



UPPSALA
UNIVERSITET



UPTEC W 24022

Examensarbete 30 hp

Juni 2024

Dimensionering av erosionsskydd för mindre dagvattendammar

Ellen Fredriksson



UPPSALA
UNIVERSITET



Abstract

Ponds are constructed with the aim to manage storm water. For these ponds to be in use for a long time they need to be protected, especially against erosion and this can be done with different erosion control methods. The problem is though that often an erosion control method that can handle much higher stress is chosen even if it might not be needed.

The aim of this study was to examine how an erosion control could be dimensioned. It is often chosen based on what the velocity in the pond is expected to be, therefore it was also examined how the velocity can be determined in a pond. Initially, a literature study was conducted and then followed up by modeling in HEC-RAS in order to obtain values that could be compared with the calculated ones.

A finding of the study showed that it is very difficult to determine the velocity in a pond since the flow pattern varies a lot. Manning's equation was the one found to be most used for dikes so it was assumed that it could work for ponds as well, but it did not. Manning's equation only calculates the velocity in one direction and does not take into consideration how the velocity may vary within a cross section of the pond. The velocity simulated with HEC-RAS resulted in a more reliable result and was preferred to use over Manning's equation.

A table showing different erosion control methods and their limit for when erosion might occur was constructed. This table can be used to determine which one to choose if the velocity and/or shear stress are known.

Keywords: Pond, erosion, water and distribution

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala/Visby

Handledare: Sofi Sundin Ämnesgranskare: Abraham Joel

Examinator: Johan Arnqvist

REFERAT

Dimensionering av erosionsskydd i mindre dagvattendammar

Ellen Fredriksson

Dammar anläggs runt om i landet för att ta hand om dagvatten. Huvudsakligen ska dammar uppehålla en mängd vatten för att minska den högsta vattenföringen. För att dessa dammar ska kunna vara i bruk under en lång tid är det viktigt att de skyddas mot bland annat erosion. Erosion är när markytan nöts bort på grund av vind, vatten eller andra externa krafter. För att skydda mot detta anläggs erosionsskydd men problemet idag är att de oftast överdimensioneras.

Syftet med arbete är därför att utreda hur erosionsskydd kan dimensioneras. Dimensioneringen av erosionsskydd genomförs oftast utefter vad hastigheten i dammen förväntas bli och därför ska det även utredas hur hastigheten i en damm kan bestämmas. En litteraturstudie genomfördes för att försöka finna svar på dessa frågor. För en befintlig damm modellerades även hastigheten i HEC-RAS för att kunna jämföra med de beräknade värdena.

Studien kom fram till att det är svårt att beräkna hastigheten i en damm då hastighetsfördelningen i en damm varierar i höjdled, längs med dammen och i bredd. Mannings formel var den som användes för att beräkna hastigheten och den tar inte hänsyn till dessa variationer av hastigheten. I HEC-RAS kunde både hastigheten och skjuvspänningen simuleras. Den simulerade hastigheten återspeglar mer hur fördelningen faktiskt kan förväntas vara i en damm jämfört med hastigheten som kunde beräknades med Mannings formel. För att bestämma hastigheten i en damm är alltså HEC-RAS en bättre metod att använda sig av.

En tabell över olika erosionsskydd och deras tålighet kunde sammanställas. I denna tabell listades olika erosionsskydd tillsammans med de gränsvärden för hastigheten och skjuvspänningen som de förväntades kunna motstå. Denna tabell kan alltså användas för att bestämma vilket erosionsskydd som skulle kunna användas i en damm under förutsättningar att hastigheten och/eller skjuvspänningen är känd.

Nyckelord: Damm, erosion, hastighetsfördelning

FÖRORD

Denna rapport har utgjort examensarbetet för Civilingenjörsprogrammet i miljö och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Det har omfattat 30 hp och varit det sista examinerande moment på hela utbildningen. Projektet har genomförts tillsammans med Ramboll i Uppsala på avdelningen VA-teknik.

Jag vill inleda med att tacka min handledare på Ramboll, Sofi Sundin, för allt stöd och det varma välkommandet. Under projektets gång har jag även Neil Young och Ella Uppala funnits där som stöd. Jag vill även rikta ett extra tack till Ramboll Uppsala och specifikt den avdelning som jag fått tillhöra, VA-teknik. Jag kände mig välkommen från början och har fått en insyn i hur livet som ingenjör kan se ut efter examen.

Vidare så vill jag även tacka min ämnesgranskare Abraham Joel, forskare vid Institutionen för mark och miljö vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Han har bidragit med goda råd och hans hjälp har varit mycket betydelsefull.

Slutligen vill jag rikta ett extra stort tack till all som bidragit till att förgylla min studietid. Utan dessa vänner hade dessa fem år varit betydligt svårare. Tack.

Ellen Fredriksson
Uppsala, juni 2024

Copyright © Ellen Fredriksson och Institutionen för mark och miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). UPTEC W 24022, ISSN 1401-5765 Digitalt publicerad i DiVA, 2024, genom Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. (<http://www.diva-portal.org/>)

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

I takt med att samhället växer och blir större förändras vår omgivning. Nya bostadshus och köpcenter byggs, parkeringsplatser och idrottsanläggningar blir fler men grönområdena blir färre. Stora ytor av det som varit parker och skog kommer på grund av detta att bli täckt av asfalterad mark. Vatten från regn och snösmältning som inte kan infiltrera ner genom asfalten kommer behövas tas omhand på något sätt. För att lösa detta problem kan dagvattendammar anläggas. Dagvatten är allt vatten som rinner på dessa ytor och som behöver tas omhand. Dagvattendammar kan ha olika syften men i just detta fall var det för att fördröja och magasinera vattnet tills dess att det kan rinna vidare och tas omhand av naturen utan att det orsakar översvämningar.

Vid anläggandet av en dagvattendamm räcker det inte med att endast gräva en grop och hoppas att vattnet rinner dit och stannar där en stund. Vattnet måste avledas via ledningar och diken för att se till att det hamnar i dammen och inte rinner vidare till en plats där det inte kan tas omhand. För att detta ska vara en lösning som är bestående under en lång tid är det viktigt att själva dammen är hållbar och inte fylls igen eller går sönder på något sätt. En risk för dessa dammar är att de förstörs på grund av erosion. Erosion är när markytan nöts bort på grund av vatten och vind som är externa krafter som sliter på markytan. Det går inte att hindra att erosion uppstår så dammen kommer därför behöva skyddas. Detta kan göras med erosionsskydd. Erosionsskydd kan utgöras av många olika typer av material vars syfte är att fungera som ett skyddande lager mellan markytan och de påfrestningar från vatten som kan bli.

Idag är problemet att erosionsskydd överdimensioneras. De anläggs i större utsträckning samt mer robusta än vad som är nödvändigt i tron om att slitningarna från vatten kommer vara kraftigare än vad de faktiskt är. Större erosionsskydd kostar mer pengar och genom att "skydda" markytan med krossmaterial, som är ett vanligt erosionsskydd, försämrar förutsättningarna för att växter och djur ska trivas där. En anledning till att erosionsskydden överdimensioneras är för att hastighetsfördelningen i en damm inte kunnat kartläggas så bra. Ofta förväntas det vara högre hastigheter i dammen än vad det faktiskt är och det beror på att det finns för lite kunskap kring hur hastighetsfördelningen i en damm ser ut.

Detta arbete syftade till att först med hjälp av en litteraturstudie utreda hur hastighetsfördelningen i en damm ser ut och hur hastigheten kan beräknas. Vidare så önskade litteraturstudien att även finns svar på hur erosionsskydd kan dimensioneras. Vad finns det för parametrar att ta hänsyn till och hur kan erosionsskydd för en damm väljas? Den metod som funnits i litteraturstudien för att beräkna hastigheten jämfördes mot simulerade värden på hastigheten som tagits fram för en exempeldamm. Slutligen kunde det föreslås ett erosionsskydd för denna exempeldamm baserat på de fynd som erhöles från litteraturstudien.

Från litteraturstudien kunde det konstateras att hastighetsfördelningen i en damm är väldigt komplex. Vattnet strömmar tredimensionellt vilket försvårar möjligheterna för att beräkna hastigheten. För att beräkna hastigheten genom ett dike framkom det flera gånger att Mannings

formel var en bra metod. Denna antogs kunna gälla för att beräkna hastigheten genom en damm också så denna valdes ut för att testas. Utöver Mannings formel så framkom det fler gånger att för att bestämma hastigheten genom en damm användes vanligen olika datorprogram. Just olika datorprogramms förmåga att simulera en hastighet var inget som studerades i detta arbete. Vad gäller erosionsskydd så kunde en tabell sammanställas utifrån data från en tidigare rapport. Denna listade olika typer av erosionsskydd och vilken hastighet samt skjuvspänning som de skulle klara av att stå emot. Om hastigheten och/eller skjuvspänningen för en damm är känd kan ett erosionsskydd väljas utifrån denna tabell. Utöver detta så framkom det under arbetets gång att hur dammen utformas är en viktig faktor att ta hänsyn till för att undvika att erosion ens uppstår. Om dammen dimensioneras på ett sådant sätt att risken för att erosion uppstår minskar kommer det automatiskt inte krävs ett lika starkt och erosionståligt erosionsskydd.

För att utföra beräkningar med Mannings formel och modellera i HEC-RAS erhöles dimensioner för en damm i Stockholm. Hastigheten för denna damm beräknades med Mannings formel men det kunde konstateras att Mannings formel inte är lämpad för den typ av vattenföring som råder i en damm. I en damm är vattenföringen som sagt inte endimensionell och det påverkas av att det oftast är väldigt smala inlopp och utlopp. Detta är faktorer som Mannings formel inte kan ta hänsyn till. Hastigheten kunde slutligen simuleras i modelleringsprogrammet HEC-RAS. De resultaten motsvarade en bättre bild av hur hastigheten i en damm kan förväntas vara och tolkas då som en bättre metod att använda. Även värden på skjuvspänningen togs fram för att kunna avgöra ett lämpligt erosionsskydd för denna damm. Om en bedömning av erosionsskydd ska göras utifrån värdena erhållna från HEC-RAS så kan det anses att det inte krävs något erosionsskydd alls då hastigheten och skjuvspänningen är såpass låga.

ORDLISTA

Hydraulisk radie

Tvärsnittsarean dividerat med den våta perimetern (Lundström et al. 2008)

Våt perimeter

Den yta som täcks av vatten (ibid.)

Mjuka erosionsskydd

Erosionsskydd bestående av vegetation (Roupé 2021; Danielsson et al. 2016)

Hårda erosionsskydd

Utgörs av betong, sten eller annat hårt armerande material (Roupé 2021; Danielsson et al. 2016)

LOB

Left overbank - Vänstra slänten

ROB

Right overbank - Högra slänten

INNEHÅLL

1	Inledning	1
1.1	Syfte och frågeställningar	1
1.2	Avgränsningar	2
2	Bakgrund	3
2.1	Erosion	3
2.1.1	Jord	3
2.1.2	Shields diagram	4
2.2	Vattnets hastighet	5
2.2.1	HEC-RAS	5
2.2.2	Mannings formel	6
2.3	Dimensionering idag	7
3	Material och metod	8
3.1	Litteraturstudie	8
3.2	Plastsbeskrvning och dimensioner för dammen	9
3.3	Beräkning av hastighet	10
3.3.1	Mannings tal	10
3.3.2	Mannings hastighet	11
3.4	HEC-RAS	13
3.4.1	Principerna bakom programmet	13
3.4.2	Modelleringen	14
4	Resultat	19
4.1	Litteraturstudie	19
4.1.1	Faktorer som påverkar hur en damm bör dimensioneras	19
4.1.2	Erosionsskydd	22
4.1.3	Hastighetsfördelning	23
4.2	Beräkning av hastighet med Mannings formel	24
4.3	Modellering i HEC-RAS	25
4.3.1	Val av klockslag för analys av hastighet och skjuvspänning	25
4.3.2	Medelhastighet	27
4.3.3	Skjuvspänning	29
5	Diskussion	32
5.1	Vattnets hastighet	32
5.2	Erosionsskydd	33
5.3	Erosionsskydd för dammen	33
5.4	Osäkerhetsanalys	34
5.5	Framtida studier	35
6	Slutsats	36
	Referenser	37

1 INLEDNING

Det finns många olika typer av dammar och deras syfte är huvudsakligen att hantera dagvattnet i det området. Dammen uppehåller vattnet under en tid tills det att vattnet kan tas omhand, antingen genom att det filtrerar ner i marken, rinner vidare i ett annat dike eller stannar kvar i dammen ytterligare en tid för att genomgå en reningsprocess i själva dammen. Det finns flera fördelar med dammar. De bidrar bland annat till att den biologiska mångfalden förbättras då det skapar en trivsamt miljö för vattenlevande växter och djur (Grill u.å.). För att dammarna ska kunna vara i bruk under en längre tid är det viktigt att de underhålls och skyddas, främst mot erosion.

Erosion är en naturlig process som sker runt om i världen. Det kan vara på land, i vattendrag eller i dammar (IECA 2008). När material eroderas kan det hamna på platser där det inte ska vara och det kan orsaka problem. Erosion uppstår när jordytan utsätts för externa krafter från exempelvis vind, vatten eller is. Det innebär att en del av markytan nöts bort (ibid.). Erosion ska uppstå på plan mark, i vattendrag och i dammar. För att skydda dess ytor anläggs därför erosionsskydd.

För att avgöra vilken typ av erosionsskydd som ska användas i mindre dagvattendammar är det vanligt att utgå från vattnets hastighet. Högre hastighet leder till större påfrestningar och risken för erosion ökar (Lundström et al. 2008). För att beräkna hastigheten finns det färdiga datorprogram som kan genomföra detta men de är oftast inte anpassade för mindre anläggningar och simuleringar av vattnets hastighet kan resultera i ett högre värde än vad det faktiskt kommer att vara.

Ramboll upplever idag att det finns ett problem med att erosionsskydd ofta överdimensioneras. Överdimensioneringen leder till att onödigt mycket material används, habitatvärdena försämras och kostnaderna stiger. Anledningen till detta är att de riktlinjer som finns gällande dimensionering av erosionsskydd inte är anpassade till mindre dagvattendammar. Det beror också på att hastigheten som simuleras ofta är högre än vad den kommer vara i verkligheten. Då väljs ett erosionsskydd som kan klara större påfrestningar fast det egentligen inte är nödvändigt. Krossmaterial är ett vanligt förekommande erosionsskydd som fungerar bra och används i stor utsträckning men det har gjort att andra skydd delvis har förbisetts.

1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med projektet är att skapa en bättre förståelse för hur hastigheten kan variera i mindre dagvattendammar, och hur den kan beräknas. Projektet syftar även till att ta reda på vilka typer av erosionsskydd som skulle kunna anläggas i en damm och hur det kan avgöras vilka som anses lämpliga och inte. De frågeställningar som därmed önskas besvaras under projektets gång är följande:

1. Hur kan vattnets hastighet bestämmas i en damm?
2. Hur kan erosionsskydd dimensioneras för en damm?

1.2 AVGRÄNSNINGAR

För att ta fram hastigheten i en damm har endast modelleringsprogrammet HEC-RAS använts. Studien har utrett vilket metoder som finns, både i Sverige men även runt om i världen, för att beräkna vattnets hastighet. Detta har dock exkluderat modelleringsprogram som kan användas för att beräkna hastigheten. Studien ska alltså inte jämföra olika programs förmåga att simulera en hastighetsfördelning. Dammar kan vara av olika storlek och detta arbete har avgränsats till att endast studera mindre dagvattendammar som förväntas integrera i landskapet och inte rymma stora volymer som exempelvis en kraftverksdamm.

2 BAKGRUND

2.1 EROSION

Erosion är när ytan av ett material nöts bort. Detta material kallas för sediment. I ett vattendrag eller en damm uppstår erosion när de hydrauliska krafterna som verkar på materialet är större än de kvarhållande krafterna (Fischenich 2001). De interna krafterna som avgör om materialet kommer släppa från botten är tyngdkraften, lyftkraften och dragkraften. Friktionskraften utgörs av lyftkraften och tyngdkraften och när friktionskraften är lika stor som dragkraften sker erosion. Denna beskrivning av erosion gäller främst för friktionsjordar. Kohesionsjordar hålls även samman av kohesionskraften (Lundström et al. 2008).

Det är inte enbart jordens kemiska och fysikaliska egenskaper som avgör om erosion uppstår. I vattendrag påverkar vattnets hastighet risken för att erosion ska uppstå. Vid högre hastigheter blir det större påfrestningar på markytan och risken för erosion ökar. Den hastighet på vattnet som leder till att erosion uppstår kallas för den kritiska hastigheten (Fischenich 2001).

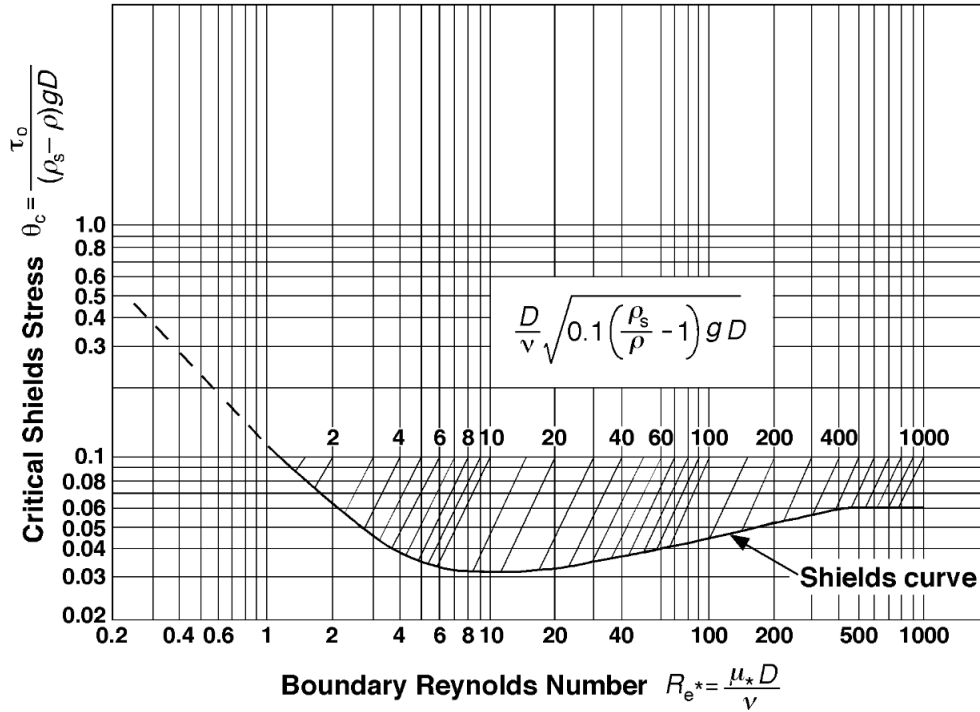
2.1.1 Jord

Jord består av material i olika faser, gas, flytande eller fast. Det fasta materialet utgörs oftast av lerpartiklar eller mineralpartiklar, och ibland även av organiskt material. Det flytande materialet är oftast vatten. Hur förhållandet mellan dessa tre faser ser ut hos jorden avgör vad det är för typ av jord (Larsson 2007). Jord kan namnges och kategoriseras på flera olika sätt. Det finns organisk jord och mineraljord. Skillnaden mellan dessa två är hur mycket organiskt material som jorden består av. (Statens geotekniska institut 2023a). Dessa två kategorier kan sedan indelas ytterligare. Mineraljorden kan kategoriseras som mycket grov jord, grovjord, blandkornig jord och finjord. Detta görs huvudsakligen utifrån hur kornstorleken och fördelningen av kornstorleken ser ut. Detta kan sedan delas upp i ännu fler specifika kategorier beroende på bland annat plasticiteten, som avgörs utifrån vattenkvoten. Genom att granska dessa parametrar kan det avgöras om det är silt- eller lerjord (Larsson 2007).

All typ av jord faller även under någon av huvudkategorierna organogen jord, friktionsjord eller kohesionsjord (Statens geotekniska institut 2023b). Organogen jord utgörs huvudsakligen av nedbrutna växter och djur som bildat organiskt material (Nationalencyklopedin 2023c). Skillnaden mellan friktionsjord och kohesionsjord är att friktionsjord oftast utgörs av grovkornigt material och de krafter som håller ihop jorden är friktionskrafterna mellan kornen. Vad gäller kohesionsjord så verkar friktionskrafterna även här men det finns en ytterligare kraft som kallas kohesion (Statens geotekniska institut 2023b). Kohesion är en kraft som verkar mellan molekyler i ett material utan att de faktiskt binder till varandra kemiskt. Kraften är starkare hos jordar med en mindre kornstorlek då kontaktytorna där dessa krafter verkar blir fler (sett per volymenhet) (Nationalencyklopedin 2023a). Den stora skillnaden som därmed uppstår mellan dessa två jordtyper är hållfastheten. Kohesionsjordar har högre hållfasthet än friktionsjord för att det finns fler och starkare krafter som verkar mellan partiklarna och kan hålla ihop dem (Statens geotekniska institut 2023a).

2.1.2 Shields diagram

Eftersom risken för att erosion uppstår beror på flera olika faktorer tog Shields fram ett diagram som förklarar hur erosion hänger ihop med den kritiska skjuvspänningen. Detta beror bland annat på vad det är för typ och jordart och vilken kornstorlek som materialet har. Erosion uppstår, som tidigare nämnts, när friktionskraften och dragkraften är lika stor. Från detta samband kan ett uttryck för den kritiska skjuvspänningen erhållas. Shields gjorde en mängd undersökningar och fann ett samband för när erosion uppstår (Lundström et al. 2008). I figur 1 presenteras hans diagram.



Figur 1: Shields diagram, bild använd med tillåtelse från upphovsinnehavaren SERC 2007

För att kunna använda Shields diagram behövs några parametrar beräknas. Bland annat den kritiska skjuvspänningen samt Reynolds skjuvspänningstal. I figuren benämns den kritiska skjuvspänningen med θ_c men den kan även benämnas med τ_* och beskrivas enligt ekvation 1 (ibid.).

$$\tau_* = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma_w)d_s} \quad (1)$$

τ_0 (N m^{-3}) är skjuvspänningen längs med botten, γ_s och γ_w (N m^{-3}) är kompakttheten för jorden respektive vattnet och d_s (m) är kornstorleken (motsvarande d_{60} enligt Vassdragshåndboka (1998)). Reynolds skjuvspänningstal kan beräknas enligt ekvation 2 och

skjuvspänningshastigheten (V_*) som behövs för detta med ekvation 3 (Lundström et al. 2008).

$$Re_* = \frac{V_* d_s}{\nu} \quad (2)$$

$$V_* = \frac{\tau_0}{\rho_w} \quad (3)$$

V_* är skjuvspänningshastigheten (m s^{-1}), ν är den kinematiska viskositeten $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ och ρ_w är vattnets densitet. Detta diagram kan beräkna erosionsrisken både längs en slät botten och slänt. För att ta hänsyn till lutningen som kan vara i slänter används en korrektionsfaktor, K . Denna beräknas enligt ekvation 4 (ibid.).

$$K = \sqrt{1 - \frac{\sin^2(\alpha)}{\sin^2(\phi)}} \quad (4)$$

där α är slänthlutningen ($^\circ$) och ϕ är jordmaterialets friktionsvinkel ($^\circ$). Om korrektionsfaktorn används ska kornstorleken, d_s , multipliceras med denna faktor innan erosionsrisken kan bestämmas. Värdet på den kritiska skjuvspänningen som beräknas när korrektionsfaktorn adderas gäller dock endast för slänten och inte i mitten av dammen (ibid.).

Diagrammet tolkas slutligen på så sätt att punkter som hamnar ovanför den heldragna linjen indikerar att erosion kommer uppstå och tvärt om för punkter nedanför den heldragna linjen (ibid.).

2.2 VATTNETS HASTIGHET

Vattnets hastighet kan bestämmas på flera olika sätt. Antingen genom beräkningar eller med ett digitalt modelleringsverktyg. Det finns många olika men ett program som kan simulera vattnets hastighet är HEC-RAS.

2.2.1 HEC-RAS

HEC-RAS är ett modelleringsprogram som möjliggör för användaren att bland annat simulera vattnets hastighet och skjuvspänningen längs botten genom olika tvärsektioner. Flödena kan vara både endimensionella och tvådimensionella samt konstanta eller varierande. Det är ett verktyg som erhålls från US Army Corps of Engineers (US Army Corps of Engineers u.å.).

2.2.2 Mannings formel

Mannings formel används för att uppskatta vattnets hastighet genom ett vattendrag (Nationalencyklopedin 2023b). I denna rapport användes formeln i stället för att uppskatta vattnets hastighet genom en damm som har relativt låg vattenföring. Mannings formel kan uttryckas på två olika sätt antingen för att ta fram vattenföringen (Svenskt Vatten 2016), se ekvation 5

$$q = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{S_0}}{n} \quad (5)$$

där q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) är vattenföringen, A (m^2) är arean av tvärsektionen, R (m) är den hydrauliska radien, n ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$) är Mannings tal och S_0 (m m^{-1}) är lutningen på botten. För att ta fram hastigheten kan ekvation 6 användas (Nationalencyklopedin 2023b)

$$V = \frac{R^{2/3} \cdot S_0^{1/2}}{n} \quad (6)$$

där V (m s^{-1}) är vattnets hastighet. Förutsättningar för att använda Mannings formel är dock att djupet och dimensionerna är samma för hela den del som hastigheten ska beräknas för (Svenskt Vatten 2016).

Mannings tal är en koefficient som bland annat motsvarar markens grovhet och motstånd för vattenföringen. Koefficienten kan anta olika värden beroende på vad det är för typ av jordart och markvegetation. För att bestämma Mannings tal kan ekvation 7 användas (Arcement & Schneider 1989).

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (7)$$

De olika parametrarna representerar olika förhållanden som kan påverka Mannings tal, se tabell 1.

Tabell 1: Tabell över vad de olika parametrarna som utgör Mannings tal representerar

Parameter	Betydelse
n_b	Basvärde för alla vattendrag som är relativt släta, raka och uniforma.
n_1	Korrektionsterm för ojämnheter vid ytan
n_2	Värde som tar hänsyn till tvärsektionens ojämnheter
n_3	Värde som motsvarar dem hinder som kan finnas i vattendraget
n_4	Värde som motsvarar vegetation och flödesförhållanden
m	Korrektionsfaktor för eventuellt slingrande av vattendraget

Värdena som varje koefficient kan anta finns listade i tabell 1 och 2 i Arcment och Schneiders (1989) rapport som förklarar hur parametrarna till Mannings tal kan väljas.

2.3 DIMENSIONERING IDAG

Trafikverket har upprättat en vägledning som förklarar när erosionsskydd kan anses vara nödvändigt att använda. Den beskriver även vilka parametrar det är som avgör vad för typ av erosionsskydd det bör vara. Det är ingen lag på att det som står där måste följas men det är en vägledning som används i stor utsträckning idag.

Inledningsvis så menar de att där det finns ett ytvattenflöde i en slänt anses det vara nödvändigt att anlägga ett erosionsskydd (Trafikverket 2022). För denna typ av vattenföring kan erosionsskydd av växter vara ett alternativ. När erosionsskyddet ska utformas är det viktigt att det görs med följande parametrar i beaktning, jordart, klimatzon, vattenföringens storlek, grundvattenytans nivå samt släntens lutning och höjd. Vad gäller jordart får växtlighet inte användas som det enda erosionsskyddet om jordarten tillhör tjälfarlighetsklass 4 (ibid.). Jordarter som hör till denna klassificering är finkorniga jordar som har lätt för att fyllas med vatten tack vare dess kapillära krafter men jordarten kan tömmas på vatten lika fort. En typisk jordart för denna klassificering är siltrik jord (Larsson 2007). Växtlighet får inte heller användas som det enda erosionsskyddet om släntlutningen är brantare än 1:1,5. Skulle lutningen vara flackare är det ändå inte säkert att växtlighet kan användas som erosionsskydd då medelhastigheten på vattnet spelar roll för avgörandet av erosionsskydd (Trafikverket 2022).

3 MATERIAL OCH METOD

Metoden har utgjorts av en litteraturstudie som efterföljts av beräkningar och modellering i HEC-RAS. För att besvara frågeställningarna önskades det av litteraturstudien finna svar på följande frågor:

- Hur ser vattnets hastighetsfördelning ut i en damm?
- Hur kan hastigheten beräknas?
- Vilken typ av erosionsskydd kan användas?
- Hur går det att avgöra behovet av erosionsskydd?

Från litteraturstudien kunde en beräkningsmetod tas fram för att bestämma vattnets hastighet genom en damm med hjälp av Mannings formel. För att bedöma dess trovärdighet togs hastigheten även fram med modelleringsprogrammet HEC-RAS och jämfördes mot de beräknade värdena.

För att genomföra modelleringen av hastigheten genom en damm användes ett redan befintligt projekt som exempel. Först beräknades Mannings tal för platsen. Därefter kunde vattnets hastighet samt skjuvspänningen simuleras i HEC-RAS med hjälp av data över vattenföringen in till dammen. Skjuvspänningen simulerades då det var en parameter som under litteraturstudiens gång framkom som intressant att studera gällande erosionsskydd.

Slutligen kunde det med hjälp av litteraturstudien tas fram en tabell som beskrev olika erosionsskydd och deras gränsvärden. Resultatet från simuleringen i HEC-RAS användes tillsammans med denna tabell som underlag för att avgöra ett lämpligt erosionsskydd att anlägga i den damm som hastigheten hade tagits fram för.

3.1 LITTERATURSTUDIE

Arbetet inleddes med en litteraturstudie. Litteraturstudien bestod både av att granska litteratur erhållen från kunniga och verksamma personer inom området och att genomföra egna sökningar med passande sökord. Följande listas några av de vanligaste som användes:

Water
Pond
Flow
Erosion
Distribution
Retention
Dam
Velocity
Shear stress

Den erhållna litteraturen bestod främst av manualer och rapporter, både på svenska och engelska medan litteraturen som kunde erhållas från litteratursökning även innehöll vetenskapliga artiklar. De sökmotorer som användes var Google, Google Scholar, Web of Science och Libris. Web of Science är en sökmotor som samlar vetenskapliga artiklar som alla är citerade publikationer från olika databaser (Uppsala universitet u.å.). Libris är en hemsida som motsvarar Sveriges bibliotekskatalog. All litteratur som finns tillgänglig för lån inom Sverige går att finna via denna sökmotor (Kungliga biblioteket u.å.).

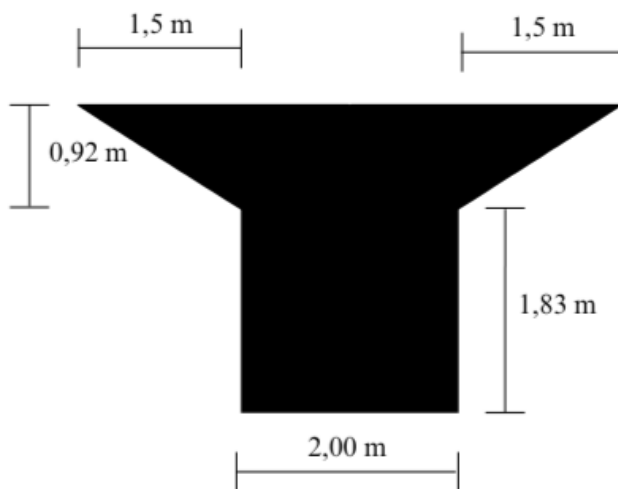
3.2 PLASTBESKRIVNING OCH DIMENSIONER FÖR DAMMEN

I Stockholm håller det just nu på att anläggas en damm. Denna kommer att användas som exempel i detta arbete. Dammens syfte är att fungera som en fördröjningsdamm. Den kommer stå torr i perioder för att sedan fyllas upp i perioder med större avrinning. Området där dammen placeras består till största del av lera i dalgångarna och fast morän samt berg på de högre höjderna. Förutsättningarna som ska gälla i dammen presenteras i tabell 2.

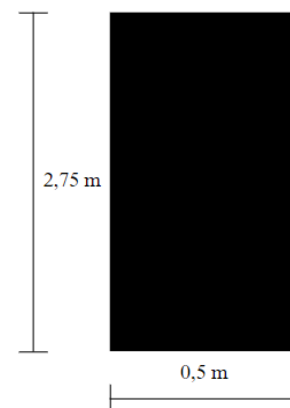
Tabell 2: Dimensioner för dammens storlek och position

Längd (m)	Uppströms (m ö. h.)	Nedströms (m ö. h.)
184	5,73	5,55

Dimensionerna för dammens tvärsektioner samt in- och utlopp visas i figur 2a, 2b och 3.

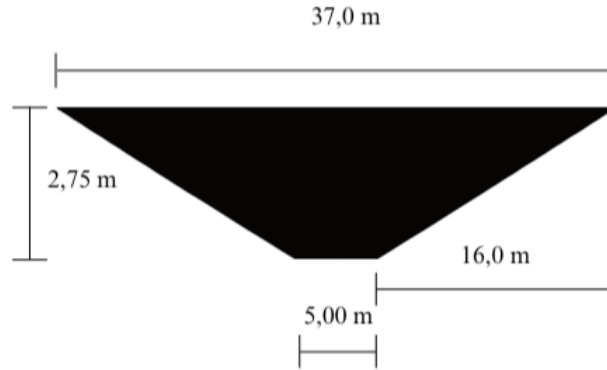


(a) Tvärsektionen för dammens inlopp



(b) Tvärsektionen för dammens utlopp

Figur 2: Schematiskt skapade bilder för att illustrera dammens dimensioner för in- och utlopp



Figur 3: Tvärsektion för dammens fulla bredd

Tvärsektionen för dammen erhöles från vad den riktiga dammens tvärsektion är men tvärsektionen för inloppet och utloppet har valts för att kunna genomföra modelleringen i HEC-RAS. Utloppets tvärsektion är mycket smalare än vad inloppet var. Detta är för att motsvara ett så kallat strypt utlopp som ofta används i fördröjningsdammar när syftet är att vattnet ska uppehållas i dammen under en tid. Med dessa mått på dammen kommer släntlutningen att bli 1,0:5,8.

3.3 BERÄKNING AV HASTIGHET

För beräkning av hastigheten genom dammen användes Mannings formel. Först togs Mannings tal fram som är en av inparametrarna både i Mannings formel samt i HEC-RAS. Därefter kunde den hydrauliska radien beräknas genom att använda flertalet av de ekvationer som presenteras i avsnitt 3.3.2. För att genomföra detta användes data över vattenföringen in till dammen q , som var känt. Slutligen kunde Mannings hastighet beräknas med ekvation 6.

3.3.1 Mannings tal

För att bestämma värdet på Mannings tal användes ekvation 7. För att använda ekvationen behövde de olika inparametrarna fastställas. Det genomfördes med hjälp av tabell 1 och 2 från Arcment och Schniders (1989) rapport. Värdet som fastställdes för varje inparameter som motiveringen till detta visas i tabell 3

Tabell 3: Tabell över vad de olika parametrarna som utgör Mannings tal representerar

Parameter	Värde	Channel condition	Motivering
n_b	0,012	Sand	Var det som hade lägsta kornstorlek, lera har egentligen ännu lägre ¹
n_1	0,00	Smooth	Lerigt material med slät yta
n_2	0,00	Gradual	Samma form genom hela dammen
n_3	0,002	Negligible	Kan möjligtvis finnas något hinder i tvärsektionen
n_4	0,005	Small	Från början planeras ingen vegetation i vattnet
m	1,00	Minor	Ingen meandering förväntas eftersom det är en rak dam

Värdet på Mannings tal (n) som beräknades med ekvation 7 och samtliga inparamterar i tabell 3 blev 0,019. Detta var alltså värdet som sedan användes i både Mannings formel och HEC-RAS.

3.3.2 Mannings hastighet

För att beräkna Mannings hastighet med ekvation 6 behövde den hydrauliska radien först tas fram då denna parameter är den enda som är okänd in den ekvationen. Genom att utnyttja de trigonometriska sambanden som råder i dammen kunde den hydrauliska radien beräknas och slutligen även hastigheten.

Genom att använda ekvation 5, som egentligen beräknar vattenföringen q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), kan den hydrauliska radien i stället beräknas. Eftersom vattenföringen in till dammen, bottenlutningen, och Mannings tal är kända parametrar är det bara den hydrauliska radien som är okänd. I ekvation 8 visas uttrycket för den hydrauliska radien

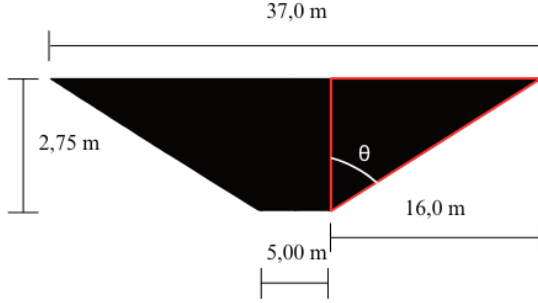
$$R = \frac{A}{P} \quad (8)$$

R är den hydrauliska radien (m), A är arean av tvärsektionen (m^2) och P är längden av den våta perimetern (m). R kan alltså ersättas av parametrarna A och P i ekvation 5. Resultatet av detta visas i ekvation 9

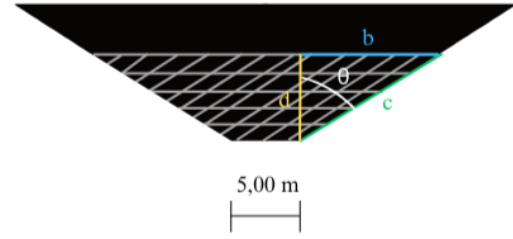
¹Lera har en kornstorlek på cirka 0,063 mm i diameter (Benson & Dalrymple 1967)

$$q = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \cdot M \cdot \sqrt{S_0} \quad (9)$$

Eftersom vattennivån i dammen varierar beroende på vad vattenföringen är kommer även den hydrauliska radien att göra det. Hur djupet av dammen och den våta perimetern förhåller sig till varandra visas i figur 4a och figur 4b.



(a) Slänthlutningens vinkel θ



(b) Uppdelning av tvärsektionen med hjälp av flertalet parametrar

Figur 4: Förhållandet mellan djupet av dammen och den våta perimetern beroende av slänthlutningen för dammens tvärsektion

I figur 4b motsvarar den sträckade ytan den area som upptas av vattnet vid vattenföring q . Figuren visar även vilka sträckor som utgör vinkeln theta, θ . Djupet i dammen, d , ökar respektive minskar beroende på om vattenföringen är hög eller låg. Hur dessa parametrar hänger ihop kan sammanfattas med ekvation 10 och 11

$$d = \cos(\theta) \cdot c \quad (10)$$

$$b = \tan(\theta) \cdot d = \tan(\theta) \cdot \cos(\theta) \cdot c \quad (11)$$

där d motsvarar vattendjupet (m), c är längden den våta perimetern i slanten (m), b är bredden (m) som vattnet upptar vid ett visst djup och $\tan(\theta)$ är $16/2,75$ (θ kommer inte förändras beroende på vad vattenföringen är så vinkeln kan därmed beräknas trots att vattenföringen är okänd). Med hjälp av förhållandet mellan dessa parametrar kan arean och den våta perimetern beräknas med ekvation 12 respektive 13.

$$A = d(5 + b) = 5 \cdot c \cdot \cos(\theta) + \frac{16 \cdot \cos^2(\theta) \cdot c^2}{2,75} \quad (12)$$

$$P = 2 \cdot c + 5 \quad (13)$$

Om uttrycket för arean och den våta perimetern sätts in i ekvation 9 erhålls ekvation 14.

$$q = \frac{(5 \cdot c \cdot \cos(\theta) + \frac{16 \cdot \cos^2(\theta) \cdot c^2}{2,75})^{5/3}}{(2 \cdot c + 5)^{2/3}} \cdot \frac{1}{n} \cdot \sqrt{S_0} \quad (14)$$

Eftersom S_0 , n och θ är kända parametrar, se tabell 4, kommer c vara den enda okända parametern när värdet på vattenföringen (q) sätts in i ekvationen. Om c sedan sätts in i ekvation 12 och ekvation 13 erhålls det hur stor del av dammens tvärsektion som fylls av vatten samt hur lång den våta perimetern är. När A och P är kända kommer den hydrauliska radien kunna beräknas med ekvation 8 och slutligen kan ekvation 6 användas för att beräkna vilken hastighet som vattnet kommer ha genom dammen.

Tabell 4: Parametrar för beräkning av konstant c

Parameter	Värde
θ	$\tan^{-1}(\frac{16}{2,75})$ ($^{\circ}$)
n	0,019 ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$)
S_0	$\frac{0,18}{184}$ (m m^{-1})

3.4 HEC-RAS

3.4.1 Principerna bakom programmet

I HEC-RAS genomfördes modelleringen genom att simulera ett endimensionellt ojämnt flöde. Programmet genomför detta med hjälp av lagen om rörelsemängdens bevarande samt lagen om bevarandet av massa. Två ekvationer kan uttryckas för att förklara dessa principer. I ekvation 15 beskrivs bevarandet av massa.

$$\frac{\delta A_T}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = q_t \quad (15)$$

$\frac{\delta A_T}{\delta t}$ motsvarar förändringen av tvärsnittsarean som upptas av vattenföringen över tid, derivatan av $\frac{\delta Q}{\delta x}$ är förändringen av vattenföringen över avståndet i x-led (alltså från inloppet till utloppet) och q_t är det laterala flödet per enhetslängd (USACE 2024b). Ekvationen för rörelsemängdens bevarande uttrycks enligt ekvation 16

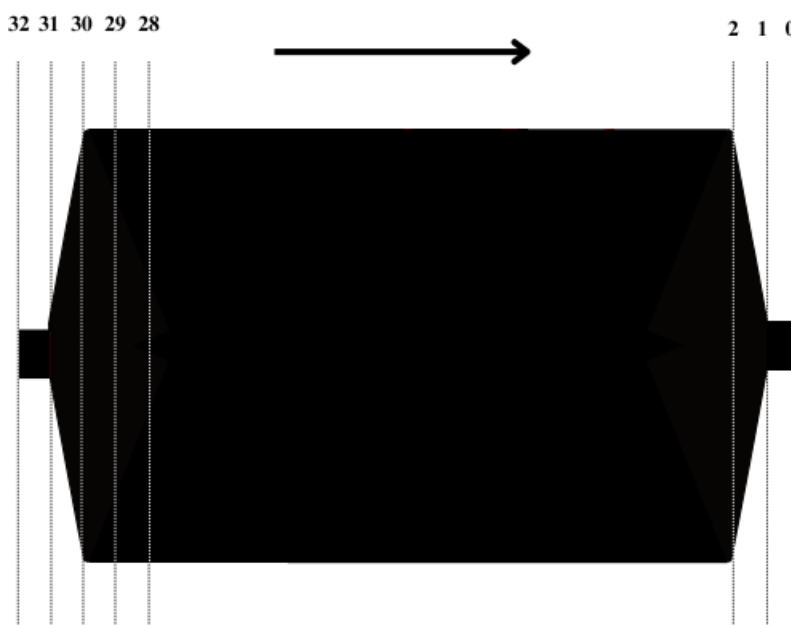
$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta(QV)}{\delta x} + gA\left(\frac{\delta z_s}{\delta x} + S_f\right) = 0 \quad (16)$$

där $\frac{\delta Q}{\delta t}$ är förändringen av flödet över tid, derivatan av $\frac{\delta(QV)}{\delta x}$ är förändringen av flödet multiplicerat med hastigheten över avståndet i x-led, g motsvarar tyngdaccelerationen, A är arean som flödet upptar, derivatan av $\frac{\delta z_s}{\delta x}$ är förändringen av vattenytans lutning och S_f är bottenlutningen (USACE 2024d).

Dessa två ekvationer appliceras i programmet och då kan hastigheten och andra parametrar beräknas. När principen om bevarandet av massa appliceras antas det att om den massa som kommer in i dammen är större än den massa som flödar ut ur dammen kommer tvärsnittsarean som vattnet upptar i dammen att öka. Bevarande av rörelsemängden fungera så att om det finns yttre krafter som verkar på en volym kommer rörelsemängden att öka lika mycket som de samlade krafterna tillsammans verkar på volymen (USACE 2024a).

3.4.2 Modelleringen

Dammens totala längd var 184 m lång så den delades upp i 30 sektioner, vilket resulterade i 31 tvärsektioner, som vardera var 6,13 m lång. En sektion för inloppet samt en sektion för utloppet adderades också för att kunna simulera vattenföringen in och ut från dammen bättre. Det totala antalet tvärsektioner för hela modelleringen blev då 33 st. Dammens utformning sett ovanifrån med de olika tvärsektionerna visas i figur 5. De första samt sista tvärsektionerna finns utritade i figuren och riktningen för vattenföringen genom dammen visas av pilen.



Figur 5: Skiss över dammen och dess tvärsektion sett ovanifrån

Lutningen för varje sektion beräknades genom att ta den totala höjdskillnaden för hela dammen och dividera med dess längd för att sedan multiplicera det med längden av en sektion, se ekvation 17.

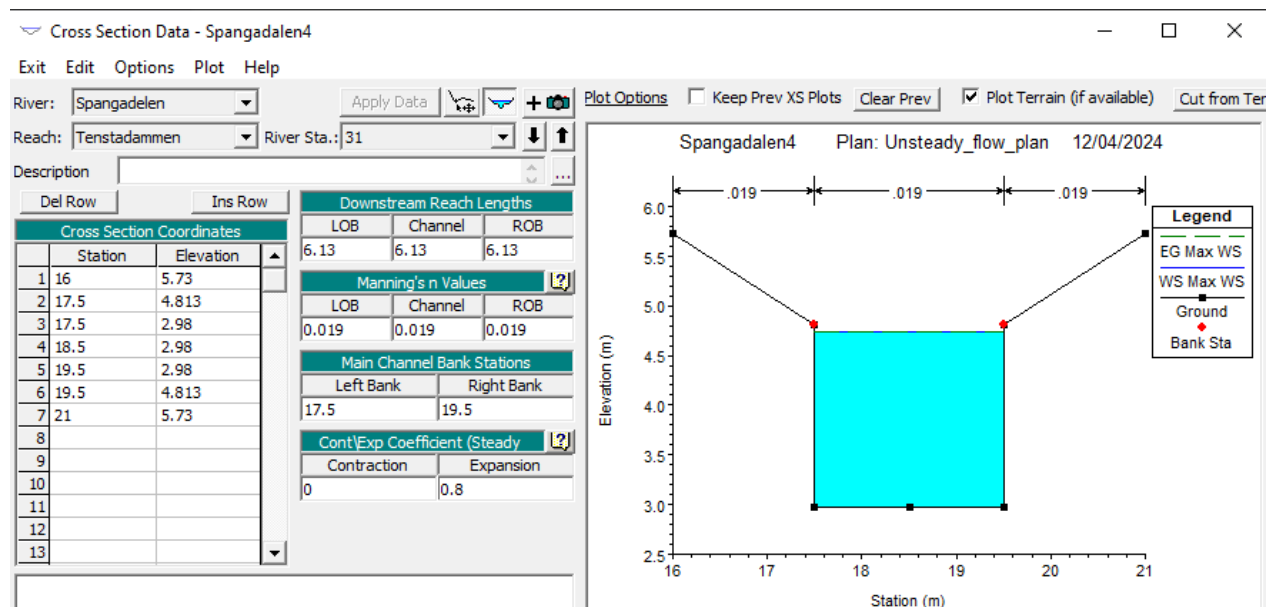
$$\frac{5,73 - 5,55}{184} \cdot 6,13 = 9,78 \cdot 10^{-4} \quad (17)$$

Lutningen för varje sektion är alltså $9,78 \cdot 10^{-4} \text{ (mm}^{-1}\text{)}$ vilket användes för att beräkna höjddatan för varje tvärsektion.

I HEC-RAS inleddes modelleringen med att dammens räckvidd ritades ut med verktyget "River reach" vilket behövde göras för att sedan kunna skapa de olika tvärsektionerna. Varje tvärsektion namngavs genom "River station". I HEC-RAS så ska den tvärsektion, alltså "River station", som ligger belägen längst uppströms få det högsta värdet av alla "River stations" och varje efterföljande tvärsektion ska få ett lägre värde.

Inloppets första och andra tvärsektion angavs utefter dimensionerna som visas i figur 2a och fick värdena 32 och 31. "Elevation" för tvärsektion 31 fick uppströmsvärdet 5,73, som finns listat i tabell 2. För varje tvärsektion som adderades nedströms så minskade värdet på

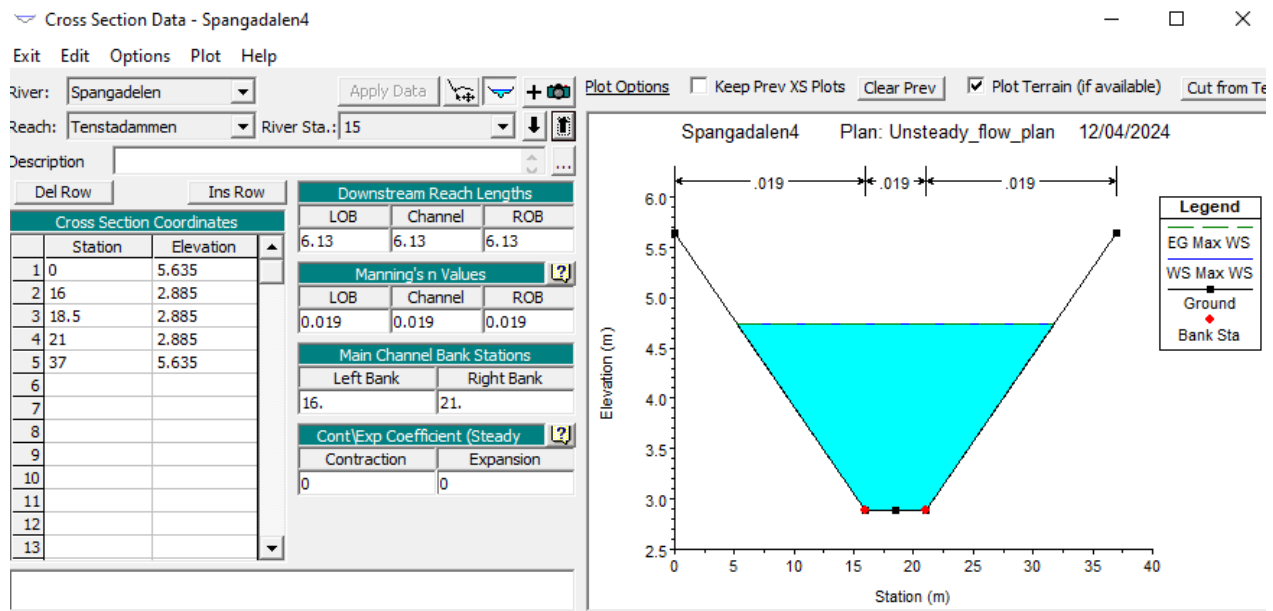
höjden med värdet för lutningen, alltså $9,78 \cdot 10^{-4}$. Tvärsektion 30 är den första som utgörs av dammens fullständiga bredd och är mycket bredare än tidigare tvärsektion, se figur 3. En sådan drastisk förändring i bredd tas hänsyn till i HEC-RAS med verktyget "Expansion" som då sattes till 0,8. Detta värde valdes utifrån riktlinjer som fanns listade i tabell 3-3 i HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, Energy Coefficients (USACE 2024c). Mannings tal sattes till det beräknade värdet 0,019. Figur 6 visar ett exempel på hur fönstret för dimensioneringen av inloppets tvärsektion såg ut.



Figur 6: Bild över hur tvärsektion 31, alltså inloppet, har angivits. Bottennivån är belägen 2,98 m ö. h.

Detta är inloppets andra tvärsektion. Den första hade samma dimensioner bara att expansion var satt till 0,0 då ingen förändring i bredd skedde mellan inloppets första tvärsektion, 32, och denna.

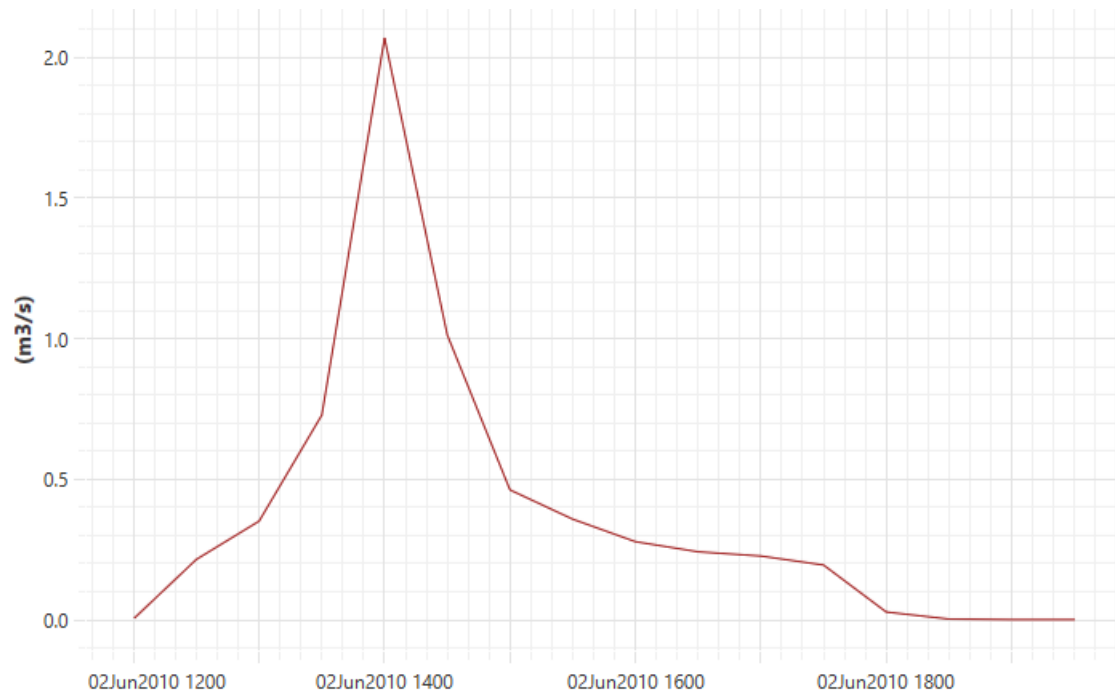
Tvärsektionerna 30 till 2 fick sedan de dimensioner som visas i figur 3. Eftersom varje efterföljande sektion från 30 ända ner till 2 hade samma bredd sattes värdet på "Expansion" till 0.0, i stället för 0,8, för samtliga tvärsektioner. Se figur 7 för ett exempel på hur en tvärsektion för dammen kunde se ut. Det enda som skiljer tvärsektion 30 till och med 2 är att "Elevation" har minskat.



Figur 7: Bild över hur tvärsektion 30 har angivits i HEC-RAS

För tvärsektion 2 ändrades dock "Contraction" till 0,6 då dammens bredd minskades inför den sista tvärsektionen för att efterlikna ett strypt utlopp, alltså ett utlopp som är väldigt smalt i förhållande till själva dammens bredd.

För att slutligen kunna köra programmet genom dammen så erhöles data för vattenföringen som användes för att simulera vattnets hastighet och skjuvspänning. Datan skulle efterlikna ett 30 års regn som avrinner till dammen och där vattenföringen (q) varierar (ett ojämnt flöde). Det innebär att vattenföringen inte är konstant över tid. Datan lades in med verktyget "Unsteady Flow Data". I det fönstret valdes sedan alternativet "Flow Hydrograph" där värdena för vattenföringen vid olika tidpunkter kunde skrivas in. Ett minimumvärde sattes till $0.001 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ då programmet inte gick att köra om vattenföringen var noll. Värden bland den erhållna datan ändrades också till 0,001 innan de skrevs in. En graf över hur vattenföringen varierade över tid plottades och presenteras i figur 8.



Figur 8: Vattenföringen in till dammen vid olika tidpunkter

"Fixed start time" sattes till 2 juni 2010 12:00. När alla parametrar var inställda utifrån hur dammen förväntades se ut kunde hastigheten simuleras med verktyget "Unsteady Flow Analysis". Intervallet för hur ofta data skulle simuleras sattes till var 20:e minut från 12:00 till 19:30. Resultatet av simuleringen presenteras i avsnitt 4.3.

4 RESULTAT

Resultatet består av tre delar, fynd från litteraturstudien, vattnets hastighet beräknat med Mannings formel och resultatet från modelleringen i HEC-RAS.

4.1 LITTERATURSTUDIE

Något som uppkom flertalet gånger under studiens gång är hur en damm kan konstrueras på ett sätt för att minska risken för att erosion ens uppstår. Faktorer att ta i beaktning vid projektering av en damm för att minska risken för erosion valdes att tas med och presenteras i rapporten, se avsnitt 4.1.1, trots att det inte är ett direkt svar på någon frågeställning.

Några olika typer av erosionsskydd samt deras fördelar och nackdelar presenteras. Det har även kunnat tas fram en tabell som listar olika erosionsskydd samt deras gränsvärden för vad de påstås klara av att stå emot. Utöver detta var det svårt att finna ett svar på hur erosionsskydd kan dimensioneras. Det framkom flertalet gånger att det inte finns några tydliga anvisningar vad gäller dimensionering av erosionsskydd, Johansson (2003) nämner bland annat detta. Det var också något som upptäckts i och med litteraturstudien vilket försvårat möjligheten att besvara den andra frågeställningen om hur erosionsskydd kan dimensioneras. Det som kunnat sammanställas om just erosionsskydd presenteras i avsnitt 4.1.2

Det finns en del kartläggning kring vattnets hastighetsfördelning genom en damm och även hur växtlighet och vinden kan påverka detta. Det ger en förklaring till varför det kan vara svårt att beräkna hastigheten genom en damm. Detta presenteras i avsnitt 4.1.3

Vid granskning av litteratur var det Mannings formel som framkom flera gånger som ett sätt att beräkna hastigheten i ett vattendrag. Detta antogs kunna användas för att beräkna hastigheten i en damm vilket har genomförts och presenteras i avsnitt 4.2.

Gällande just erosionsskydd gjordes fynd som ledde till att även skjuvspänningen ansågs vara av intresse att simulera i HEC-RAS. Även den är en parameter som kan tas i beaktning för att avgöra vilket erosionsskydd som ska väljas. Denna parameter erhålls samtidigt som vattnets hastighet fås så det behövs inte göras någon ytterligare modellering i HEC-RAS utöver den som genomförs för att erhålla vattnets hastighet. Resultatet för skjuvspänningen presenteras under modelleringsavsnittet, 4.3, tillsammans med resultatet av den simulerade hastigheten.

4.1.1 Faktorer som påverkar hur en damm bör dimensioneras

Dammar kan utformas på olika sätt. De kan vara helt runda eller ovala, ha en rektangulär botten eller en med branta slänter. En damm kan dimensioneras på ett sådant sätt att risken för att erosion uppstår minskar. För att konstruera en damm på ett sådant erosionsförebyggande sätt är det flera parametrar som kan behöva tas i beaktning, bland annat utformningen och platsen där dammen placeras (IECA 2008).

Tvärnitt av dammen

Den vanligaste tvärnittet en damm brukar vara i formen av en parallelltrapets. För detta finns riktlinjer om släntlutning och längden av slänten för att minska risken för att erosion uppstår. Dammar och vattendrag kan dock anläggas där tvärnittet har en annan form. Ett exempel är att den har en två-steps design, där det finns två olika nivåer för botten, se figur 9 för exempel på utformningen av en sådan tvärsektion (Rowinski et al. 2018).



Figur 9: Tvärsektionen för en två-steps design av en damm

Vid låg vattenföring kommer vatten endast flöda i mittendelen av tvärnittet men när det är högt kommer vattennivån att stiga och täcka den andra nivån. Denna nivå kan fördelaktigt utgöras av vegetation då den inte kommer vara täckt av vatten hela tiden. Detta skapar goda förhållanden för att växterna ska trivas men även ett naturligt erosionsskydd. Fördelen med denna typ av design i ett vattendrag är att det alltid kommer finnas ett flöde eftersom mittendelen är relativt smal i förhållande till hela bredden. En nackdel med denna typ av utformning är att en större mängd jord kommer behöva schaktas bort vilket kan bli kostsamt. Vid anläggning av en damm med denna utformning kommer det krävas en större investering. Men sett över tiden påstås det att en damm med två-steps design blir billigare då livslängden förväntas tredubblas (ibid.).

Utformning

Vad gäller dammens hydrauliska effektivitet så är det bättre om dammen är lång i förhållanden till hur bred den är (Lundström et al. 2008). En god hydraulisk effektivitet betyder att vattenföringen genom dammen är jämnt fördelad och hastigheten genom dammen är samma i princip nästan överallt (Blecken et al. 2017). I dammar vars syfte är att rena vattnet är sedimentation viktigt. För att uppnå detta anläggs ofta djupzoner i dammen för att minska vattnets hastighet och på så sätt tillåta de lösta partiklarna att sedimentera ner till botten. Dammar med mycket sediment på botten behöver underhållas för att de inte ska växa igen. En fördel med en långsmal damm är att den är lättare att underhålla. Det kan räcka med att en grävmaskin placeras på kanten av dammen för nå att rensa botten och slänterna. Det behövs alltså ingen ytterligare åtgärd som riskerar att störa marken ännu mer för att dammen

ska kunna rensas (Andersson et al. 2013).

Släntlutning

För att minska risken för att slänterna ska rasa in bör deras lutning anpassas utefter vilken jordart det är. Vissa jordarter är stabilare och slänten kan då ha en brantare lutning. I tabell 5 presenteras riktvärden för vilken släntlutning det bör vara i olika jordarter.

Tabell 5: Släntlutning för stabil slänt (Heeb et al. 2018)

Jordart	Släntlutning
Torvjord	1:0-1:1,05
Morän, fast mo, fast grus	1:0,5-1:1,0
Lös dyjord, styv lera	1:1,0-1:1,5
Mulljord, sandblandad lera, sand	1:1,5-1:2,0

Dessa gränsvärden gäller dock för diken och avser var den stabila gränsen går. Oftast så anläggs dammar med en flackare lutning på slänterna för att vara på den säkra sidan. Oavsett så bör dessa värden inte överskridas.

Placering av inlopp och utlopp

Gällande inloppet och utloppet finns det rekommendationer för hur dessa ska placeras. Inlopp och utlopp för en damm löper större risk för erosion då dimensionerna ofta ändrats drastiskt vilket kan påverka hastigheten. För att minska risken för erosion vid just inloppet till dammen är det fördelaktigt om det placeras under vattenytan då energin från inflödet bromsas upp av vattnet som redan är i dammen (Ballard et al. 2015).

Val av plats

Det är inte enbart dammens utformning som spelar roll utan även hur omgivningen ser ut där dammen placeras. Vad gäller platsen så är det bland annat vegetationen, topografin, vattnet i området samt jordarten som spelar en avgörande faktor för om erosion uppstår eller inte (IECA 2008). Om vattenföringen till en damm innehåller mycket löst sediment kan turbulensen komma att minska och då även den eroderande kraften. Det kan också bli tvärtom då mer löst sediment kan slita på botten och därmed riva upp ännu mer. Avrinningen i ett område bidrar till vattenföringen i en damm och är det högt kommer vattnets hastighet att öka och därmed risken för erosion (Fischenich 2001). Markanvändningen i ett område påverkar hur stor avrinningen blir (Lundström et al. 2008). I en jämförelse mellan skogsmarker och trädlösa markområden kunde en skillnad mellan mängden vatten som avrinner ses 10–40 gånger mindre vatten avrinner i skogsmarksområden eftersom träden binder upp vattnet (Degerman & Schreiber 2008). Att plantera träd nära en slänt bör dock göras med försiktighet. Även om rötterna kan binda upp vatten och stabilisera marken finns det en risk att om trädet dör så skapas ett hålrum i marken som rötter en gång fyllde. Vatten kan rinna genom detta

hålrum och börja erodera inifrån utan att det syns utåt (Charman et al. 2001).

4.1.2 Erosionsskydd

Om det finns en risk att erosion sker bör ett erosionsskydd användas. Det finns flera olika typer av erosionsskydd. Dessa kan delas in i mjuka och hårda. Mjuka erosionsskydd är de som består av någon typ av växtlighet för att utgöra ett eroderande skydd. Till hårda erosionsskydd hör betong, krossmaterial och liknande alternativ, alltså de som inte består av växtlighet (Roupé 2021; Danielsson et al. 2016).

Mjuka erosionsskydd

Vegetation är en typ av erosionsskydd som har flera fördelar, bland annat att det bidrar till att utöka biodiversiteten i området (Rowinski et al. 2018). När det anläggs i en damm fungerar det som ett skydd mellan botten och vattnet då hastigheten minskar på grund av växtlighetens motstånd och en lägre hastighet leder till att vattnets eroderande kraft minskar (Fischenich 2001; Andersson et al. 2013). Andra fördelar är att dess rötter stabiliserar marken genom att de sprider ut sig och binder upp vatten. Det finns dock nackdelar och det är att växtlighet kräver mer underhåll samt att det kan ta lång tid innan den skyddande effekten mot erosion uppnås (Johansson 2003). Men dessa typer av erosionsskydd kan fortsätta att förbättras över tid vilket resulterar i att deras förmåga att motstå erosion till och med kan anses vara bättre än hårda erosionsskydd (Evette et al. 2009).

För att anläggningen av växtlighet som erosionsskydd ska bli så lyckad som möjligt, alltså att den slår rot och växer sig motståndstålighet gällande både erosion och väder, är det viktigt att planteringen sker tidigt på året så växtligheten har flera månader på sig att etablera ett stabilt rotsystem som kan motstå och överleva vintern. Förslagsvis bör planteringen då ske någon gång mellan april och juni, i Sverige alltså (Ballard et al. 2015). Det är att föredra att välja olika typer av växter som har olika lång etableringstid samt olika rotsystem eftersom det tar tid för växtligheten att etablera sig. Ett varierande erosionsskydd som består av flera olika arter är därför bättre (Johansson 2003). Exempel på växter som är passade för erosionsskydd är svärdsilja, kavedun, jättegröe, stor igelknopp och jättestarr. Det viktiga vid val av växtlighet är att det är att det utgörs av arter som redan finns i området. Chansen att växten överlever och växer sig stark på platsen ökar om den redan finns naturligt i området (Degerman & Schreiber 2008). Vegetation som erosionsskydd uppskattas kosta enbart en tiondel av vad hårda erosionsskydd förväntas göra enligt Johansson (2003). Norris et al. (2008) påstår dock att fördelarna med mjuka erosionsskydd väger oftast bara upp nackdelarna, vad gäller kostnad och underhåll, när det handlar om mindre anläggningar (Norris et al. 2008).

Hårda erosionsskydd

Mjuka erosionsskydd användes mycket förr i tiden men i takt med att fossila bränslen slussats in i samhället har det blivit lättare att använda sig av krossmaterial som erosionsskydd. Jämfört med hur det var förr har det även blivit billigare både gällande anläggning av dessa erosionsskydd och vid underhåll av dem. Det är en förklaring till varför de blivit mer populära (Evette et al. 2009). Hårda erosionsskydd är inte bara vara krossmaterial utan det

kan även vara stockar som placeras i vattnet för att minska vattnets hastighet och därmed den eroderande kraften (Degerman & Schreiber 2008).

Gränsvärden för erosionsskydd

I tabell 6 finns olika erosionsskydd listade samt gränsen för vilken skjuvspänningen och vattenhastighet de kan motstå utan att erosion uppstår. Tabellen är utformade utifrån en del av datan som Fischenich (2001) sammanställt i sin rapport. Han listade en mängd olika sorters erosionsskydd och beskrev vilken vattenhastighet samt skjuvspänningen som de skulle klara av att stå emot.

Tabell 6: Olika erosionsskydd och gränser för vilken skjuvspänning och hastighet de kan motstå

Erosionsskydd	Skjuvspänning (N m^{-2})	Hastighet (m s^{-1})
Grass/turf (Gräs)	33,5–177	0,90–2,44
Icke nedbrytbara erosionsmattor (Non-Degradeable mat)	144–383	1,52–6,40
Nedbrytbara erosionsmattor (Degradeable mat)	21,5–108	0,30–2,13
Wattles (Halmrulle)	9,56–47,9	0,91
Reed fascines (Vassknippe)	28,7–59,8	1,52
Coir rolls (Kokosrullar)	143–239	2,44
Vegetated coir mat (Bevuxen kokosmatta)	192–383	2,9
Brush mattress (Grenmadrass)	19,2–393	1,22–3,66
Live fascines (Vass)	59,8–148	1,83–2,44
Willow stakes (Pilpålar)	101–148	0,914–3,05
Gabions (Gabioner)	479	4,27–5,79
Concrete (Betong)	598	>5,49

Denna tabell är tänkt att användas på ett sådant sätt att om skjuvspänningen och/eller vattnets hastighet är kända parametrar kan tabellen användas för att avgöra vilket erosions-skydd som skulle kunna vara lämpligt att anlägga. Genom att matcha hastigheten och/eller skjuvspänningen mot värdena i tabellen kan ett lämpligt erosionsskydd utläsas.

4.1.3 Hastighetsfördelning

Hur vattnet strömmar kan delas in i olika kategorier. För att kunna avgöra om erosion kommer uppstå eller inte är det viktigt att känna till hastighetsfördelningen. I en tvärsektion är den

inte lika genom hela och att veta hur hastighetsfördelningen ser ut är viktigt för att beräkna erosion (Lundström et al. 2008). I en tvärsektion för en damm eller vattendrag är hastigheten som högst i mitten av sektionen. Längs med kanterna och botten är hastigheten lägre på grund av friktion. Hur hastighetsfördelningen ser ut beror även på tvärsektionens utformning. Om det är en djup men smal tvärsektion ser hastighetsfördelningen annorlunda ut i jämförelse mot om dammen är bred och grund. I Vassdragshåndboka (1998), figur 4.25, finns en skiss över hur fördelningen ser ut för två olika tvärsektioner. För en smalare och djupare damm varierar hastigheten i horisontalled mer än vad den gör i en bredare och grundare damm. Att hastigheten varierar i tvärsektionen kompenseras då i stället av vertikala strömmar. Även detta kan göra så att bottenmaterialet eroderar. Det sker främst i hörnen av tvärsektionen. Figur 4.26 i Vassdragshåndboka (1998) visar en bild över hur de vertikala strömmarna kan verka i en tvärsektion (Sæterbø et al. 1998). Strömningen genom en damm sker alltså i alla tre olika riktningar men om detta ska modelleras kan det likställas med en tvådimensionell modell (Persson & Pettersson 2006). En genomsnittlig hastighet för vattnet genom en damm har inte gått att finna men i ett dike kan den antas vara omkring 0.5 m s^{-1} .

Även vegetation kan påverka hur hastighetsfördelningen ser ut. I en studie utförd av Nepf & Vivoni där man observerade hur vattenföringen påverkades av vegetation kunde det observeras att hastighetsfördelningen varierade genom profilen. Vattnet genom växtligheten hade en långsammare hastighet än vattnet ovanför växtligheten där hastigheten ökade för att sedan minska igen desto närmare ytan mätningar utfördes (Nepf & Vivoni 2000).

Vinden kan påverka strömmarna i en damm vilket i sin tur kan leda till ökad risk för erosion. Att beräkna vindens påverkan i en damm är svårt och mer korrekta resultat för hur flödesmönstret i en damm ändras, på grund av vinden, erhålls om fysiska mätningar genomförs. Trots att det kan vara svårt i förväg att bestämma vindens påverkan är det ändå en faktor som bör tas i beaktning menar Kachhwal et al (2011). Även Bentzen et al. (2008) påstår att vindens påverkan vid kartläggning av flödesmönstret genom en damm borde tas i beaktning om det är möjligt. Det behöver dock inte innebära att den kommer ha en sådan påverkan att extra åtgärder för att skydda dammens slänter behöver vidtas (Bentzen et al. 2008).

4.2 BERÄKNING AV HASTIGHET MED MANNINGS FORMEL

Efter simuleringen av hastigheten i HEC-RAS valdes tiderna 12:20 och 15:00 ut då de hastigheterna ansågs vara mest relevanta att analysera, se förklaring i sektion 4.3.1. Vattenföringen vid dessa två tidpunkter presenteras i tabell 7

Tabell 7: Vattenföringen in till dammen vid två olika klockslag

Tid	Vattenföring, q (m s^{-1})
12:20	0,15
15:00	0,46

För att påbörja beräkningen av Mannings hastighet användes först ekvation 14 tillsammans med värdena från tabell 4 och tabell 7 för att bestämma värdet på parametern c för tiderna 12:20 och 15:00. Denna parameter används i ekvation 12 och ekvation 13 för att beräkna A och P . När dessa två parametrar var kända kunde ekvation 8 användas för att beräkna den hydrauliska radien R . Resultatet av dessa beräkningar och värdet på parametrarna visas i tabell 8

Tabell 8: Värde på parametrarna c , A , P och R

Tid	c	A (m ²)	P (m)	R (m)
12:20	0,65	0,63	6,28	0,20
15:00	1,27	1,34	7,53	0,18

Slutligen beräknades vattnets hastighet genom dammen för de två olika tidpunkterna med ekvation 6 och parametrarna i tabell 8. Resultatet presenteras i tabell 9

Tabell 9: Hastigheten genom dammen för två olika tidpunkter

Tid	Hastighet (m s ⁻¹)
12:20	0,56
15:00	0,52

För de olika tidpunkterna antar hastigheten nästan samma värde.

4.3 MODELLERING I HEC-RAS

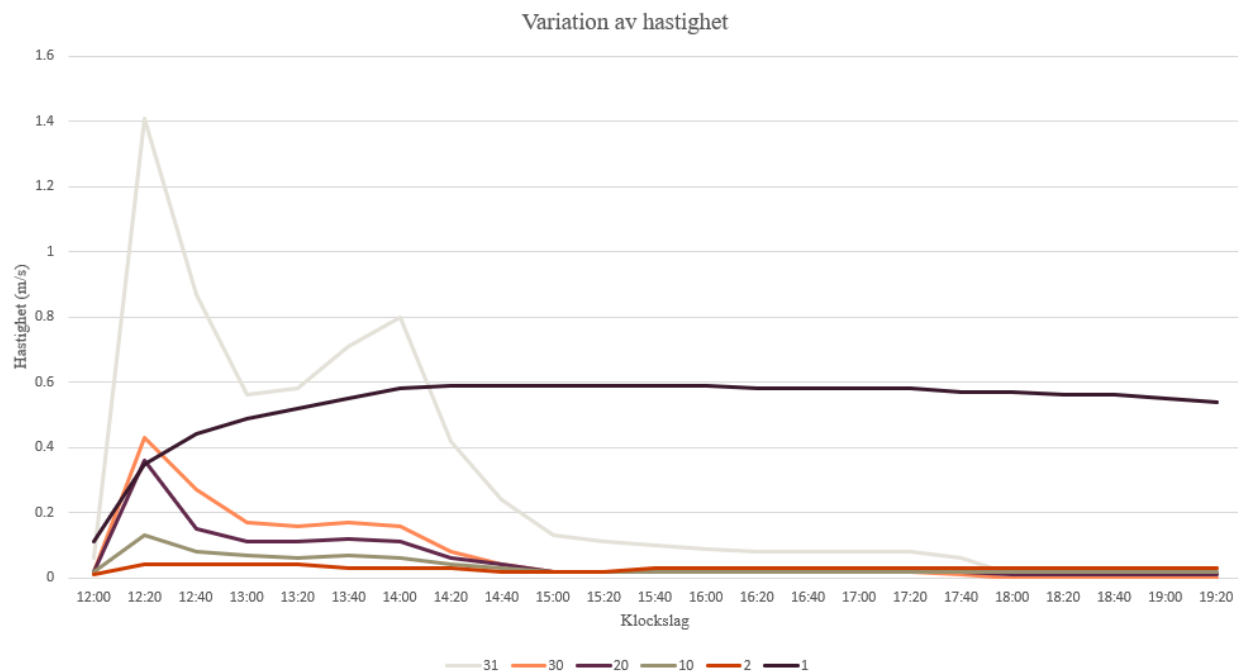
Modellering genomfördes för fördröjningsdammen som ska anläggas i Stockholm och finns beskriven i avsnitt 3.2. Med HEC-RAS kunde vattnets hastighet simuleras. Under projektets gång framkom det som sagt att skjuvspänningen som blir till följd av vattnets hastighet är en parameter som kan användas vid val av erosionsskydd. Denna parameter togs därför också fram med HEC-RAS och presenteras i resultatet.

Data för hastighet och skjuvspänning fanns för var 20:e minut från 12:00 till 19:20. Två klockslag valdes ut för vilka hastigheten och skjuvspänningen togs fram för att presenteras i denna rapport.

4.3.1 Val av klockslag för analys av hastighet och skjuvspänning

I dammen varierade hastigheten med tiden. För att bestämma vilka klockslag som skulle analyseras plottades hastigheten för sex olika tvärsektioner. Resultatet av hur hastigheten

varierar presenteras i figur 10. De sex olika tvärsektionerna representeras av olika färger i figuren.



Figur 10: Schematisk bild av hur hastigheten varierar i sex olika tvärsektioner under en tidsperiod

Tvärsektion 31 har inloppets storlek och tvärsektion 1 har utloppets storlek. Dessa har en mycket smalare bredd än dammen därav kan det ses att hastigheten är högre genom dessa två tvärsektioner. Det går att utläsa att högsta hastigheten i dammen uppnåddes vid tiden 12:20 för samtliga tvärsektioner förutom tvärsektion 1. En annan parameter som studerades för att avgöra vilket ytterligare klockslag som skulle studeras var vattendjupet i dammen. I tabell 10 finns vattendjupet listat för varje klockslag i tvärsektion 15.

Tabell 10: Vattendjupet i sektion 15 för samtliga klockslag

Vattendjup (m)			
Klockslag	Djup	Klockslag	Djup
12:00	0,005	16:00	1,695
12:20	0,085	16:20	1,625
12:40	0,255	16:40	1,555
13:00	0,415	17:00	1,495
13:20	0,625	17:20	1,425
13:40	0,925	17:40	1,345
14:00	1,405	18:00	1,235
14:20	1,725	18:20	1,115
14:40	1,835	18:40	0,995
15:00	1,845	19:00	0,875
15:20	1,815	19:20	0,765
15:40	1,755		

I tabell 10 kan det utläsas att vid tiden 12:20 när vattnets hastighet var som högst var vattennivån nästan lägst. Vattennivån var i stället högst vid 15:00. Dessa två tidpunkter, 12:20 och 15:00, valdes därför ut för att undersöka hur hastigheten och skjuvspänningen varierade genom hela dammen vid dessa klockslag.

4.3.2 Medelhastighet

Vattnets medelhastighet simulerades för samtliga tvärsektioner men det är endast resultat för tvärsektion 30-2 som presenteras i resultatet då det är dessa tvärsektioner som representerar dammen. Tvärsektionerna innan och efter är inloppet respektive utloppet och dessa modellerades enbart för att kunna simulera hastigheten genom dammen men är inga som ska presenteras och granskas. Hastigheten presenteras för tre delar av dammen, den västra slänten (LOB), mittendelen (Channel) och den högra delen (ROB).

I tabell 11 presenteras hastighetsfördelningen genom dammen vid tiden 12:20.

Tabell 11: Hastighetsfördelningen i dammen för tiden 12:20 där hastigheten är angiven i m s^{-1}

MEDELHASTIGHET (m s^{-1})							
Tvärsektion	LOB	Channel	ROB	Tvärsektion	LOB	Channel	ROB
30	0,27	0,43	0,27	15	0,15	0,24	0,15
29	0,27	0,43	0,27	14	0,13	0,22	0,13
28	0,27	0,43	0,27	13	0,12	0,19	0,12
27	0,27	0,43	0,27	12	0,11	0,17	0,11
26	0,26	0,42	0,26	11	0,09	0,15	0,09
25	0,26	0,42	0,26	10	0,08	0,13	0,08
24	0,26	0,41	0,26	9	0,07	0,12	0,07
23	0,25	0,40	0,25	8	0,06	0,10	0,06
22	0,24	0,39	0,24	7	0,06	0,09	0,06
21	0,23	0,38	0,23	6	0,05	0,08	0,05
20	0,22	0,36	0,22	5	0,04	0,07	0,04
19	0,21	0,34	0,21	4	0,03	0,06	0,03
18	0,20	0,32	0,20	3	0,03	0,05	0,03
17	0,18	0,30	0,18	2	0,02	0,04	0,02
16	0,17	0,27	0,17				

Det som visas i tabellen är att hastigheten minskar för varje tvärsektion samt att den är lägre vid slänterna än vad den är i mitten av dammen. I tabell 12 presenteras hastighetsfördelningen i dammen för tiden 15:00.

Tabell 12: Hastighetsfördelningen i tvärsektionerna för tiden 15:00 där hastigheten är angiven i m s^{-1}

MEDELHASTIGHET (m s^{-1})							
Tvärsektion	LOB	Channel	ROB	Tvärsektion	LOB	Channel	ROB
30	0,01	0,02	0,01	15	0,01	0,02	0,01
29	0,01	0,02	0,01	14	0,01	0,02	0,01
28	0,01	0,02	0,01	13	0,02	0,02	0,02
27	0,01	0,02	0,01	12	0,02	0,02	0,02
26	0,01	0,02	0,01	11	0,02	0,02	0,02
25	0,01	0,02	0,01	10	0,02	0,02	0,02
24	0,01	0,02	0,01	9	0,02	0,02	0,02
23	0,01	0,02	0,01	8	0,02	0,02	0,02
22	0,01	0,02	0,01	7	0,02	0,02	0,02
21	0,01	0,02	0,01	6	0,02	0,02	0,02
20	0,01	0,02	0,01	5	0,02	0,02	0,02
19	0,01	0,02	0,01	4	0,02	0,02	0,02
18	0,01	0,02	0,01	3	0,02	0,02	0,02
17	0,01	0,02	0,01	2	0,02	0,02	0,02
16	0,01	0,02	0,01				

För tiden 15:00 antar hastigheten i princip samma värde genom hela dammen från det att vattnet flödar in i dammen tills dess att det lämnar dammen. Likt tiden 12:20 är hastigheten som simulerades för slänterna lägre än den som simulerades för mittensektionen.

4.3.3 Skjuvspänning

När vattnet flödar längs med dammen utsätter det marken för en eroderande kraft. Denna kraft kan mätas som skjuvspänningen. Skjuvspänningen var också en parameter som kunde simuleras i HEC-RAS. Detta gjordes för samma sektioner som hastigheten simulerades för, alltså bara för dammens tvärsektioner och inte inloppet eller utloppets tvärsektioner.

Hur skjuvspänningen förändras längs med dammen för tiden 12:20 presenteras i tabell 13.

Tabell 13: Skjuvspänningen längs i de olika tvärsektionerna i dammen

SKJUVSPÄNNING (N m^{-2})							
Tvärsektion	LOB	Channel	ROB	Tvärsektion	LOB	Channel	ROB
30	0,81	1,65	0,81	15	0,23	0,47	0,23
29	0,82	1,66	0,82	14	0,18	0,37	0,18
28	0,81	1,64	0,81	13	0,14	0,29	0,14
27	0,80	1,62	0,80	12	0,11	0,22	0,11
26	0,78	1,59	0,78	11	0,08	0,17	0,08
25	0,77	1,57	0,77	10	0,06	0,13	0,06
24	0,75	1,51	0,75	9	0,05	0,10	0,05
23	0,71	1,44	0,71	8	0,04	0,07	0,04
22	0,67	1,36	0,67	7	0,03	0,06	0,03
21	0,62	1,25	0,62	6	0,02	0,04	0,02
20	0,55	1,11	0,55	5	0,01	0,03	0,01
19	0,50	1,02	0,50	4	0,01	0,02	0,01
18	0,43	0,88	0,43	3	0,01	0,01	0,01
17	0,36	0,73	0,36	2	0,00	0,01	0,00
16	0,29	0,59	0,29				

Skjuvspänningen är lägre längs med slänterna än vad den är i mitten av dammen samt att den minskar nedströms i dammen. I tabell 14 presenteras fördelningen av skjuvspänningen i dammen när tiden är 15:00.

Tabell 14: Skjuvspänningen längs i de olika tvärsektionerna i dammen

SKJUVSPÄNNING (N m ⁻²)							
Tvärsektion	LOB	Channel	ROB	Tvärsektion	LOB	Channel	ROB
30	0,00	0,00	0,00	15	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	14	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	13	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	12	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	11	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	10	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	9	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	8	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	7	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	6	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	5	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	4	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	3	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00				

För detta klockslag simulerades skjuvspänningen till 0,00 för samtliga delar av dammen. Vattnet verkar alltså med såpass låg kraft på markytan att det inte går att uppmäta någon skjuvspänning.

5 DISKUSSION

5.1 VATTNETS HASTIGHET

I litteraturen som granskades gick det att finna hur hastigheten i en damm kan förväntas variera inom en tvärsektion. I mitten av en tvärsektion är vattenföringen som högst för att sedan minska närmare slänterna och botten. Om dammen är djup och smal kan hastigheten förväntas variera både i horisontalled och vertikalled. Vattnet flödar heller inte i endast en riktning. Det kan bildas sekundära strömmar som verkar vinkelrätt mot den vertikala vattenföringen. Vattenföringen i en damm brukar beskrivas som tredimensionellt och med alla dessa faktorer i åtanke kan det antas att hastigheten som beräknades med Mannings formel inte är så representativ för dammen i verkligheten. Trots detta användes formeln för att beräkna hastigheten och resultatet presenteras i tabell 9. För båda tiderna beräknades hastigheten till nästan samma. Om det inte tas hänsyn till hur hastigheten faktiskt kan variera genom en damm är det rimligt att de beräknade värdena antar nästan samma värde. Eftersom Mannings förutsätter fritt flöde och att dimensionerna är samma kommer förhållandet mellan arean av tvärsektionen och den våta perimetern att korrelera. Om vattenföringen ökar, ökar även den våta perimetern och arean. Den hydrauliska radien förblir därmed oförändrad och likaså hastigheten. Den skillnad som uppvisas i tabell 9 beror på avrundningsfel.

Detta kan jämföras med den simulerade hastigheten från HEC-RAS. För tiden 12:20 erhöles värden på hastigheten som varierade mellan $0,43\text{--}0,04\text{ m s}^{-1}$, se tabell 11, och för tiden 15:00 erhöles en mycket lägre hastighet, $0,02\text{ m s}^{-1}$, se tabell 12. Det båda dessa tider har gemensamt är att det är lägre värden på hastigheten än det som kunde beräknas med Mannings formel. Det värde som troligen inte stämmer är det som beräknats med Mannings formel. Den ekvationen förutsätter som sagt att vattenföringen är konstant samt att dimensionerna för varje tvärsektion är densamma. I själva dammen så stämmer detta men inloppet och utloppet för dammen är betydligt smalare vilket kommer att påverka vattnets hastighet genom dammen. Det som kan ses i tabell 11 är att hastigheten på vattnet minskar. Det är troligen ett resultat av att vattnet bromsas upp på grund av det smala utloppet. När vattnet rör sig genom dammen är det en relativt liten volym men allt närmare utloppet så kommer hastigheten att bromsas upp mer då den mängden vatten som rör sig genom dammen inte kommer kunna lämna den på en gång då utloppet är mycket smalare. Det stoppas upp och då minskar vattnets hastighet och vattennivån stiger. I takt med att vattnet inte kan lämna dammen lika fort och att vattennivån stiger så fylls dammen upp. Detta kommer resultera i att hastigheten kommer minska ytterligare i dammen i takt med att nivån stiger och tvärsnittsarean som dammen tar upp blir bredare. Hastigheten på vattnet fortsätter i stället att minska vilket kan ses i tabell 12 där vattnets hastighet är väldigt låg. Värdena som är simulerade med HEC-RAS kan därmed antas bättre motsvara hur vattnet skulle bete sig i en damm och Mannings formel är inte en så bra metod (för beräkning av hastighet i dammar) då resultaten från de uträkningarna resulterade i väldigt höga värden på hastigheten.

Vid bestämmandet av hastigheten genom en damm får det inte glömmas att det även finns andra faktorer som kan påverka som behöver tas i beaktning bland annat vind och växtlighet.

Hur mycket vinden faktiskt påverkar hastigheten i en damm är väldigt svårt att avgöra. Detta är troligtvis en fråga som är väldigt miljöberoende och varierar mellan dammar. I mindre dammar, som denna rapport berör, så anses det vara låg risk för att vinden ska påverka hastigheten. Växtlighet i en damm fungerar som ett fysiskt hinder och det stannar upp vattenföringen och därmed minskar vattnets hastighet. Att i förväg bestämma vad vattnets hastighet är och hur hastigheten kommer variera och i vilka riktningar kan alltså vara ganska svårt.

5.2 EROSIONSSKYDD

Erosionsskydd kan som sagt delas in som mjuka eller hårda. Vid låga vattenhastigheter finns det ibland ingen anledning till att anlägga hårda erosionsskydd bestående av krossmaterial, som det kan finnas om hastigheterna är höga. De kommer fylla funktionen av att fungera som ett erosionsskydd men de kommer troligen vara dyrare och inte bidra till att den biologiska mångfalden ökar. De kommer heller inte bidra med att utsmycka landskapet vilket är en ytterligare fördel med ett mjukt erosionsskydd. Det har gjorts flertalet studier på hur bra växtlighet fungerar som erosionsskydd och en positiv aspekt som uppkom i flera rapporter var att rötterna från växten stabiliserar marken och gör den tåligare. Som nämnt tidigare fungerar växtlighet även som ett hinder för vattnet och bromsar upp dess hastighet vilket det i sig minskar risken för erosion. I vissa fall finns det alltså ingen mening med att använda krossmaterial. Speciellt inte om hastigheten i en damm förväntas vara väldigt låg och om det är en jordart som är passande för växtlighet att trivas i.

I tabell 6 listats gräs som att kunna motstå en hastighet upp mot 2.44 ms^{-1} . Om detta jämförs med Trafikverkets rekommendationer som menar att krossmaterial bör användas för hastigheter som är lägre än 2.5 ms^{-1} kommer växtlighet aldrig att vara ett lämpligt erosionsskydd, trots att det påstås klara nästan samma hastighet. Riktlinjerna som gäller idag motsvarar inte riktigt den kunskap som faktiskt finns gällande erosionsskydd och borde därför ses över och uppdateras.

Under arbetets gång har även skjuvspänningen kunnat konstateras vara en faktor som kan tas i beaktning. Utöver skjuvspänningen och vattnets hastighet har det varit svårt att finna andra faktorer eller metoder för hur erosionsskydd kan väljas och dimensioneras. Det som framkommit genomgående dock är att det finns många direktiv för hur en damm kan anläggas på ett sådant sätt att risken för att erosion ska uppstå från första början är låg. Vid anläggning av en damm är det därför viktigt att inte enbart lägga fokus på vilka erosionsskydd som bör anläggas utan även hur dammen kan konstrueras erosionsförebyggande. Då kommer behovet av ”starkare” erosionsskydd att minska.

5.3 EROSIONSSKYDD FÖR DAMMEN

I tabell 6 finns olika erosionsskydd listade och vilken skjuvspänning samt hastighet på vattnet som materialet kan motstå. Alla som är listade förutom de två sista består av någon typ av växtlighet. Dessa kan motstå en vattenhastighet upp mot 6.40 ms^{-1} vilket är en väldigt hög hastighet om en jämförelse görs mot medelhastigheten genom ett dike som är

0.5 m s^{-1} . Om hänsyn endast tas till vattnets hastighet och skjuvspänning för att avgöra vilket erosionsskydd som är lämpligast för dammen som studerats i detta arbete skulle det räcka med att endast använda mjuka erosionsskydd då medelhastigheten som beräknades med Manning blev 0.57 m s^{-1} och i HEC-RAS blev den högsta hastigheten 0.43 m s^{-1} . Med avseende på hastigheten så finns det alltså ingen mening med att använda hårda erosionsskydd. Vad gäller skjuvspänningen så var det högsta värdet som kunde uppmätas 1.66 N m^{-2} för tiden 12:20 i tvärsektion 29. Även om skjuvspänningen tas i beaktning skulle det inte behövas krossmaterial som erosionsskydd.

Utifrån att granska värdena för hastigheten och skjuvspänningen och jämföra dessa med tabell 6 finns det alltså ingen anledning till att använda krossmaterial som erosionsskydd. Det skulle räcka med en typ som utgörs av växtlighet. Dock kan det finnas en viss osäkerhet i värdena på hastigheten och skjuvspänningen som har simulerats. Dimensionerna för inloppet och utloppet för dammen erhöles ej utan valdes under modelleringens gång. Inloppet och utloppet storlek påverkar vattenföringen genom dammen och hastigheten skulle alltså kunna anta andra värden än de som tagits fram i denna rapport om inloppet och utloppet i verkligheten kommer anta andra dimensioner. Detta skulle då påverka valet av erosionsskydd. Men hastigheten som beräknades med Mannings formel förutsätter som sagt bland annat fritt flöde och beräknades vara högre än den som simulerades med Mannings formel. Troligen kommer en förändrad dimension på inloppet och utloppet inte resultera i att hastigheten (och heller inte skjuvspänningen) simuleras till att vara högre än den som kunnat beräknas med Mannings formel. Värdena på hastigheten från Mannings formel var såpass låga att det skulle räcka med exempelvis gräs som erosionsskydd om tabell 6 används för att välja ett som är lämpligt.

En risk med växtlighet som erosionsskydd är hur väl de kommer överleva vintern. För att växtligheten ska ha så goda chanser som möjligt att överleva vintern behöver rötterna få tid att etablera sig och det är därmed fördelaktigt om plantorna planteras tidigt på säsongen, exempelvis i april. Även om växterna inte upptar lika mycket vatten under vintern och växer sig större så förblir rotsystemet i marken fortfarande stabiliserande (Rankka 2002). En risk som kan uppstå är dock om isen fryser fast i de delar av växten som är över mark. Vid en plötslig islossning kan växten riskera att ryckas loss och då finns det en större risk för erosion där växten tidigare var placerad (Danielsson et al. 2016). Det finns alltså en viss osäkerhet i att använda växtlighet gällande just hur det kommer fungera under vintertid men det är fortfarande ett alternativ som kan användas.

5.4 OSÄKERHETSANALYS

Litteraturstudien har studerat en stor mängd litteratur men den har begränsats av några faktorer. Bland annat har den genomförts genom att använda sökord för att avgränsa till relevant litteratur, den har genomförts under en begränsad tid samt endast svensk och engelsk litteratur har studerats (med undantag för en norsk bok). Dessa tre faktorer har alla begränsat vilken litteratur som kunnat läsas. Det finns kanske litteratur kvar att studera som skulle kunna vara av intresse men det har inte kunnat användas i denna rapport. Litteraturen har varit från blandade tidpunkter och förstahandskällor har främst används men i vissa fall

har ursprungskällan varit på ett annat språk så då har andrahandskällan använts i stället. Gällande den sammanställda tabellen över olika erosionsskydds förmåga att motstå vissa hastigheter och skjuvspänningar så har den sammanställts utifrån en redan befintlig tabell (se Table 2 i Fischenich 2001). Denna refererade tillbaka till andra källor från olika årtal men många av dess källor gick inte att få tillgång till så den ursprungliga tabellens trovärdighet gick inte att granska genom att studera ursprungskällorna.

Hastigheten som simulerades i HEC-RAS antas bättre representera hur hastigheten i en damm kan tänkas variera. Dock modelleras hastigheten i HEC-RAS endimensionellt, vilket inte är hur vattenföringen i en damm beter sig. De vertikala strömmarna som kan bildas är inget som återspeglas i resultatet från HEC-RAS och vilket därmed gör resultatet mindre tillförlitligt.

5.5 FRAMTIDA STUDIER

För denna rapport är det två områden som har studerats huvudsakligen. Hur har vattnets hastighet kunnat bestämmas i en damm samt vilket erosionsskydd som ska väljas. Litteratur har studerats och det var svårt att finna ett tydligt svar på hur hastigheten i en damm kan bestämmas redan innan den är byggd. Det mest pålitliga sättet för att kartlägga hastigheten och hur det varierar i en damm var att göra fysiska mätningar. Något som inte är möjligt att genomföra på en damm som ännu inte existerar. Det som uppkom i vissa rapporter var andra modelleringsverktyg förutom HEC-RAS, exempelvis MIKE eller annan CFD (computational fluid dynamics) modellering. För att fortsätta studera inom detta område skulle alltså andra verktyg kunna undersökas då det denna studie kunde finna endast var att det inte fanns några riktlinjer för att beräkna vattnets hastighet om det inte involverar andra beräkningsprogram. Ett datorprogram som kan ha många fler inparametrar kommer ge en bättre representativ bild av hur hastigheten faktiskt förändras i en damm. Att simulera hastighetsvärden med olika program för en damm som redan existerar och jämföra detta mot faktiska hastighetsvärden skulle kunna vara en fortsättning på detta arbete.

Hur specifika erosionsskydd faktiskt fungerar och vad de specifikt tål har heller inte undersökts. Valen av erosionsskydd görs väldigt individuellt för varje plats och i många fall väljs krossmaterial i stället för växtlighet fast det möjligtvis skulle vara bättre. Detta beror nog mer på okunskap. Om en sammanställning av erosionsskydd och dess förmåga att skydda marken samt hur de ska skötas om och anläggas skulle finnas skulle det kanske vara ett lättare val att välja de. I detta arbete har det i alla fall gått att finna stöd från många rapporter och manualer att växtlighet kan bidra med ett tillräckligt bra erosionsskydd.

6 SLUTSATS

I detta arbete beräknades hastigheten genom dammen med hjälp av Mannings formel till 0,52 och 0.56 m s^{-1} . Detta jämfördes med värden på hastigheten som simulerats med HEC-RAS och hastigheten som simulerades antog som högst värdet 0.43 m s^{-1} och som lägst 0.02 m s^{-1} (sett i mittendelen av dammen). Hastigheten som beräknades med Mannings formel ansågs vara den som inte var representerbar för hur den verkliga hastigheten i dammen kan förväntas vara och HEC-RAS ansågs därmed vara en bättre metod att använda sig av för att beräkna hastigheten i en damm.

Vidare så har det i detta arbete kunnat fastställas att växtlighet är ett bra erosionsskydd, speciellt i dammar där det råder låga vattenhastigheter. Att använda krossmaterial som är det vanliga idag är inte nödvändigt då mjuka erosionsskydd kan motstå vattenhastigheter upp mot 6.44 m s^{-1} , vilket är ett väldigt snabbt flödande vatten. För att välja erosionsskydd behöver hastigheten och/eller skjuvspänningen vara kända parametrar och tabell 6 skulle kunna användas som hjälp för att avgöra vilket som är lämpligast.

REFERENSER

- Andersson, J., Stråe, D., Nat, Y. B. D. van der & Granath, M. (2013). *Skötsel av dagvattendammar - en handbok*. WRS (Uppsala).
- Arcement, G. J. & Schneider, V. R. (1989). *Guide for selecting Mannings's roughness coefficients for natural channels and flood plains*. Water-Supply Paper 2339. U.S. Geological Survey. DOI: 10.3133/wsp2339.
- Ballard, B. W., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R. & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*. London (UK): CIRIA.
- Benson, M. A. & Dalrymple, T. (1967). *General field and office procedures for indirect discharge measurements*. (Book 3, chap. A1). United States Geological Survey. DOI: <https://doi.org/10.3133/twri03A1>.
- Bentzen, T. R., Larsen, T. & Rasmussen, M. R. (2008). Wind effects on retention time in highway ponds. *Water Science and Technology* 57.11, s. 1713–1720. DOI: DOI10.2166/wst.2008.267.
- Blecken, G., Al-Rubaei, A., Viklander, M. & Marsalek, J. (2017). *25 kommunala dagvattendammar i Sverige - hur fungerar de?* 2017-18. Svenskt Vatten. https://www.svensktvatten.se/contentassets/75d6ab13bb9f4bb191d52db47b041254/svu-rapport_2017-18.pdf [2024-04-02].
- Charman, J., Kostov, L., Minetti, L., Stoutesdijk, J. & Tricoli, D. (2001). *Small dams and weirs in earth and gabion materials*. (AGL/MISC/32/2001). Foog, Agricultural Organization of the United Nations, Land och Water Development Divison.
- Danielsson, P., Kling, J., Rydell, B. & Kiilsgaard, R. (2016). *Naturanpassade erosionsskydd i vattendrag. En förstudie*. Statens geotekniska institut, SGI Publikation 28, Linköping. <https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/sgi-publikation/sgi-p28.pdf> [2024-04-04].
- Degerman, E. & Schreiber, H. (2008). *Ekologisk restaurering av vattendrag*. Stockholm (Sverige): Naturvårdsverket och Fiskeriet.
- Evette, A., Labonne, S., Rey, F., Liebault, F., Jancke, O. & Girel, J. (2009). History of Bioengineering Techniques for Erosion Control in Rivers in Western Europe. *Environmental Management* 43.6, s. 972–984. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9275-y>.
- Fischenich, C. (2001). *Stability Thresholds for Stream Restoration Materials*. Vicksburg(Mississippi): Ecosystem Management och Restoration Research Program.
- Grill, K. (u.å.). *Dagvatten och åkermark - Tips och råd*. [Faktablad] Länsstyrelsen Östergötland. <https://catalog.lansstyrelsen.se/store/27/resource/22> [2024-04-16].
- Heeb, A., Larsson, T., Krook, J., Lundmark, M. cus & Johansson, T. (2018). *Underhåll ditt dike för ett rikare odlingslandskap*. [Broschyr]. (Jordbruksinformation 2018-1). Jordbruksverket. https://www2.jordbruksverket.se/download/18.114a3307162887646101fcf8/1522757298440/jo18_1.pdf [2024-04-24].
- IECA (2008). *Best Practice Erosion and Sediment Control*. Picton NSW: International Erosion Control Association (Australia).
- Johansson, L. (2003). *Stranderosionsskydd, Typer – Dimensionering – Modellering*. (Projektnummer SGI 11673). Statens geotekniska institut.
- Kachhwal, L. K., Yanful, E. K. & Rennie, C. D. (2011). A semi-empirical approach for estimation of bed shear stress in a tailings pond. *Environmental Earth Sciences* 66.3, s. 823–834. DOI: DOI10.1007/s12665-011-1292-5.
- Kungliga biblioteket (u.å.). *Vad är Libris och XL*. <https://libris.kb.se/katalogisering/about> [2024-04-03].
- Larsson, R. (2007). *Jords egenskaper*. (Projektnummer SGI: 13359). Statens geotekniska institut. <https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/info/pdf/sgi-i1.pdf> [2024-04-17].
- Lundström, K., Andersson, M., Rankka, W. & Rydell, B. (2008). *Erosion och sedimenttransport i vattendrag*. Linköping (Sverige): Statens Geotekniska institut.
- Nationalencyklopedin (2023a). *kohesion*. <http://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kohesion> [2024-04-17].
- Nationalencyklopedin (2023b). *Mannings formel*. <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/mannings-formel> [2024-11-03].
- Nationalencyklopedin (2023c). *Organogena jordarter*. <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/organogena-jordarter> [2024-05-26].

- Nepf, H. M. & Vivoni, E. R. (2000). Flow structure in depth-limited, vegetated flow. *Journal of Geophysical Research* 105.C12, s. 28547–28557. <https://doi.org/10.1029/2000JC900145>.
- Norris, J. E., Beek, R., Cammeraat, E., Mickovski, S. B., Nicoll, B. C. & Stokes, A. (2008). *Slope stability and erosion control; ecotechnological solutions*. 1. Aufl. Dordrecht: Springer. ISBN: 1402066759.
- Persson, J. & Pettersson, T. (2006). *Dagvattendammar - Om provtagning, avskiljning och dammhydraulik*. (2006:115). Vägverket, enhet Samhälle och Trafik, avdelning Vägteknik. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1364789&dswid=-3784> [2024-04-24].
- Rankka, K. (2002). *Slå rot - och väx upp*. (Diariennr: 1-0103-0164). Statens geotekniska institut.
- Roupé, S. (2021). *PM Erosionsskydd*. SWECO. https://www.alingsas.se/wp-content/uploads/2021/05/PM-Erosionsskydd_2021.pdf.
- Rowinski, P. M., Västilä, K., Aberle, J., Järvelä, J. & Kalinowska, M. B. (2018). *How vegetation can aid in coping with river management challenges: A brief review*. 18(4). Ecohydrology och Hydrobiology.
- SERC (2007). *Shields diagram*. <https://serc.carleton.edu/download/images/11032/shields.gif> [2024-04-15].
- Statens geotekniska institut (2023a). *Jordmateriallära*. <https://www.sgi.se/sv/Forskning--larande/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/jordmateriallara/> [2024-04-17].
- Statens geotekniska institut (2023b). *Jords hållfasthet*. <https://www.sgi.se/sv/Forskning--larande/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/jordmateriallara/skjuvhallfasthet/> [2024-04-17].
- Svenskt Vatten (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. (Publikation P110 - del II). Svenskt Vatten AB, Stockholm, Sverige.
- Sæterbø, E., Syversten, L., Tesaker, E. & Roen, S. (1998). *Vassdragshåndboka*. Trondheim: TAPIR.
- Trafikverket (2022). *Geokonstruktion, Dimensionering och utformning*. (TRVINFRA-00230).
- Uppsala universitet (u.å.). *Databaser A-Ö*. <https://libguides.uu.se/az.php> [2024-04-03].
- US Army Corps of Engineers (u.å.). *HEC-RAS*. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> [2024-04-03].
- USACE (2024a). *1D Unsteady Flow Hydrodynamics*. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/theoretical-basis-for-one-dimensional-and-two-dimensional-hydrodynamic-calculations/1d-unsteady-flow-hydrodynamics> [2024-06-13].
- USACE (2024b). *Continuity Equation*. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/theoretical-basis-for-one-dimensional-and-two-dimensional-hydrodynamic-calculations/1d-unsteady-flow-hydrodynamics/continuity-equation> [2024-06-13].
- USACE (2024c). *Energy Loss Coefficient*. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/basic-data-requirements/geometric-data/energy-loss-coefficients#contraction-expansion-coefficients> [2024-03-14].
- USACE (2024d). *Momentum Equation*. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/theoretical-basis-for-one-dimensional-and-two-dimensional-hydrodynamic-calculations/1d-unsteady-flow-hydrodynamics/momentum-equation> [2024-06-13].