets, but that data for partially blocked inlets was limited. The data for unblocked inlets was analyzed and used to derive novel control surface methods for determination of pipe culvert inlet performance. It

was found that these methods showed good agreement with both experimental data and theoretical computations for inlets that yield well-defined flow separation. It was also found that geometric inlet optimization can be achieved for a wide range of pipe culvert inlets, through evaluation of the flow contraction caused by different sections of the inlet. The results include novel, compact and highly efficient inlet edge geometries for pipe culverts, derived using the control surface methods. Due to the limited data for partially blocked inlets, an extensive series of physical culvert model experiments was conducted, using different combinations of pipe culvert inlets and bottom-up blockage conditions. The results were compared to theoretically derived methods for determination of hydraulic blockage effects. The experimental results validate the general predictions of the theoretical methods but show that they underestimate the hydraulic efficiency of the unblocked part of the inlet with increasing blockage ratio, leading to somewhat conservative estimates.

The research findings of this project also include estimates of uncertainty for both hydraulic performance and corresponding inlet geometry, as well as evaluations of model and scale effects for a wide range of pipe culvert inlet geometries. The findings of this research project form the basis of more general design methods, and it was concluded that the overall goals of the project were achieved. However, the results also show that there are unanswered questions in the field of culvert hydraulics. Further work is required to determine hydraulic performance for cases of ill-defined flow separation and to more accurately determine experimental uncertainty and scale effects over the range of possible inlet efficiencies and prototype culvert sizes. Further work is also required to determine blockage effects for further culvert types and blockage conditions, and to determine probable in-situ blockage conditions. The papers published through this project are available under Open Access licenses, and the thesis is available through NTNU Open.

Sammendrag

Dette doktorgradsprosjektet har fokusert på kulverthydraulikk i forbindelse med flomrisiko. Kulverter er mye brukt for å lede vann gjennom hindre i terrenget. Hovedmålene i prosjektet har vært å beskrive effektene av innløpsgeometri og delvis gjentetting på den hydrauliske ytelsen til sirkulære rørkulvertinnløp. Prosjektet har fokusert på bruk av stikkrenner og kulverter i den norske veisektoren, og dimensjoneringsrammeverket til Federal Highway Administration (FHWA) som benyttes i Statens vegvesen. Prosjektet har vært finansiert av Ferjefri E39 (Statens vegvesen) med støtte fra Norges Forskningsråd (prosjektnr. 312001).

Det innledende litteraturstudiet viste at det fantes mye eksperimentelle data for kulvertinnløp uten gjentetting, men lite for delvis tette innløp. Dataene for innløp uten gjentetting ble analysert og brukt til å utlede kontrollflatemetoder for beregning av hydraulisk innløpsytelse. Sammenligning av disse metodene med både eksperimentelle data og teoretiske beregninger

viste at metodene presist beskriver hydraulisk innløpsytelse for innløp som gir veldefinert strømningsseparasjon. Resultatene viste også at metodene kan brukes til å forbedre eller optimalisere et bredt spenn av forskjellige innløps typer. Resultatene omfatter nye, kompakte innløpsgeometrier som gir høy hydraulisk ytelse under både innløpskontroll og utløpskontroll. Ettersom lite data var tilgjengelig for delvis tette kulvertinnløp ble det gjennomført en omfattende serie med fysiske modellforsøk med forskjellige kombinasjoner av innløpsutforminger og gjentettingsforhold. De eksperimentelle resultatene ble sammenlignet med teoretiske metoder for beregning av kapasitetsreduksjon ved delvis gjentetting. Sammenligningen viste at metodene beskriver den generelle trenden i kapasitetsreduksjon, men at de undervurderer den hydrauliske ytelsen til den åpne delen av innløpet, og dermed gir noe konservative estimater.

Forskningsresultatene fra dette prosjektet omfatter også usikkerhetsestimater både for hydraulisk ytelse og tilhørende innløpsgeometri, i tillegg til vurderinger av modell- og skalaeffekter for et bredt spenn av rørkulvertinnløp. Resultatene danner et grunnlag for mer generelle metoder for dimensjonering rørkulverter, og det ble konkludert med at hovedmålene i prosjektet ble oppnådd. Samtidig viser resultatene at det fortsatt er ubesvarte spørsmål knyttet til kulverters hydrauliske ytelse. Videre arbeid kreves for å utvide kontrollflatemetodene til innløp som gir dårlig definert strømningsseparasjon, og for å beskrive usikkerhet og skalaeffekter for hydrauliske kulvertmodeller mer presist. Videre arbeid kreves også for å beskrive gjentettingseffekter for flere kombinasjoner av innløpsutforming og gjentettingsforhold, samt å kartlegge in-situ gjentettingsforhold. Alle artiklene som ble publisert gjennom dette prosjektet er åpent tilgjengelig, og avhandlingen er tilgjengelig gjennom NTNU Open.

<https://www.ntnu.no/kalender/detaljer/-/event/b8445cdc-6b7f-3d75-9811-2dfdbf7fd657>