



AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ  
Avdelningen för bygg-, energi- och miljöteknik

---

# Energiförluster i vattenkraftstunnlar och älvsträckor

Hur påverkas Manningtalet när skrovlighetens geometri är stor i  
förhållande till tvärsnittens geometri?

Hampus Myhr

2018

Examensarbete, Grundnivå (kandidatexamen), 15hp  
Energisystem  
Energisystemingenjör, Co-op

Handledare: Mathias Cehlin  
Examinator: Taghi Karimipannah

---



## Sammanfattning

När vatten flödar längs ett vattendrag, är botten vilken vattnet är i kontakt med, definierat av ett Manningtal som beskriver råheten (skrovligheten) på ytan. Ju råare yta, desto lägre Manningtal och större strömningsförluster på grund av friktion. Syftet med examensarbetet är att studera hur Manningtalet skiljer sig då olika flöden och djup erhålls. Mannings formel är beroende av att sätta ett konstant Manningtal. Erfarenheten i branschen säger att Manningtalet skiftar vid olika förutsättningar för vattnet. Exempelvis får batymetrier med liknande råhetsmoment olika Manningtal vid olika flödesförhållande, och arbetet ska behandla dessa frågor.

På Vattenfall Research & Development i Älvkarleby har man framtagit en kanal för fluidmekaniska experiment, och den lämpar sig perfekt för experimenten i detta examensarbete. Kanalen har en matematisk framtagen råhet som har syftet att efterlikna en verklig miljö. Råheten påminner om en sprängd bergstunnel. Mätningarna gjordes i denna kanal vid totalt 14 sektioner, vid ett antal olika flöden och djup. Djupet reglerades med en lucka i nedströmsdelen av kanalen, och flödet reglerades med pumparna. Beroende på vilken luckinställning som användes, gjordes mätningar med flöden mellan 1,6 l/s till 280 l/s. De inställningar på luckan som användes var 100 %, 85 %, 75 %, 60 % samt 30 % öppen lucka. De mest tydliga resultaten uppstod för 100 % öppen lucka, på grund av att nivåskillnaderna var stora, och felmarginalen hos instrumenten inte hade sådan stor betydelse. 30 % öppen lucka genererade så pass hög vattennivå, att resultaten blev för infekterade av mätfel, så de uteslöts från rapporten. Dessa olika flödesinställningar gjordes för att få en stor mängd variation och noggrannhet i syfte att få ett så bra resultat som möjligt.

Mätningarna visar sig att för samtliga luckinställningar fås lägre Manningtal vid lägre nivåer och flöden. Plottas resultaten av samtliga luckinställningar, främst för 100 % öppen lucka i en graf med Manningtalet som en funktion av flöde, följer resultaten ett tydligt mönster med en trendlinje där Manningtalet minskar vid lägre flöden. Samma sak gäller vid djup. Vid lägre djup desto mindre Manningtal. Detta troligen på grund av att råhetsmomenten står för en större andel av den totala tvärsnittsarean, så att större andel av tvärsnittsarean påverkas av fenomen som uppstår av råhetsmomenten.

Nyckelord: Manningtal, Strömningsförluster, Energiförluster, Vattenfall



## Abstract

When water travels along a channel is the bottom which the water is in direct contact with, defined by a coefficient named Manning's coefficient of friction. This coefficient explains the roughness of the channel bed. A rough surface equals a low Manning's coefficient. The purpose of this thesis is to study how Manning's coefficient differs when different waterflows and depths is obtained. The Manning equation is dependent on using a constant Manning's coefficient based on experience and tables. The experience in the line of business knows that the coefficient holds a different value in channels with similar bathymetry and different flow conditions, and the thesis will cover these questions.

At Vattenfall Research & Development in Älvkarleby, a flume made for fluid mechanic experiments has been built, which is perfectly suitable for the experiments for this thesis. The flume has a roughness that has been programmed mathematically with a purpose of looking like a real channel bed or a blasted rock-tunnel. This is where all the measurements were made.

The measurements were made in totally 14 cross-sections with a few different flows and depths. The depth was controlled by a hatchway downstream the flume and the flow were controlled by the pumps. Depending on which setting the hatchway obtained measurements between 1.6 l/s to 280 l/s were made. The different settings that were used for the hatch was 100 %, 85 %, 75 %, 60 % and 30 % open hatch. The most obvious results appeared when the hatch was 100 % open, since the difference in depth between each cross-section was large and the faults in the equipment weren't that important. 30 % open hatch generated such calm flow and a deep depth, so the errors were too big to include in the report. These different flow conditions were used to gain a big variation and accuracy, with the purpose of getting as good result as possible.

The measurements show that for every hatch-setting, the Manning coefficient gets lower when a lower depth and flow are held. If the results are plotted from all the hatch-settings, especially 100 % open in a graph with the Manning coefficient as a function of the flow, the results follow an obvious shape with a trend where the Manning coefficient reduces with lower flows. The same thing with the depth. Shallower depth equals lower Manning coefficient. This is because of the roughness elements that has a bigger part of the entire cross-sectional area, so that a bigger part of the cross-sectional area is affected by phenomenon caused by the roughness elements.

Key words: Manning's coefficient, streaming losses, energy losses, Vattenfall



## **Förord**

Jag vill rikta ett stort tack till Vattenfall R&D och mer specifikt Patrik Andreasson för hans hjälp och råd vid experimenten. Hans expertis och vägledning i både experimenten och skrivandet har varit ytterst värdefull.

En annan person som jag vill tacka är Mathias Cehlin som var min handledare under projektets gång. Det har varit väldigt angenämt att ha någon som besitter en sådan stor kunskap inom ämnet som handledare.

Slutligen vill jag ägna ett stort tack till min familj och min flickvän för allt stöd hemifrån. Tack till er.

Gävle, 2018-06-11

Hampus Myhr





## Beteckningar

Symbol	Beskrivning	Enhet
Q	Flöde	[m <sup>3</sup> /s]
M	Manningtal	[m <sup>1/3</sup> /s]
A	Tvårsnittsarea	[m <sup>2</sup> ]
P	Våta perimetern	[m]
$\rho$	Densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
k	Turbulent kinetisk energi	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
Y	Djup i sektion	[m]
b	Kanalens bredd	[m]
L	Avstånd mellan sektioner	[m]
S	Energilinjens lutning	[m/m]
H <sub>f</sub>	Fallförlust p.g.a. friktion	[m]
E	Specifik energi	[m]
U <sub>h</sub>	hastighetshöjd	[m]
R	Hydraulisk radie	[m]
Z	Referenshöjd	[m]



# Innehållsförteckning

1.	Introduktion.....	1
1.1	Inledning.....	1
1.2	Bakgrund .....	2
1.3	Syfte .....	3
1.4	Litteraturstudie .....	3
1.5	Om Vattenfall R&D i Älvkarleby .....	5
1.6	Begränsningar .....	6
2.	Teori och metod.....	7
2.1	Beräkningar .....	7
2.1.1	Mannings formel.....	7
2.1.2	Turbulent kinetisk energi.....	7
2.1.3	Tvärsnittsarea.....	8
2.1.4	Våta perimetern .....	8
2.1.5	Hydraulisk radie .....	8
2.1.6	Hastighetshöjd .....	8
2.1.7	Specifik energi.....	8
2.1.8	Energilinjens lutning.....	9
2.1.9	Energiekvationen.....	9
2.2	Rännans utseende och funktion .....	9
2.2.1	Nivåreglerande luckan .....	11
2.2.2	Lugnaren.....	12
2.2.3	Kanalens batymetri .....	13
2.2.4	Flödesmunstycket .....	13
2.3	Process .....	14
2.3.1	Beräkningar mellan sektioner .....	14
2.3.2	Avläsning av tryckmätare .....	16
2.3.3	Kalibrering av tryckrör .....	17
3.	Resultat .....	19
3.1	Strömningsprofil .....	19
3.2	100 % öppen lucka.....	20
3.3	Samtliga luckinställningar .....	22
4.	Diskussion .....	23
5.	Slutsatser.....	25
5.1	Perspektiv .....	25
5.2	Utveckling.....	25
	Referenser .....	27



# 1. Introduktion

## 1.1 Inledning

Enligt ”Energiläget” skriven av Energimyndigheten (2017) ökar energianvändningen i världen hela tiden. Fossila bränslen utgör drygt 81 procent av den tillförda energin med olja som största del, följt av kol och naturgas. På ett globalt perspektiv är fortfarande fossila bränslen billigast. Detta medför att den ekonomiska faktorn är av stor betydelse. För elproduktionen är där emot kol, torv samt oljeskiffer den dominerande källan, där vattenkraft och kärnkraft står för den största delen av de källor som inte är av fossilt slag. Furlan & Mortarino, (2018) skriver i deras rapport ”*Forecasting the impact of renewable energies in competition with non-renewable sources*” att utvecklingen av förnybara energikällor pågår för fullt, och att det ännu inte säkert vad energiproduktionen kommer bestå av i framtiden. Det finns en del teknik som behöver förbättras, och det är fortfarande relativt dyrt i jämförelse med fossila bränslen.

Energimyndigheten (2017) förklarar vidare att i Sveriges är där emot energiläget anorlunda. Majoriteten av elen som produceras kommer från fossilfria källor som vattenkraft, kärnkraft och vindkraft som står för 40, 40 respektive 11 % av den producerade elen. 9 % kommer från resterande källor som t.ex. kraftvärmeverk, solcell osv. Detta gör Sverige till ett av de miljövänligaste länderna när det kommer till elproduktion tillsammans med Norge med sin stora andel vattenkraft.

Enligt Svenska Kraftnät (2018) är vattenkraften och kärnkraften båda baser i det svenska elsystemet. Vattenkraften är även en mycket god reglerbar källa. Produktionen och konsumtionen måste vara i fas för att frekvensen och elsystemet ska hållas på en bra nivå och fungera. Därför är vattenkraften mycket viktig vid installationer av andra förnybara energikällor som t.ex. vindkraft som inte är reglerbar, utan endast producerar el när det blåser.

När vatten rinner längs en sträcka är bottenytan, vilket vattnet är i kontakt med definierat av ett Manningtal som beskriver råheten på bottenytan. Ju råare yta, desto lägre Manningtal och större strömningsförluster på grund av friktion. Detta medför i ett verklighetsperspektiv att större fallförluster förekommer, och att fallhöjden vid ett eventuellt kommande kraftverket efter en sträcka blir lägre vid mindre Manningtal, och detta innebär att elproduktionen blir lägre.

Ett annat scenario där problemet är tillämpbart är bergstunnlar avsedda för vattenkraft. Vattenkraftstunnlar som sprängts är i dag relativt smala, p.g.a. att det kostar mycket mer att spränga bort större mängder och göra dem rymligare. Detta innebär att mindre andel av vattnet rinner obehindrat av råhetselementen, d.v.s. vattnet rinner trögt i tunneln och orsakar förluster i form av energi.

I Mannings formel måste Manningtalet vara konstant för att ekvationen ska gå ihop. Erfarenheten av strömningsberäkningar säger där emot att detta inte stämmer. Det är känt att Manningtalet varierar och att det är mycket svårt att bestämma ett bra värde, så för enkelhetens skull sätts ett slags medelvärde på talet som utgår från erfarenhet och tabeller. Man har sett att vid olika miljöer där råheten är snarlika varandra erhålls olika Manningtal. En artikel som lyfter problematiken av Mannings ekvation är ”*An improved two-point velocity method for estimating the roughness coefficient of natural channels*” skriven av Jiang & Li, (2010). Där beskriver författarna att det stora problemet vid användningen av Mannings ekvation är att definiera Mannings tal just för att det inte finns en exakt metod att mäta den. I dagens läge används tabeller och grafiska bilder som exempel för att hitta ett tillräckligt tillfredsställande Manning tal. Det är emellertid osäkert att använda dessa bilder, då verkligheten alltid ser annorlunda ut. Även om det specifika fallet är någorlunda liknande bilden, blir resultatet tvivelaktigt.

På Vattenfall Research & Development har man framtagit en kanal för fluidmekaniska experiment. Kanalen har en matematisk framtagen råhet som har syftet att efterlikna en verklig miljö. Mätningarna gjordes i denna kanal vid totalt 14 sektioner, vid ett antal olika strömningsförutsättningar för att få en stor mängd variation och noggrannhet i syfte att få ett så bra resultat som möjligt.

Vid mätningarna användes tryckrör som var kopplade till en digital display som presenterade medeldjupet i sektionen. Mätnoggrannheten på dessa var  $\pm 0.1$  mm, vilket betyder att vid höga nivåer med låga flöden gav opålitliga resultat då ytan var nästan horisontell. Därför är arbetet begränsat till de flödesförutsättningar som anses vara av relevans.

## **1.2 Bakgrund**

Den s.k. fraktalrännan som använts i försöken är byggd som en del av ett forskningsprojekt vid Luleå Tekniska Universitet, avdelningen för strömningslära och experimentell mekanik. Huvudsyftet med forskningen vid LTU syftar till att bättre beskriva de krafter och laster som verkar på en sprängd bergtunnel av vattenföringen i tunneln. Tillämpningen är främst vattenkraft, då det relativt ofta uppstår problem med att lokala ras uppstår i vattenkraftstunnlar efter flera års drifttid. Flera kubikmeter bergmassor kan då kollapsa och delvis blockera tunneln vilket ibland innebär problem i driften och fallförluster. Att åtgärda dessa problem genom rensning av dessa massor är mycket komplicerat. Försöken i examensarbetet har fokuserat på Mannings tal som är råhetsparametern vilken oftast används för att beskriva strömningen i tunneln. När kvoten mellan råhetens (skrovlighetens) fysiska dimensioner och tunnelgeometrins dimensioner närmar sig varandra upphör råhetsparametern vara konstant. Detta har utforskats i examensarbetet och avses publiceras vetenskapligt internationellt med Hampus Myhr som medförfattare.

Som stöd även till LTU:s forskning har detaljerade mätningar av hastighet och turbulens gjorts i rännan. Med en s.k. Akustisk Doppler Velocimeter (ADV) har strömningsskildern i rännan kartlagts i ett flertal transekter. Mätningarna har genererat ett stort underlag av hastigheter i tre dimensioner. I arbetet har också dessa mätningar utvärderats vad gäller medelhastighet och turbulent kinetisk energi. LTU tar därefter vid och genomför analys i ett frekvensspektrum hur den turbulenta kinetiska energin fördelar sig för olika vågtal (virvelstorlekar ungefär) samt en analys av frekvenstoppar som kan härröras till svängningar i medelströmmen (cirkulationszoner/vakar) som kan kopplas till skadliga tryckpulsationer på bergväggar. Utöver detta stycke har dock dessa mätningar utgått ur examensarbetet då de kräver mer avancerad analys och endast i begränsad utsträckning stöttar examensarbetets fokus på Manningtalet vid låga djup.

### 1.3 Syfte

Vattenkraften är mycket beroende av att erhålla en hög fallhöjd för att producera maximalt med elektricitet. Fallförluster är där emot ofrånkomligt i verkliga fall och är beroende av hur batymetrin ser ut. Batymetrin definieras som terrängens fysiska form under vatten. För att räkna på intressanta fenomen som exempelvis fallförluster, används idag oftast Mannings formel. Mannings formel är begränsad i den grad att det sätts utifrån batymetrins utseende, utan hänsyn till flöde och djup. Syftet med detta examensarbete är att se och förstå hur Manningtalet varierar i en kanal med en specifik batymetri då djupet och flödet regleras, för att i framtida forskning kunna hitta ett samband som kan underlätta och göra Manningsberäkningar och fallförlustberäkningar lättare och mer noggranna.

Hypotesen för arbetet är att Manningtalet kommer att sjunka betydligt då nivåerna regleras till låga djup, och höjas till en viss gräns för stora djup. Motiveringen till detta är att vid låga djup är råhetslementen eller skrovligheten en betydande del i den totala tvärsnittsarean, och större andel vatten i tvärsnittet berörs av fenomen som uppstår av råhetslementen.

### 1.4 Litteraturstudie

Det är av stort intresse att skapa sig en förståelse av hur kunskapen tillämpas i dagens läge. På forskningsnivå används i vissa fall kunskapen om skiftande Manning tal. En litteraturstudie är ett bra verktyg för att få förståelsen av kunskapen inom området innan arbetet påbörjas. Exempel på arbeten där kunskapen tillämpas, samt sätt att definiera Manning talet är områden som tas upp i litteraturstudien.

Fraga, Cea, & Puertas (2013) skriver i sin artikel ”*Experimental study of the water depth and rainfall intensity effects on the bed roughness coefficient used in distributed urban drainage models*” att ett skiftande Manningtal beroende på vattendjupet och mängden regn

användes i experimenten. Intressanta aspekter för detta arbete är hur författarna presenterar Manningtalet om funktion av djupet, där tester gjorts i två separata fall. Ett med artificiellt gräs, och ett med betong som botten. För fallet med artificiellt gräs påverkas Manningtalet markant vid lägre djup, och för fallet med betong hölls Manningtalet relativt konstant. En liknelse finns med detta examensarbete. Hypotesen är att vid lägre flöden och djup fås ett lägre Manningtal på grund av att mindre andel vatten flödar helt utan påverkan av råheten på botten, och de artificiella gräsen som nämns i rapporten har en större inverkan på flödet än vanlig slät betong. Det finns många intressanta exempel på arbeten som behandlat vegetation. GU, NI, & QI, (2007) skriver i artikeln ”*Roughness coefficient for unsubmerged and submerged reed*” hur de experimenterar kring Manningtalet i en fysisk ränna med ”plast-vass” med egenskaper som liknar riktig vass. Experimenten utfördes med vass i olika dimensioner och med höjd och sänkt vattenyta. I det exemplet finns en del likheter med detta examensarbete, bland annat metoden som användes för experimenten.

Vatankhah, (2015) beskriver i sin rapport ”*Analytical solution of gradually varied flow equation in circular channels using a variable Manning coefficient*” att Manningtalet varierar med djupet, så författaren belyser att det är viktigt att använda sig av ett varierande Manningtal för att erhålla ett bra resultat, i detta fall strömningsprofil. Frågeställningen i Vatankhahs artikel handlar om att lösa ekvationen för gradvis varierande flöde i öppna cirkulära kanaler. Inte helt applicerbart för denna studie, men artikeln är ett exempel på att kunskapen om varierande Manningtal används i vissa fall.

Vatankhah, Ghafari, & Mahdavi Mazdeh, (2015) skriver i rapporten ”*New and improved Hydraulic radius for channels of the second kind*” att Manning’s ekvation är den ekvation som mestadels används för beräkningar av flöden och energiförluster i älvsträckor på grund av sin enkelhet och relativt tillfredsställande resultat. Däremot påpekar författarna att genom att använda konstant Manningtal erhålls inte tillräckligt pålitlig data vid lägre nivåer i noggranna fall. I den ovan nämnda rapporten förklarar författarna även att en ny och förbättrad definition av den hydrauliska radien för halvfulla tunnel-system har tagits fram. Den nya definitionen är så pass effektiv och bidrar med kraftfulla verktyg för att beskriva tunnelns uttömning av flöde via Mannings ekvation men konstant Manningtal. Även detta är relevant, då en begränsning i denna rapport är att den hydrauliska radien kan variera en del för varje sektion, men i detta examensarbete görs en förenkling där bredden av kanalen alltid är lika.

Artikeln ”*New formulations for the effective relative roughness height of open channel flows with submerged vegetation*” författad av Li, Shi, Xiong, Huai, & Cheng, (2015) handlar dels om att de tagit fram ett begrepp de kallar ”auxiliary bed” d.v.s. hjälpbädd, samt producerat en dynamisk tvåskiktmodell bestående av ett basalskikt och ett upphängningsskikt som kan skala medelhastigheten, flöden och Manningtalet i vegetationstäta sträckor. En intressant del av rapporten var hur författarna presenterar ett antal



exempel på hur Manningtal skiftar vid olika studier, för att belysa hur det konstanta Manning talet som sätts utifrån hur ytan ser ut, är en relativt osäker metod och kan skifta markant. Det presenterades sex olika Manning tal baserat på data från sex olika skrifter där vattennivån var minst dubbelt så hög som vegetationen, för att det antas bli stabilare vid sådan hög nivå. Manning talet skiftade mellan 14,8 och 31,5 vilket är en ökning på mer än det dubbla.

Ännu ett exempel som är beroende av Manningberäkningar finns i den vetenskapliga artikeln ”*Roughness evaluation in shotcrete-lined water tunnels with invert concrete based on cases from Nepal*” skriven av Basnet & Panthi, (2018). Skribenterna lyfter problematiken att noggranna Manning tal för sprängda berg besprutade med sprutbetong är svåra att finna i dagens läge. Faktum är att tekniken är mycket vanlig i bergstunnlar avsedda för vattenkraft. Huvudsyftet med artikeln är att granska nuvarande metoder för att framställa Manningtal för tekniken med sprutbetong. Experimenten baseras på faktiska tvärsektioner av en bergstunnel i Nepal. Studeras bilderna i artikeln är geometrin i tunneln mycket lik den i detta examensarbete. Resultaten av artikeln blev sådana att tekniken var den mest kostnadseffektiva av alternativen för Himalaya-regionen

## **1.5 Om Vattenfall R&D i Älvkarleby**

I samband med Älvkarleby kraftverk, innan Dalälven mynnar ut i havet, ligger Vattenfall Research and Developments laboratorium. Laboratoriet är en av forskning och utvecklings-delarna inom koncernen Vattenfall AB. Laboratoriet i Älvkarleby är det enda forskningslaboratoriet i Sverige som sysslar med nerskalade modeller för energifrågor. Förutom att använda sig av fysiska modeller för forskningsexperiment som i detta examensarbete, görs även fysiska modeller för verkliga jobb beställt av kunder. Det görs modeller av bland annat vattenkraft-dammar, turbiner, kärnkraftskomponenter och modeller för fiskvandring. Det finns många fördelar med modeller. Ett exempel på det är kraftverksägare som har möjligheten att göra modelltester i laboratoriet innan de börjar en eventuell ombyggnation. På det sättet kan de vara mer bekväma i att deras lösning fungerar och att inga andra problem dyker upp i samband med det. Kostnaden för modellförsöken är i vissa fall då ombyggnationen är stora, betydligt mindre än om ombyggnationen i verkligheten skulle gå snett, så det kan ses som en ”billig” försäkring.

På Vattenfalls hemsida beskriver de själva sin forskning och utvecklingsdel. Förklaringen lyder:

”Vi bedriver forskning och utveckling (FoU) för att bidra till och förverkliga vår strategi på både kort och lång sikt. De senaste åren har vår FoU gått från en traditionell inriktning på elproduktion till mer kundorienterad FoU, med ökat fokus på

digitalisering, smarta elnät (smart grids), e-mobility och decentraliserade lösningar för kunderna.”

## **1.6 Begränsningar**

Mätningarna som gjordes var för fem olika luckinställningar för nivåregleringen. I rapporten kommer främst resultat av 100 % öppen lucka studeras. Resultaten från 85 %, 75 % och 60 % öppen lucka kommer studeras i en mindre mängd och 30 % öppen lucka kommer att ignoreras helt p.g.a. för stora mätfel. Hänvisning till Figur 4 visar den nivåreglerande luckan 30 % öppen. för bättre förståelse. Examensarbetet baseras helt på fysiska mätningar i rännan och litteraturstudier. Inga simuleringsprogram användes.

## 2. Teori och metod

### 2.1 Beräkningar

#### 2.1.1 Mannings formel

För att räkna ut flöden i kanaler, eller på energiförluster används ofta Mannings formel idag. I experimenten som gjordes erhöles en flödesmätare, vilket betyder att Manningtalet är det enda okända i ekvationen.

$$Q = MAR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

I arbetet används Mannings formel i en omkastad variant, för att undersöka hur Manningtalet varierar vid olika djup där  $Q$  är Flödet,  $M$  är Manningtalet,  $A$  är tvärsnittsarean,  $R$  är hydrauliska radien och  $S$  är energilinjens lutning. Flödet, hydrauliska radien, energilinjens lutning och tvärsnittsarean varierar allihop. Det enda som inte varierar då någon variabel ändras är Manningtalet på grund av att det bestäms utefter bottens utseende. Genom att sätta Manningtalet ensamt, kan försök i rännan utföras med en mängd olika flödesförutsättningar för att se hur Manningtalet varierar. För att räkna ut Manningtalet, måste man göra det längs en sträcka. Därför användes medelarea, medlet på den hydrauliska radien, samt lutningen mellan de två sektionerna för den aktuella Manninguträkningen

$$M = \frac{Q}{A_{n-m}R_{n-m}^{\frac{2}{3}}S_{n-m}^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

#### 2.1.2 Turbulent kinetisk energi

En vattenmängd som förs fram längs ett vattendrag består av bland annat virvlar och strömmar i olika riktningar. För att räkna på energin i dessa virvlar, finns ett begrepp som heter turbulent kinetisk energi. Enheten är  $m^2/s^2$ , men multiplicerar man det med densiteten för vatten fås den mer lättolkade enheten  $J/m^3$ . Processen fram, består av att subtrahera varje hastighetsvärde med medelvärdet, för att få en variation runt noll. Sedan kvadreras hastigheterna, och ett medelvärde tas även fram av dessa. Detta ger medelvärdena av varje hastighetskomponent kvadrerade. Även dessa mätningar gjordes. Det har dock beslutats att kunskapen är av begränsad relevans för examensarbetet och utesluts ur rapporten.

$$k = \frac{(\bar{v}'_x{}^2 + \bar{v}'_y{}^2 + \bar{v}'_z{}^2)}{2} \quad (3)$$

### 2.1.3 Tvärsnittsarea

För varje sektion erhålls olika medeldjup vilket medför att nya tvärsnittsareor måste räknas ut. Tvärsnittsareorna beräknades genom att se medeldjupet på mätarna vid experimenten, och multiplicera med kanalens bredd.

$$A_n = Y_n * b \quad (4)$$

### 2.1.4 Våta perimetern

Den våta perimetern är ett begrepp som beskriver den längd i ett tvärsnitt som är våt. Omkretsen av tvärsnittsarean förutom ytan. I verkligheten blir den våta perimetern något annorlunda då varje bottenprofil har olika utseende, så det är en förenkling att ta  $b$  komponenten i uträkningen. Se Figur 2 för förklaring.

$$P_n = 2Y_n + b \quad (5)$$

### 2.1.5 Hydraulisk radie

Den hydrauliska radien är ett begrepp som används i vissa fluidmekaniska beräkningar. Det förklarar kvoten mellan tvärsnittsarean och den våta perimetern. Även denna storhet kan ha marginella fel, då våta perimetern är med i ekvationen.

$$R_n = \frac{A_n}{P_n} \quad (6)$$

### 2.1.6 Hastighetshöjd

Enligt Nationalencyklopedin är hastighetshöjden vattnets rörelseenergi i en specifik punkt. Även ett begrepp för att specificera en fluids hastighet. Vattnets totala energi består av lägesenergi och rörelseenergi. När vattnet står still är den största delen lägesenergi, men när vattnet rör på sig blir en del till rörelseenergi, och hastighetshöjden är ett mått på just rörelseenergin.

$$U_h = \frac{U_n^2}{2g} \quad (7)$$

### 2.1.7 Specifik energi

Den specifika energin är ett mått på energi som finns vid en specifik punkt i kanalen. Begreppet förklaras genom djupet vid den specifika platsen adderat med hastighetshöjden, så den specifika energin mäts i enheten meter och hamnar en bit över ytnivån.

$$E_n = Y_n + \frac{U_n^2}{2g} \quad (8)$$

### 2.1.8 Energilinjens lutning

Då vatten rinner längs en yta, förekommer fallförluster hela tiden längs vägen. Om en lägre nivå erhålls längre ner i kanalen betyder det att en lägre lägesenergi fås. Genom att ta differensen av de specifika energierna och dela på sektionslängdena, får man ett värde i enheten m/m, som förklarar hur många meter det sjunker, varje meter som går.

$$S = \frac{E_{n1} - E_{n2}}{L} \quad (9)$$

### 2.1.9 Energiekvationen

Energiekvationen är ett samband mellan djup, hastighet och nivå. Om bottenivån stiger, medför det att tvärsektionen blir trängre och hastigheten ökar. Om både bottenivån och hastigheten stiger måste djupet sjunka om energiekvationen ska gå ihop.

$$E = Y + \frac{U^2}{2g} + Z \quad (10)$$

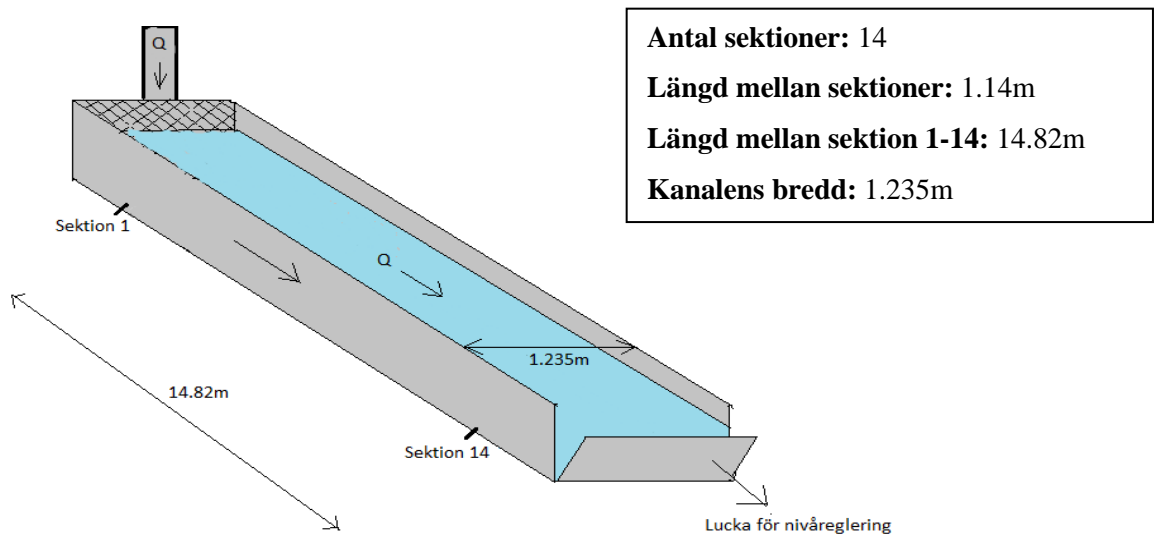
## 2.2 Rännans utseende och funktion

Vattenfall har tillverkat en kanal vars syfte är att användas för fluidmekaniska experiment. Samtliga mätningar gjordes i denna kanal. Figur 1 nedan ska illustrera hur kanalen är uppbyggd för att kunna uppnå önskade strömningsförutsättningar.

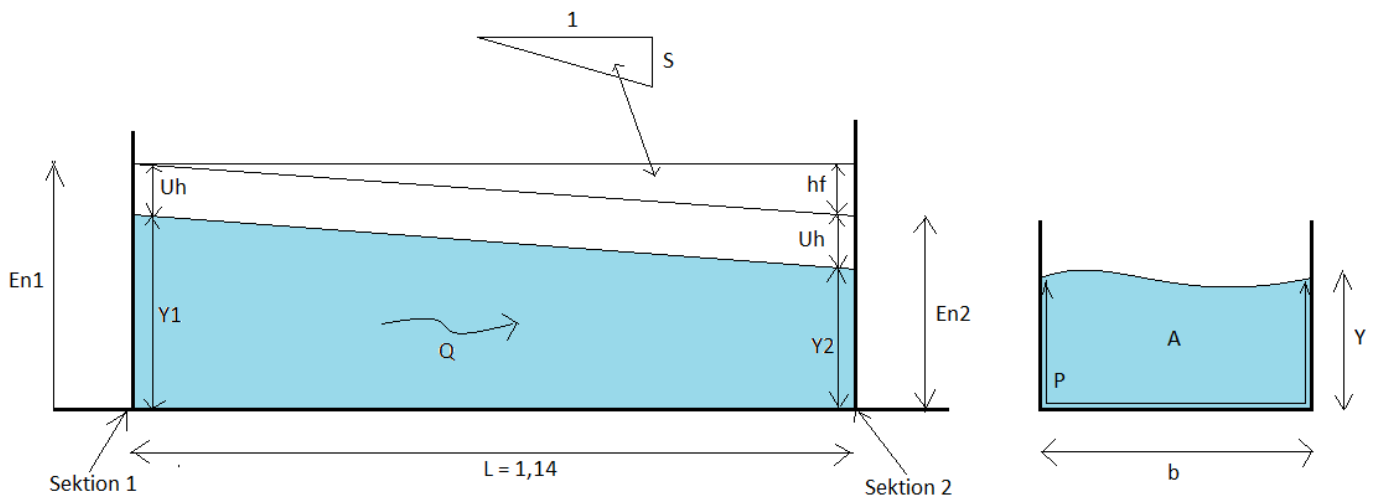
Pumparna klarar maximalt av att leverera 280 l/s flöde till rännan. Längst uppströms finns munstycket där vattnet rinner ut. Då är vattnet mycket turbulent och kaosartat. Där efter rinner vattnet en kort bit innan det passerar en "lugnare" för att få flödet till mer neutralt innan det rinner vidare längs rännan.

Varje sektion innehåller fem tryck-hål längs botten som samlar det statiska medeltrycket i sektionen, och leder vidare till ett mätrör där trycket presenteras i meter vattenpelare, och där med medeldjupet i sektionen. Genom mätning av medeldjupet vid samtliga sektioner och samtliga flöden och luckinställningar, fås tillräckligt med data för beräkningar.

Det fanns totalt tre mätrör för hela rännan, därför gjordes tre mätningar åt gången. Mätrören kalibrerades genom att fylla upp rännan och få mycket låga hastigheter och använda en tumstock som referens. Tumstockens mätning minus utslaget från givaren, ger hur mycket man måste lägga till på givaren för att den ska visa rätt vid mätningarna. Eftersom referensmätningen med tumstocken har en felmarginal på ca  $\pm 2$ mm finns risken att det kan påverka vissa perimetrar något, men så pass små fel ger försumbara felmarginaler i resultaten. Tryckgivarna där emot har en precision på  $\pm 0.1$ mm, så i förhållande till varandra är skillnaden mycket små och märks bara av då höjdskillnaderna mellan sektionerna blir mindre eller omkring 0.1mm.



Figur 1 visar rännans utseende ur ett överblicksperspektiv

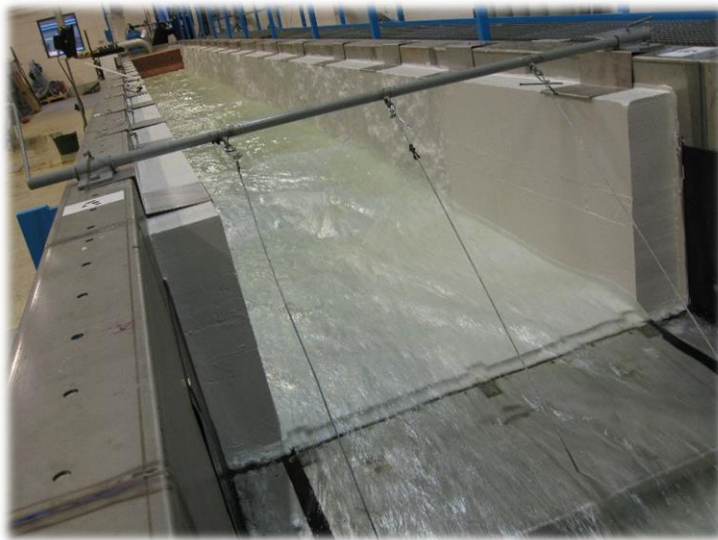


Figur 2 visar rännans utseende mellan två sektioner.

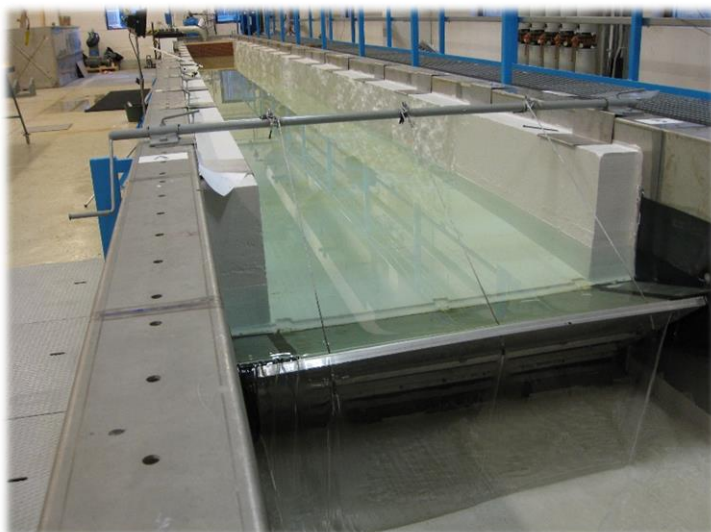
### 2.2.1 Nivåreglerande luckan

Längst nedströms på kanalen sitter luckan som reglerar nivåerna i kanalen. Ur pedagogiskt syfte är de olika inställningarna namngivna 100 %, 85 %, 75 %, 60 % och 30 % öppen. Detta är inte ett exakt mått av hur öppen luckan är, utan i syfte för att förklara ungefär hur öppen den är. Det viktiga att poängtera är dock hur de är inställda till varandra, d.v.s. att 100 % öppen är helt öppen, och sedan stiger luckan kontinuerligt till 30 % öppen som håller vattnet på en hög nivå.

En vev på vänster sida i bild användes för att manipulera luckan. Figurer 3 respektive 4 nedan visar då luckan är 100 % respektive 30 % öppen. Som nämndes tidigare i inledningen under avsnittet ”1.6 begränsningar”, nämndes att 30% öppen lucka uteslöts ur rapporten p.g.a. för stora mätfel. Eftersom mätinstrumenten som användes har en mätnoggrannhet på  $\pm 0.1\text{mm}$ , var avståndet mellan sektionerna i vissa fall för kort, att nivån inte hann sjunka något avsevärt. Då är en Manninguträkning inte möjlig, eftersom det är beroende av en lutning på energilinjens. Figur 4 visar tydligt hur nivåerna är höga och vattnet inte rör på sig särskilt mycket när luckan är 30 % öppen.



Figur 3 visar den nivåreglerande luckan 100% öppen.



*Figur 4 visar den nivåreglerande luckan 30 % öppen.*

### **2.2.2 Lugnaren**

Efter att vattnet kommit ut ur munstycket från pumparna är flödet kaosartat. För att då lugna ner och minimera turbulensen låter man vattnet passera en lugnare innan det färdas vidare längs kanalen där mätningarna görs. Det kan nämligen vara problematiskt om vattnet är kaosartat redan innan det rinner ner i kanalen, eftersom råhetslementen skapar sina egna virvlar, och när mätningarna görs är dessa ej av intresse, utan endast de som uppstår av råhetslementen i kanalen.

I en del fall kommer ett flöde med hög hastighet ner i rännan och då skapas virvlar och turbulens. Genom att då låta vattnet passera genom lugnaren elimineras/ begränsas hastigheterna i sidled, och vattnet får ett lugnare tillstånd.



*Figur 5 visar lugnaren längst uppströms kanalen.*



### 2.2.3 Kanalens batymetri

Ytan i rännan där vattnet flödar har en matematisk framtagen råhet med syfte att efterlikna en naturlig miljö. Ytan påminner om när man sprängt en vattenkrafttunnel i berg eller en spillfåra. Enligt vattenkraft.info skapad av Leif Kuhlin är typiska Manningtal för naturliga vattendrag med stenig ojämn botten är 20–35, och sprängda kanaler ca 25–35. Råheten frästes fram i form av ”pusselbitar” på laboratoriet, och de monterades i rännan och fästes. På frigoliten finns även ett lager med tätningsmaterial för att skydda frigoliten mot fuktskador. För varje sektion finns det fem tryckrör längs tvärsnittet på botten. Dess funktion är att samla det statiska medeltrycket i sektionen och presentera det på en display i samband med kanalen. På figuren nedan kan man se råheten i kanalen, och att vid låga flöden det till och med sticker upp råhet över ytan. Det är av denna ytas Manningtal som experimenten gjordes.



Figur 6 visar kanalens batymetri.

### 2.2.4 Flödesmunstycket

Efter vattnet pumpats upp från bassängen under hallen, upp genom röret och sedan flödar ut genom munstycket får den en kaosartad rörelse med mycket turbulens. Även om designen och funktionen inte är en helt perfekt lösning, är designen på det här munstycket bättre än alternativet att inte ha det. Då vattnet kommer ut ur munstycket ur många olika hål i munstycket, sprider det ut vattnet ut många mindre hål, för att fördela krafterna på ett bra sätt. På det sättet kan en relativt jämn mängd vatten flöda ut ur alla delar av lugnaren, och flödet får ett relativt lugnt initialbeteende.



Figur 7 visar munstycket var vattnet kommer från till rännan.

## 2.3 Process

### 2.3.1 Beräkningar mellan sektioner

För att uppnå stor noggrannhet i experimenten, gjordes mätningar under många olika fall. Mätningar gjordes med en mängd olika flöden, samt med den nivåreglerande luckan med syfte att se ännu starkare samband mellan flöde, nivå, hastigheter och Manningtal. Som tidigare nämndes, säger erfarenheten att ställen med liknande baty-metrier kan innehålla olika Manningtal, så att testa samma flöde med ändrade nivåer och hastigheter är av stor vikt.

I början av experimenten var planen att testa 100 %, 60 % och 30 % öppen lucka, med flöde jämnt fördelat 170l/s till 5l/s. Då experimenten startade blev det tydligt att låga flöden med hög nivå inte gav bra resultat, då nivåskillnaderna mellan sektionerna blev så pass små att resultaten mestadels bestod av mätfel. Då blev det mer intressant att göra mindre nivåskillnader i luckan, och utföra fler mätningar med de förutsättningarna, och eftersom 60 % öppen lucka gav godtagbara resultat, togs beslutet att göra två luckinställningar där mellan, d.v.s. 75 % samt 85 %.

Några flöden har även lagts till under loppets gång, för att komplettera resultaten. Både högre och lägre flöden.

Tabell 1 visar vilka olika mätningar som gjordes under experimentet. Varje mätning gjordes två gånger för att öka trovärdigheten.

<b>Flöde</b>	<b>Luckinställning 100 % öppen</b>	<b>Luckinställning 85 % öppen</b>	<b>Luckinställning 75 % öppen</b>	<b>Luckinställning 60 % öppen</b>	<b>Luckinställning 30 % öppen</b>
280 l/s	X				
250 l/s	X				
230 l/s	X				
200 l/s	X				
170 l/s	X	X	X	X	X
145 l/s	X	X	X	X	
130 l/s	X	X	X	X	
115 l/s	X	X	X	X	X
80 l/s	X	X	X		
60 l/s	X	X	X	X	X
40 l/s	X	X	X	X	X
20 l/s	X	X	X	X	X
10 l/s	X	X	X	X	
7.5 l/s	X	X	X		
5.0 l/s	X	X	X	X	X
1.6 l/s	X	X	X		

För att beräkna Manningtalet mellan två sektioner krävdes en del info från modellen. Medelarean räknades ut enkelt genom att ta djupet som tryckmätarna visade som medeldjupet, och multiplicerades med rännans bredd. Egentligen är det mer komplicerat att beräkna eftersom varje sektion har en specifik bottenprofil, och genom att endast ta bredden blir vissa längdenheter i viss omfattning för korta. Det finns här en del saker att ta hänsyn till i vissa parametrar. Dels kan noggrannheten hos våta perimetern och arean skifta vid olika djup. Som nämnt tidigare, får råheten en större inverkan på geometrin om man håller ett lägre djup, och till följd av det kan i vissa fall resultaten präglas av dessa skiftningar.

Ett verktyg togs fram i Excel, där man ställde upp alla variabler som funktion av djupet. Om Manningtalet önskades mellan två sektioner, skrevs djupet in i verktyget och ett utslag ges i Manningtal. Varje gång man ändrar djup, ändras också samtliga variabler som berörs av djupet. Parametrarna som ändras är också medelvärden av de två aktuella sektioner som omsluter mätområdet.

På sådant sätt får man fram ett Manningtal mellan samtliga 14 sektioner, under samtliga förhållanden skapade av den nivåreglerande luckan längst ner i kanalen, och samtliga flöden.

### 2.3.2 Avläsning av tryckmätare

Längs botten vid varje sektion finns fem tryck-hål vars syfte är att samla det statiska medeltrycket i sektionen. Det finns totalt 14 sektioner längs rännan med ett avstånd av 1.14m från varandra. För varje sektion, är slangarna från varje tryckhål ihopkoppade till en och samma slang, som leder bort till ventiler. För att mäta medeltrycket i en sektion skruvas en slang på ventilen, eventuell luft sugas ut ur slangen genom att skapa ett undertryck. För att nivåerna ska erhålla samma nivå, krävs det att det är 100 % samma fluid i slangarna, utan luft p.g.a. dess olika egenskaper. Till sist monteras slangen på ett tryckrör vars yta får samma nivå som ytan i sektionen då ett jämnt tryck har stabiliserats.

Då ytorna i kanalen samt den i tryckröret stabiliserats, presenteras ett djup på en display i samband med rännan. En flytkudde i röret flyter på ytan och mäter dess position och avstånd från botten av röret. Utrustningen använder sig av tryck och djupförhållandet  $h = \frac{P}{\rho g}$ . Värdet som displayen presenterar är i enheten mVp (meter vattenpelare) och är en direkt översättning av djupet i den valda sektionen.



*Figur 8 visar en överblicksbild av tryckmätarna, displayerna och även slangarna från sektionerna.*



*Figur 9 visar närbild på flytkorkarna som flyter på ytan i rören och mäter nivån från botten.*

### **2.3.3 Kalibrering av tryckrör**

Av den orsaken att botten av tryckröret inte nödvändigtvis presenterar botten av kanalen, visar displayen inte rätt nivå direkt, utan kräver en kalibrering. Exempelvis kan röret vara monterat för långt ner, vilket skulle medföra att ett lågt djup skulle visas som ett större djup på displayen. Motiveringen varför rören monterades just på den position där de satt, var att täcka ett sådant stort område som det var möjligt för att klara små och höga nivåer. För att kalibrera tryckrören, dämdes vattnet upp till en hög nivå, medan ett mycket lågt flöde samtidigt hölls. Då det konstaterades att vattnet rann över luckan på samma sätt, därav att nivåerna inte sjönk, kunde man avläsa och dokumentera värdena som presenterades på displayerna. Sedan kunde nivåerna bakom sektion 14 mätas analogt med en tumstock för att använda som referensnivå. Mätning gjordes då spetsmätaren var i botten, samt då spetsen precis bröt ytspänningen, och differensen subtraherades fram. Anledningen till valet av position till bakom sektion 14, var att råheten slutar där, och botten blir platt. Dock erhåller den platta botten samma medeldjup som för vid sektionerna.

Efter att differensen mellan djupet vid sektionerna och mätningen med tumstocken dokumenterats, kunde kalibreringen programmeras i Excel, och de korrekta djupen kunde användas. Dock kan en felmarginal uppskattas på mätningen med tumstock till omkring  $\pm 2\text{mm}$ . Sådana små fel ger dock ingen betydande skillnad i Manningtalet.



*Figur 10 visar spetsmätaren längst ner efter sektion 14.*

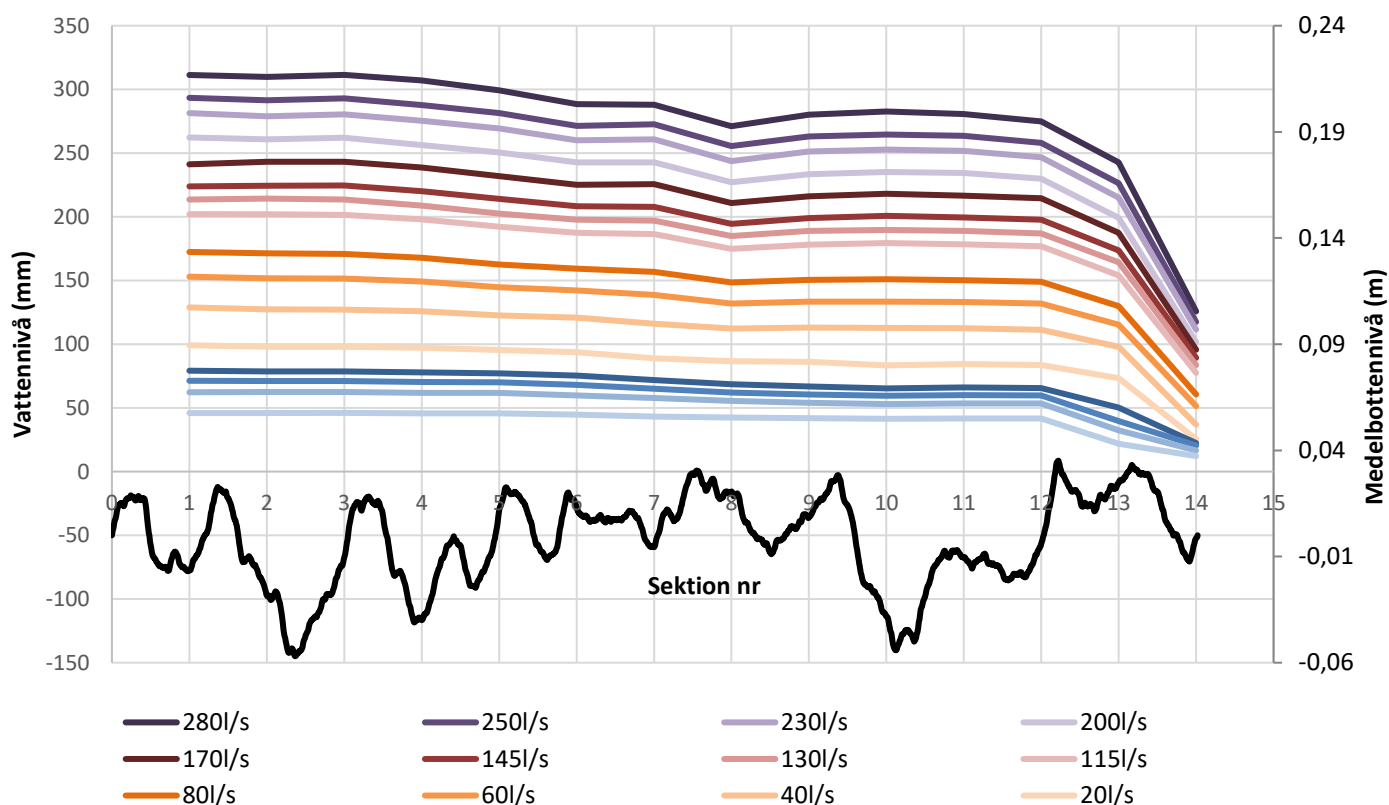
### 3. Resultat

#### 3.1 Strömningsprofil

Då samtliga mätningar var klara, och en bedömning om att inga fler mätningar var nödvändiga, plottades samtliga flödesprofiler för 100 % öppen lucka, för att se att det såg bra ut och att kalibreringen blivit korrekt. Man ser dock en avvikelse ungefär vid sektion åtta, främst för de höga flödena. Detta beror på att sektionen ”stramas åt” just där, och hastigheten ökar. Om hastigheten ökar, sjunker nivån. Studeras grafen nedan syns att medelbottennivån runt sektion åtta är hög så det stämmer och kan förklara nivå-sänkningen på grafen. Enligt ekvation (10) är detta samband av energi, hastighet, botten-nivå och djup korrekt. Om botten-nivån stiger blir sektionen trängre och hastigheten ökar. Stiger både botten-nivån och hastigheten, måste djupet sjunka för att ekvationen ska gå ihop.

För bäst resultat gjordes mätningarna på medelvärden i rännan, mellan sektion 1 och 13. Motiveringen till det är att sektion 14 dippar mycket på grund av att vattnet accelererar innan det rinner av kanalen.

Alla flöden vid 100 % öppen lucka



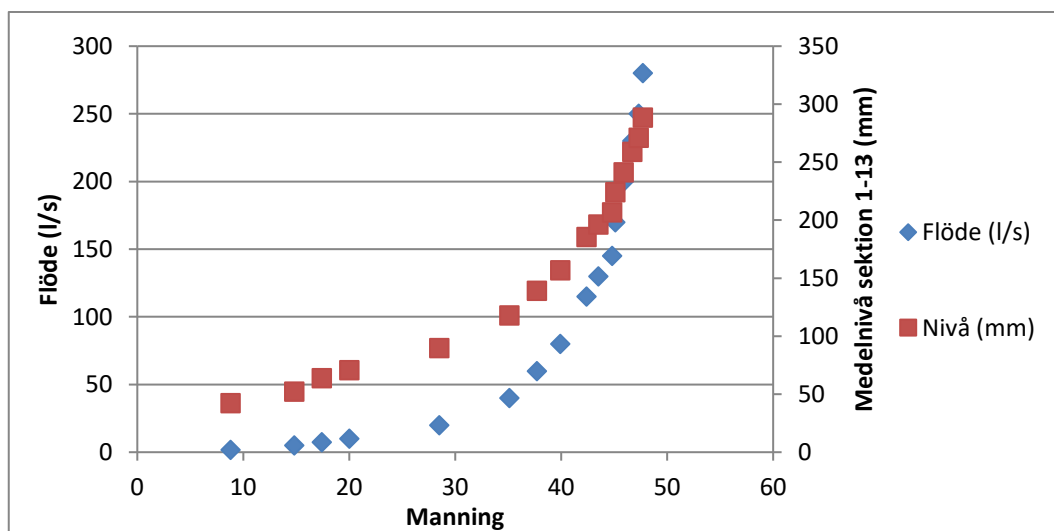
Figur 11 visar nivåerna för samtliga flöden som testades vid 100 % öppen lucka, samt botten-nivån på den högra Y-axeln.

### 3.2 100 % öppen lucka

Eftersom dessa beräkningar utgår från att rännan är rektangulär, kan det möjligen betyda att beräkningarna inte stämmer exakt. Areal och våta perimetern stämmer inte riktigt, eftersom en skrovlig yta gör att våta perimetern blir högre än vid en slät kanal, och arean kan också visa skillnad av samma anledning, att tvärsektionen är ojämn. Detta är saker som inte gör någon större skillnad i slutresultaten i detta fall.

Graferna nedan visar Manningtalet mellan sektion 1 och 13 för 100 % öppen lucka och samtliga flöden och nivåer. Manningtalet mellan sektion 1–13 som en funktion av flödet, och medelnivåerna mellan sektion 1–13 för de olika flöden. Man ser att värdena följer en fin linje, både för flödet och nivåerna. Tidigare nämndes att råheten har större inverkan då nivåerna är låga, eftersom råheten är större procentuellt i relation till djupet. Om ytan skiftar  $\pm 10\text{cm}$  och djupet är  $20\text{cm}$ , är bottenkiftningarna av större betydelse än om det vore  $2\text{m}$  djupt exempelvis. Dessa resultat bekräftar att den hypotesen stämmer.

Om fler mätningar skulle göras med högre flöden, ser det ut som att Manningtalet kommer att stabilisera sig allt mer omkring  $45\text{--}50$ , det vill säga att lutningen blir brantare desto högre flöde som används. Ännu tydligare ser man det för djupet. Och det är ganska logiskt eftersom större andel av den totala arean inte påverkas av botten råhetelement, som tidigare nämndes. Utifrån grafen ser man tydligt att om man utför en liten ändring i djup, påverkas Manningtalet desto mer om djupet redan var lågt än om det var högt.



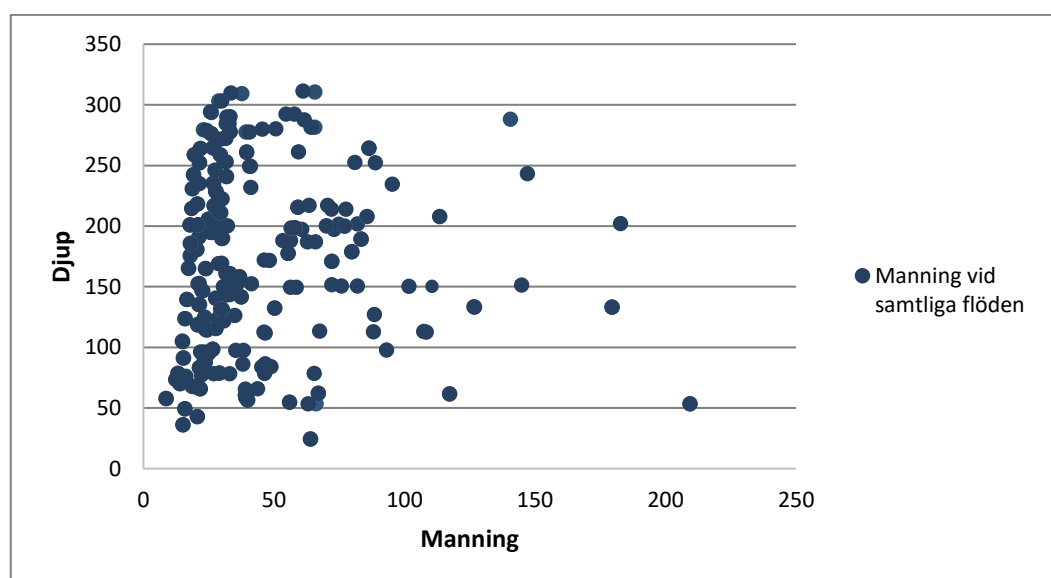
Figur 12 visar att Manningtalet sjunker desto lägre djup och flöde som erhålls i kanalen.



Studerar istället resultaten från mätningarna mellan varje sektion blev resultaten desto mer diffus. Exempelvis för ett relativt lågt djup gavs ett Manningtal på 209,3 vilket inte alls stämmer överens med hypotesen att Manningtalet sjunker vid lägre flöden. Förklaringen till detta kan vara att nivån inte hinner sjunka tillräckligt mycket mellan varje sektion efter endast 1,14m i rännan. Eftersom nivån ibland stiger och ibland sjunker snabbt p.g.a. stående vågor och liknande, skiljer det sig mycket i Manningtal när resten av parametrarna är lika. Det finns t.o.m. exempel på fall där nivån stiger längre nedströms. Då är en Manningberäkning inte är möjlig. Det betyder också att vissa beräkningar kan vara osäkra p.g.a. det korta avståndet mellan sektionerna.

Där emot ser man att majoriteten av resultaten befinner sig inom intervallet 9 – 80 i Manningtal, och det är som tätast runt 30 i Manningtal. Vad gäller graferna för de andra luckinställningarna, ser man på samma sätt att majoriteten befinner sig runt samma Manningtal-intervall. Dock är dessa lite spretigare. Detta på grund av att nivåskillnaderna blir mindre och mätfelen kan ta över.

Graferna till de andra luckinställningarna finns i bilagan

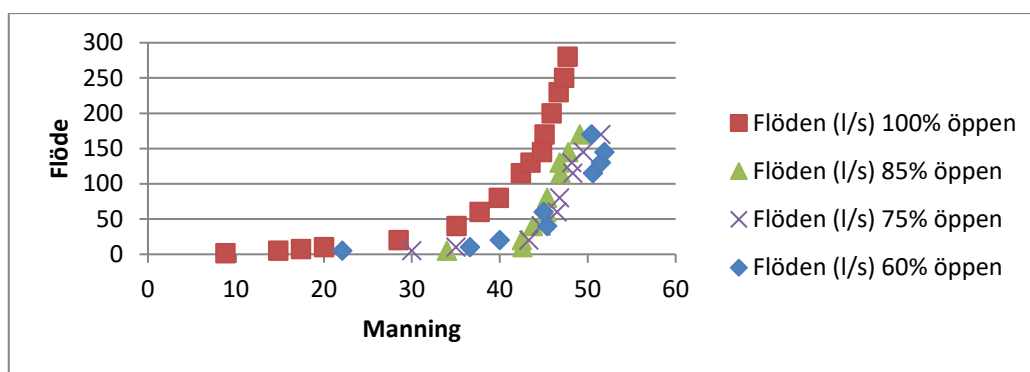


Figur 13 visar alla värden som mättes vid 100 % öppen lucka mellan varje sektion.

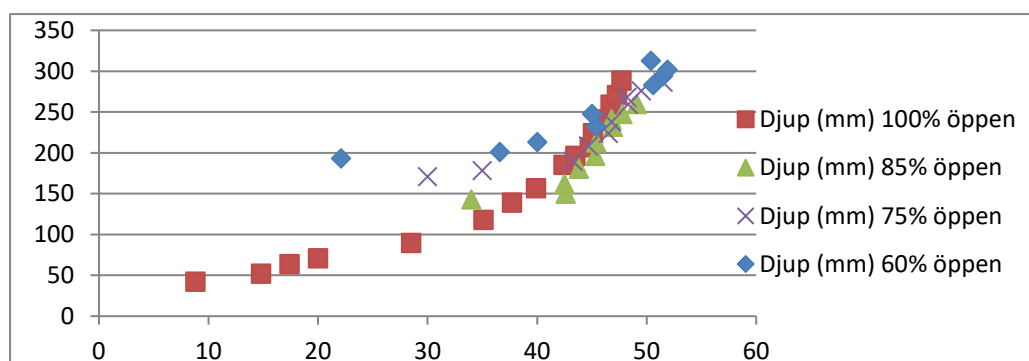
### 3.3 Samtliga luckinställningar

Vid luckinställningarna 85 %, 75 %, och 60 % öppna gjordes också en analys av hur Manningtalet påverkas av förändringar i djup och flöde mellan sektion 1–13. Även här syns det att värdena följer en trend. Om mätningarna vid högre flöden gjorts även vid 75 %, 85 % och 60 %, kan det då sägas med relativt stor säkerhet att även de hade följt liknande trend som för 100 %. Manningtalet hade stabiliserats och inte ökat i samma hastighet som innan.

Generellt verkar det som att Manningtalet blir högre för samma flöde, desto högre nivå man reglerar luckan till. Vid grafen som illustrerar djupet, verkar det även här som att linjen rör sig nedåt åt vänster för alla luckinställningar, det vill säga att Manningtalet sjunker vid lägre nivåer. Samma som nämndes ovan, skulle resterande grafer med stor sannolikhet följa samma mönster även här, fast på olika nivåer, beroende på vilken luckinställning som är aktuell.



Figur 14 visar för samtliga luckinställningar de olika Manningtal som erhöles vid olika flöden.



Figur 15 visar för samtliga luckinställningar de olika Manningtal som erhöles vid olika medelnivåer i kanalen.

## 4. Diskussion

Arbetet har bevisat att hypotesen stämde med det faktiska resultatet som gavs efter mätningarna i kanalen. Ju lägre flöde och djup, desto lägre Manningtal. Tydligast syns det på grafen för 100 % öppen lucka, eftersom nivåskillnaderna blev större, och mätnoggrannheten inte hade lika stor påverkan.

Det finns där emot anledning att vara skeptisk till mätningarna mellan varje sektion, då avståndet mellan sektionerna är så kort att det inte nödvändigtvis är fallförluster som ger en rättvis bild av rännan som presenteras, utan också kan uppstå av stående vågor eller fall över något slags krön. Exempelvis kan ett mycket stort fall uppstå mellan två sektioner p.g.a. att vattnet flödar över ett krön, och ger då i slutändan ett mycket lågt Manningtal som inte presenterar rännan på ett bra sätt. Vid låga flöden kan även fallförlusterna vara så pass små, att mätinstrumenten inte kan detektera dem, vilket också en svaghet med metoden som användes i arbetet. Figur 14 som illustrerar mätningarna som gjorts mellan just alla sektioner med 1.14m avstånd, visar att en stor osäkerhet finns då dessa mätningar görs. Figuren visar att ett relativt lågt djup får ett Manningtal omkring 209, vilket är oerhört högt. Flertalet andra fall får också Manningtal över 100. Detta beror med stor sannolikhet på att nivåskillnaderna mellan sektionerna är för små, och känsligheten i instrumenten inte klarar det.

En annan faktor vars validitet är tvivelaktig, är på vilka sätt som studien är applicerbar vid. Detta fenomen uppstår med stor sannolikhet i större skala också, men det är svårt i nuläget att veta exakt hur det ändras.

Då mätningarna gjordes mellan sektion 1–13 var det desto längre avstånd. Beräkningarna mellan dessa sektioner visade ett medel-Manningtal, och gav ett resultat som följde ett mycket fint mönster i form av en linje som kan förklara fenomenen mycket bra. Det kan med stor sannolikhet sägas att om stora volymer vatten skulle flöda längs en sträcka som inte är direkt påverkade av flödesfenomen som orsakats av råhetselement, förblir Manningtalet detsamma, och grafen skulle fortsätta rakt upp och stabilisera sig. Vid höga flöden och nivåer är denna kunskap inte riktigt lika viktig. Det är tydligt att Manningtalet blir betydligt lägre vid låga djup och flöden, så dessa resultat är mer applicerbara i verkligheten, till att ta med och använda i framtiden. Dessa resultat är väldigt öppna för tolkningar och slutsatser, och bevisar att fortsatt forskning inom området är mycket intressant.

Resultaten som illustreras för samtliga luckinställningar påvisar att fenomenet uppstår även då ytan däms upp nedströms. Även här ser man att det blir tydligare för 100 % öppen lucka, av den anledningen att nivåskillnaderna blir större och felmarginalen mindre viktig. Där emot följer samtliga fall samma mönster, att djup och flöde spelar roll. Denna insikt visar på att det finns potential till att framställa ett tydligt

komplement till Mannings ekvation och att framtida beräkningar inom området kan använda sig av mer korrekta och noggranna beräkningar.

## 5. Slutsatser

### 5.1 Perspektiv

Manningtalet minskar vid lägre djup och flöden precis som hypotesen sade. Resultaten från 100 % öppen lucka blir mest tydlig, troligtvis beroende på att mindre mätfel uppstår här. Kunskapen gör att mer noggranna Manningberäkningar kan utföras som i sin tur leder till bättre förutsättningar för att optimera vattenkraften. Eftersom vattenkraften står för en stor del av elproduktionen finns stora förbättringsmöjligheter. Detta är mycket viktigt för en hållbar utveckling. För att nå 2-gradersmålet krävs en mycket omfattande omställning i energisektorn som går ut på att få bort de fossila energikällorna. Vattenkraften är förnybar och miljövänlig, d.v.s. att ett bidrag till hållbar utveckling är att effektivisera den.

### 5.2 Utveckling

Framtida forskning inom området skulle kunna innebära ett förändrat sätt att tänka på och räkna vid förluster i älvsträckor och bergtunnlar. Resultaten från studien genererar många möjligheter till utveckling inom området. Det skulle exempelvis kunna vara i form av en komplettering till Manningekvationen, där hänsyn även tas till flöde och djup. Ett annat alternativ skulle kunna vara att ta fram någon slags exponentiell linje, som är anpassad till den imaginära linje som punkterna utger i resultaten. Resultaten för samtliga luckinställningar följde i stort sätt samma mönster, men för 100 % öppen lucka följde ett mycket fint mönster och kan lätt översättas till en linje med tillhörande ekvation för att förklara den.

Vidare mätningar i framtiden kan göras med andra geometrier, andra bredder, djupare och smalare rännor, samt i större skalor. I just detta examensarbete liknar råheten den för vissa spillfårar och vattenkrafttunnlar sprängda genom berg. Andra liknande mätningar kan göras med andra råheter, och råheter med tillägg (t.ex. vegetation) är mycket intressant för ämnet. En förbättring skulle även vara att utföra mätningarna i en ännu längre kanal. Genom att göra det, skulle höjdskillnaden mellan början och slutet vara stora, och generera ett ännu tydligare medeltal. Det skulle medföra att höjdskillnaderna p.g.a. stående vågor och liknande utgör en mindre del än den totala höjdskillnaden, vilket gör att resultaten blir mer pålitligt.

Genom fler mätningar på samma sätt men olika råheter och geometrier kan ett alternativ vara framställa ett kompletterande diagram som kan användas som mall vid bestämning av Manningtal.

Man kan även tänkas göra mätningar med noggrannare mätinstrument som har större mätnoggrannhet för att kunna mäta mer exakta Manningtal på högre nivåer och mer

stillastående flöden. För det finns alltid små fallförluster om vattnet har någon slags hastighet.

Vetenskapen om hur Manningtalet påverkas är viktigt, och genom att ha den nya kunskaper kan mer noggranna beräkningar inom området vara möjligt. Graferna som presenterats i arbetet kan i framtiden stå som grund för förlustberäkningar inom området. Ett exempel på ett väldigt viktigt användningsområde för den nya kunskapen är just förlustberäkningar och simuleringar över älvsträckor. Istället för att utgå efter samma Manningtal på hela sträckan, kan man justera det utifrån kunskapen på speciella partier (t. ex mycket breda partier där vattnet sprider ut sig och djupet blir lågt). Detta går att göra idag i simuleringsprogram, men med mindre vetenskap om hur nivå och flöde påverkar Manningtalet. Använder man sig av att sätta samma Manningtal längs hela sträckan, kan simuleringarna vara långt ifrån verkligheten.

## Referenser

Vattenfall, "Forskning och Utveckling", Vattenfall, 11 April 2017. [Online]. Available: <https://corporate.vattenfall.se/om-oss/var-verksamhet/var-forskning-och-utveckling/>. [Använd 20 Oktober 2017].

Leif Kuhlin, "Fallförluster Teori", Vattenkraft.info, 19 Oktober 2017. [Online]. Available: <https://vattenkraft.info/?page=30>. [Använd 30 Oktober 2017].

Nationalencyklopedin, "hastighetshöjd", [Online]. Available: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/hastighetshöjd> [Använd 30 Oktober 2017].

Svenska kraftnät "kontrollrummet", [Online]. Available: <https://www.svk.se/drift-av-stamnatet/kontrollrummet/> [Använd 30 Oktober 2017]

Basnet, C. B. and Panthi, K. K. (2018) 'Roughness evaluation in shotcrete-lined water tunnels with invert concrete based on cases from Nepal', *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Elsevier, 10(1), pp. 42–59. doi: 10.1016/J.JRMGE.2017.07.006.

Fraga, I., Cea, L. and Puertas, J. (2013) 'Experimental study of the water depth and rainfall intensity effects on the bed roughness coefficient used in distributed urban drainage models', *Journal of Hydrology*. Elsevier, 505, pp. 266–275. doi: 10.1016/J.JHYDROL.2013.10.005.

Furlan, C. and Mortarino, C. (2018) 'Forecasting the impact of renewable energies in competition with non-renewable sources', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Pergamon, 81, pp. 1879–1886. doi: 10.1016/J.RSER.2017.05.284.

GU, F., NI, H. and QI, D. (2007) 'Roughness coefficient for unsubmerged and submerged reed', *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*. No longer published by Elsevier, 19(4), pp. 421–428. doi: 10.1016/S1001-6058(07)60135-8.

Jiang, M. and Li, L.-X. (2010) 'An improved two-point velocity method for estimating the roughness coefficient of natural channels', *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. Pergamon, 35(3–5), pp. 182–186. doi: 10.1016/J.PCE.2010.03.036.

Li, S. *et al.* (2015) 'New formulation for the effective relative roughness height of open channel flows with submerged vegetation', *Advances in Water Resources*. Elsevier, 86, pp. 46–57. doi: 10.1016/J.ADVWATRES.2015.09.018.

Vatankhah, A. R. (2015) 'Analytical solution of gradually varied flow equation in circular channels using variable Manning coefficient'. doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2015.04.004.

Vatankhah, A. R., Ghafari, S. and Mahdavi Mazdeh, A. (2015) 'New and improved hydraulic radius for channels of the second kind', *Ain Shams Engineering Journal*. Elsevier, 6(3), pp. 767–773. doi: 10.1016/J.ASEJ.2015.02.003.