

Tvåstegsdiken

- ett steg i rätt riktning



- Tvåstegsdiken – ett försök att anpassa dräneringen för ett nytt klimat och samtidigt uppfylla miljö- och naturvårdskrav.
- Det finns endast begränsat med erfarenheter, framförallt från USA. Viktigt att få fram kunskap för svenska.
- Tvåstegsdiken medför förlust av åkermark och kräver stora jordomflyttningar vilket medför höga kostnader

Tvåstegsdiken - ett steg i rätt riktning?

Rapporten är en sammanställning av litteratur, egna beräkningar och analyser gällande så kallade tvåstegsdiken (two-stage ditch). Sammanställningen har tagits fram för att fylla ett kunskapsbehov om tvåstegsdikenas möjlighet att bidra med flera viktiga funktioner i jordbrukslandskapet. Eftersom tvåstegsdiken framförallt studerats i USA är urvalet av erfarenheter begränsat. Rapporten är en del av redovisningen av ett regeringsuppdrag om åtgärder för att anpassa jordbrukets vattenanläggningar till ett nytt klimat.

Arbetet har utförts av Per Lindmark, Jordbruksverkets vattenenhet. Lisa Karlsson, Jordbruksverkets analysenhet har bidragit till avsnittet om biologisk mångfald. Josef Nordlund har utfört simuleringar med HEC-RAS. Synpunkter på materialet har lämnats av Anuschka Heeb, Länsstyrelsen Östergötland, Katarina Börling, Jordbruksverket och Rune Hallgren, LRF.

Vattenenheten

Omslag:
Tvåstegsdike vid Åkra gård, Nyköping

Sammanfattning

Åkermarken är beroende av öppna diken för dränering. När klimatet förändras behöver dikena anpassas för att klara ökade flöden. Samtidigt finns det behov av åtgärder för att minska transporten av närsalter till havet och för att öka den biologiska mångfalden. Går det att hitta annan dikesutformning som tillgodoser alla dessa behov eller ska vi fortsätta med traditionella diken med plan botten och branta slänter upp till marknivån?

Det senaste decenniet har ett koncept som kallas tvåstegsdiken studerats i USA. Tvåstegsdiket utgörs av en mittfåra som omges av terrasser på högre nivå. Vid normala flöden går vattnet nere i fåran och vid högre flöden stiger vattnet upp på terrasserna. Tanken är att dikets utformning ska efterlikna naturliga vattendrag med en mittfåra omgivet av svämplan.

Utformningen förefaller kunna ge flera lovande funktioner, men till en högre ekonomisk insats. Tvåstegsdiket är en stabilare konstruktion än det konventionella trapetsformade diket eftersom den vegetationsklädda terrassen skyddar slänten och medför lägre vattenhastighet vid höga flöden. Den lägre hastigheten minskar då erosionen i diket vilket är positivt både ur stabilitets- och miljösynpunkt. Den minskade risken för erosion och släntskred gör också att underhållsinsatserna blir lägre.

Mätningar visar att transporten av suspenderat material, fosfor och kväve minskar längs ett tvåstegsdike jämfört med ett konventionellt dike. Det beror på lägre vattenhastighet vid höga flöden samt att det finns större vegetationsbeksädda ytor där partiklar sedimenterar och lösta näringsämnen tas upp.

Eftersom terrasserna skapar nya våta ytor i jordbrukslandskapet finns också en potential för ökad biologisk mångfald. Fåran och terrassen utgör plats för växter med olika behov och ger gömställen och födoplatser för djur.

Eftersom tvåstegsdiket har större volym än ett konventionellt dike har det även en viss flödesdämpande effekt.

Nackdelen med metoden är att det är stora volymer jord som måste schaktas bort och att värdefull åkermark försvinner.

En svårighet vid dimensioneringen är att alla fördelar inte kan uppnås samtidigt. Om den biologiska mångfalden gynnas med breda terrasser kan underhållsarbetet försvåras. Om reduktionen av näringsämnen maximeras med en låg terrass finns det risk för att mittfåran växer igen så att dräneringsfunktionen försämras samtidigt som vissa vattenlevande organismer missgynnas av den lägre lågvattennivån.

Än så länge är det för tidigt att ge några specifika rekommendationer för när och hur konceptet ska tillämpas i Sverige, men det är lämpligt att regelverk och styrmedel utformas så att tvåstegsdiken kan användas där det är lämpligt.

För närvarande pågår planeringen för att bygga ut ett par dikessträckor i Sverige. Det är viktigt att dessa anläggningar följs upp för att ge bättre beslutsunderlag för framtida satsningar. Viktiga frågor att utvärdera är kostnader och metoder för underhåll och anläggningarnas kostnadseffektivitet i jämförelse med alternativa åtgärder, exempelvis anlagda våtmarker.

Innehåll

1	Inledning	1
2	Stabilare diken och mindre erosion	5
2.1	Uppbyggande och nedbrytande krafter	5
2.2	Rötter stabiliserar diket	6
2.3	Viktig vegetation	10
3	Lägre vattennivå och hastighet	13
3.1	Dimensionerande flöde	13
3.2	Vattennivån beror av dikets tvärsektion	16
3.3	Vattennivån beror av dikets längd	21
3.4	Vattennivån beror av dikets skrovlighet	28
4	Näringsämnen fångas upp i diket	31
4.1	Amerikanska erfarenheter	31
4.2	Erfarenheter från våtmarker och fosfordammar	34
5	Biologisk mångfald gynnas	38
6	Skötsel av tvåstegsdiken.....	40
6.1	Minskat underhåll?	40
6.2	Skötsel i praktiken	41
7	Dyrare än vanligt.....	44
8	Några praktiska aspekter	46
9	Mer kunskap krävs	48
10	Referenser.....	49

1 Inledning

I regleringsbrevet för 2011 fick Jordbruksverket ett uppdrag att närmare studera olika aspekter, både av hydroteknisk- och vattenrättslig karaktär för vattenanläggningar i jordbruket och föreslå kostnadseffektiva åtgärder. Huvudelen av uppdraget redovisas i rapporten Jordbrukets markavvattningsanläggningar i ett nytt klimat, jordbruksverket 2013. I den rapporten konstateras att jordbrukets diken kan behöva anpassas för att klara högre flöden i framtiden. Man kan då ställa sig frågan om diket ska utformas på traditionellt sätt eller om det finns anledning ge diket en ny utformning. Som en del i regeringsuppdraget har vi därför studerat ett förslag på en alternativ dikesutformning som har utvecklats i USA: Resultatet redovisas i den här rapporten.

Syftet med rapporten är att summera dagens kunskap om så kallade tvåstegsdiken (two-stage ditch). Kunskapssammanfattningen kan användas som ett stöd för den som funderar på att anlägga nya diken, vid utformning av regelverk och andra styrmedel, dränering av åkermark och för myndigheter som ska hantera tillstånd och tillsyn. I rapporten beskrivs tvåstegsdikenas inverkan på vattenströmning och vattenstånd, erosion/stabilitet, miljö och natur. Kostnader och underhåll behandlas också.

Diken i odlingslandskapet har till uppgift att dränera marken för att möjliggöra ett effektivt jordbruk. De ska hålla nere vattennivån så växten får en gynnsam växtmiljö och så att markens bärighet räcker till för tunga maskiner. Vid häftiga regn ska diken föra bort vattnet så att inte skador uppkommer på grund av högt vattenstånd.

I takt med ökat miljömedvetande har markavvattningens påverkan på miljö och natur i jordbrukslandskapet hamnat i fokus. Exempel på problem är:

- Läckage av näringsämnen kväve och fosfor vilket gör att sjöar och hav växer igen
- Transport av partiklar som gör att vattendrag, trummor, broar, dammar etc. slammar igen, vilket bl.a. har negativa effekter för fiskar och andra vattenlevande organismer
- Utarmning av flora och fauna och när vattendrag rätas upp och strandzoner försvinner

Det är inte självklart vilka, och hur stor andel, av problemen som beror på det moderna jordbruket i sig och vad själva markavvattningen och dikesutformningen bidrar med. Markavvattning är en förutsättning för en resurseffektiv och uthållig livsmedelsproduktion, men dess självklart positiva effekt behöver inte diskuteras vidare här. De negativa effekter som avvattning med diken och rör medför anses vara att:

- Vattnet avleds snabbare i ”raka kanaler” till recipienten, vilket medför ökad risk för översvämning nedströms, ökad erosion, ökad utlakning av näringsämnen och minskad naturlig självrening i vattendraget
- Dikenas utformning (och naturligtvis kulvertar) minskar den biologiska mångfald som finns i ett naturligt meandrande¹ vattendrag

¹ Slingrade lopp som skapas i flacka landskap genom erosion i ytterkurvorna av vattendraget och sedimentation i innerkurvorna

Framförallt har jordbrukets höga andel av utsläppen av fosfor och kväve till Östersjön gjort att man ifrågasatt dagens ”motorväg” från åker till hav. Flera lösningar har tagits fram för att reducera föroreningsmängderna innan de når Östersjön, bl.a. behovsanpassad gödsling, skyddszoner, fosfordammar, konstruerade våtmarker samt olika filterlösningar, bara för att nämna några. Dessa lösningar inriktar sig på att reducera näringsämnen före eller efter att vattnet transporterats i ett dike. Metoderna är enkla, passiva lösningar där sedimentation, biologisk nedbrytning, fastläggning och upptag i vegetation är de verkande processerna. Ett undantag är de filterlösningar som innefattar tillsatser av kalk och kemikalier för flockning och fastläggning av näringsämnen. Själva diket ses oftast som en transportör av föroreningar där sedimentation av näringsrikt material sker längs vissa sträckor. Vid dikesunderhåll finns risk att en del av materialet transporteras vidare nedströms och nya erosionsytor blottläggs. Vad kan man då göra i själva diket för att förbättra situationen? Ett exempel från Helsingborg visar på en möjlig åtgärd.

I Helsingborg har det anlagts ett antal strandzoner längs vattendrag på kommunägd mark (Nihlén, 2011). Anläggningarna utgörs av en mittfåra som på vardera sidan omges av ett två meter brett svämplan, sex meter flack slänt och därefter två meter skyddszon mellan dikeskrönet och åkermarken, Figur 1.1. Vid anläggandet planterades olika typer av träd på den södra slänten med ca 1,5 meters mellanrum, varav de flesta sedan betades ner av hare. Idag växer det framförallt al och salix på slänter och svämplan. Några områden som betas är gräsbevuxna. I åfåran växer det kaveldun, jätTEGRÖE och vass. En mindre del av området har slagits med slaghack, men det normala är att området inte underhålls.

Sommartid ligger vattennivån oftast i fåran och vid högre flöden stiger vattnet upp på svämplanet. Svämplanet kan karakteriseras som en våtmark eftersom det normalt är fuktigt och vattnet täcker hela planet flera gånger per år. Någon uppföljning av miljöeffekter har inte gjorts, men förutsättningarna för denitrifiering² har antagligen förbättrats på svämplanet vilket framgår av att jorden blivit mörkare, humusrikare och fuktigare.

Erosionen av slänterna har minskat kraftigt jämfört med före åtgärden. Speciellt stabilt är det i lerområdena. I område med lättare jordar har fåran börjat meandra, dvs. börjat återgå till ett mer naturligt tillstånd med slingrande åfåra, utan att meanderslingor grävts.

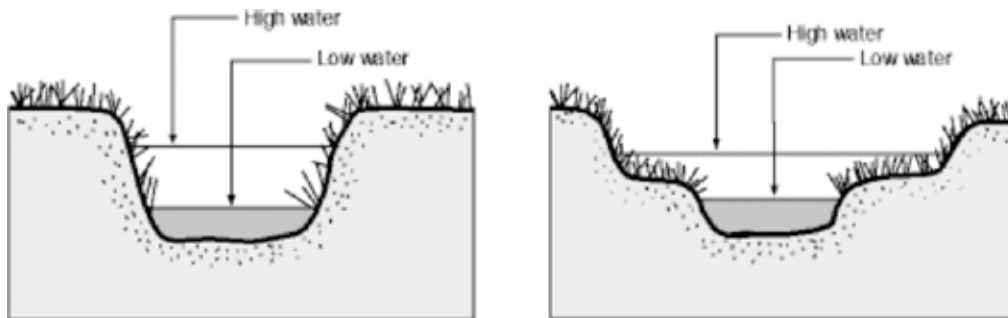
² Denitrifiering: Omvandling av nitratkväve till kvävgas genom en bakteriell process



Figur1.1. Restaurerat naturligt vattendrag med strandzoner.

Att som i Helsingborg göra ett bredare svämplan eller terrass på båda sidor om en mittfåra har ägnats en del forskning i USA, framförallt vid Ohio State University.

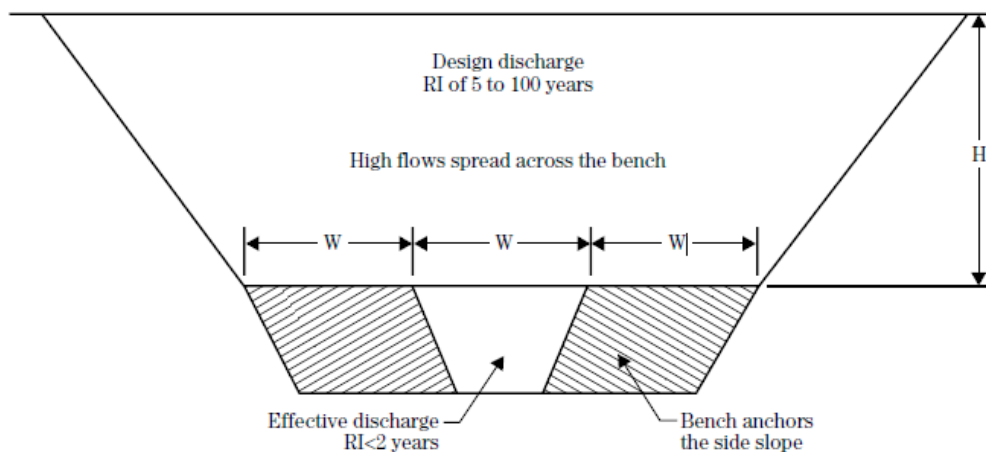
Forskningen som pågått i drygt 10 år; (Kallio m.fl. 2010), började med undersökningar av hur naturliga vattendrag utvecklades beroende på avrinningsområde, lutning, etc. Det visade sig att det naturliga utseendet för en å är en liten mittfåra omgiven av bredare svämplan på en högre nivå. Under normala förhållanden strömmar vattnet fram i mittfåran och vid höga flöden stiger vattnet och rinner ut över svämplanet samtidigt som partiklar sedimenterar. Fårans dimensioner hade ett direkt samband med flödet och avrinningsområdet. Till exempel kunde man finna ett samband mellan fårans bredd och avrinningsområdets storlek. De naturliga vattendragen ansågs ha fördelar gentemot de grävda raka diken genom USA:s slättbygder när det gäller stabilitet, erosion, översvämning, utläckage av näringsämnen och biologisk mångfald. Forskarna föreslog därför att normala jordbruksdiken skulle göras om till så kallade tvåstegsdiken, se Figur 1.2. Fram till idag har det byggts 20-40 tvåstegsdiken med en sammanlagd längd av 15-30 km i Ohio, Indiana, Michigan och Minnesota (Ward, 2011).



Figur 1.2. Konventionellt trapetsformat dike respektive tvåstegsdike

Källa: Figur av Andy Ward, universitetet i Ohio.

Rekommendationer för utförande av tvåstegsdiken finns i Amerikanska Jordbruksdepartementets NRCS Stream Restoration Design National Engineering Handbook och stöd utgår till åtgärden i Indiana och kommer också att ges i Ohio (Ward, 2011). I NRCS:s handbok finns en figur, Figur 1.3, som anger principen för design. I vidhörande text anges att den totala bredden på terrassen bör vara 3-5 gånger W , där W är mittfårans dagbredd.



Figur 1.3. Tvåstegsdike i NRCS (2007). Återkomsttiderna för dimensionerande respektive effektivt flöde anges till 5-100 år respektive mindre än 2 år. Med effektivt flöde menas det flöde som rymts i mittfåran.

Som angetts ovan har dessa diken flera positiva egenskaper, men om man ska plocka fram det huvudsakliga argumentet för tvåstegsdiken i USA är det att de uppfattas som mer stabila och fordrar mindre underhåll jämfört med konventionella diken. Detta är alltså positiva argument i första hand för de jordbrukare som fäster avseende vid dikenans långsiktiga funktion.

2 Stabilare diken och mindre erosion

Tvåstegsdikets utformning gör att de bättre står emot skred och erosion än vanliga trapetsformade diken. I ett tvåstegsdike blir t.ex.

- slänten lägre
- släntens nedre del skyddas av terrassen
- vattenhastighet och vattennivå blir lägre vid höga flöden
- mer vegetation som armerar terrassen med sina rötter kan etableras
- terrassen verkar som en tryckbank mot överlast på marken

Gräs, buskar och träd har alltså stor betydelse för stabilitet och erosion, men på fel ställe och felaktigt skötta kan de skapa problem för dräneringen och underhållsmöjligheterna.

2.1 Uppbyggande och nedbrytande krafter

Diken och vattendrag påverkas av uppbyggande och nedbrytande processer. Nedbrytning innebär att material lossnar och transporteras iväg och att jordmaterialet hamnar nedströms i åfåran eller transporteras vidare. Uppbyggandet sker genom att material från diket uppströms eller från omgivande mark sedimenterar i diket. Med tiden uppnås ett jämviktstillstånd där nedbrytande och uppbyggande processer balanserar varandra, dvs. vattendragets ”medelgeometri” förändras obetydligt över ett längre tidsintervall. Kortsiktigt kommer dock förändringar att ske beroende på varierande flöden. Dessa geomorfologiska processer kan manifesteras i allt från enskilda korn som transporteras iväg till stora jordmassor som skredar, dvs. rasar ner och täpper till hela vattendraget.

I ett vattendrag uppkommer det på grund av vattnets tyngd och rörelse en skjuvkraft längs botten och sidorna som vill förflytta jordmaterialet. I ett dike är kraften störst där vattenhastigheten och vattentrycket är som högst. Eftersom material i slänten också utsätts för en kraft i släntens riktning på grund av gravitationen är ofta släntens nedre del mest utsatt för erosion.

Erosion sker genom att enskilda korn och mindre aggregat sätts i rörelse av strömmande vatten. Påverkande faktorer är bl.a. vattnets hastighet, jordens sammansättning, tjäle, torksprickor och påverkan från djur som sork och bäver eller betande djur som kor och får. Motsatsen till erosion är sedimentation som innebär att material som transporteras i diket ansamlas där hastigheten är tillräckligt låg. Erosion och sedimentation förändrar alltså dikets utseende med tiden. Det föranleder insatser i form av dikesunderhåll, eller till och med rörläggning för att systemet ska behålla sin dränerande funktion. Idealet är förstås att önskad dränering erhålls samtidigt som diket är stabilt, vilket medför ett enklare underhåll. Ett betydande problem är erosionens betydelse från miljösynpunkt, dels på grund av partiklarnas direkta påverkan på vattenorganismer, dels för att fosfor till stor del är bundet till partiklarna.

Skred beror på att den pådrivande kraften, tyngden av jorden och eventuell annan överlast, överstiger de mothållande krafterna, dvs. jordens skjuvhållfasthet längs glidplanet och ev. mothållande jord och vatten i diket. Vanliga skredorsaker är att

slänten är för brant, att grundvattennivån i åkermarken/slänten är hög eller att vattenflödet eroderar jord från släntens nedre del och därmed underminerar slänten. Normala släntlutningar för jordbruksdiken är 1:1,5 till 1:2, dvs. 33 till 26 grader mot horisontalplanet. Detta är vanligen tillräckligt vid normala dikesdjup, mindre än 3 m, och fast jord. Djupa diken och lös lera eller silt kan kräva flackare slänter. Även överlast, t.ex. en traktor eller stora träd, inverkar på hur brant lutning som kan accepteras från stabilitetssynpunkt.

När strömmande vatten gräver sig in i slänttån och underminerar slänten bildas det ett överhäng. Det leder så småningom till att delar av slänten rasar ner i vattnet. Om jorden är lerig och genomkorsad av rötter kan den nedfallande jordklumpen ligga kvar vid släntfot. Om den i stället är sandig eller siltig och innehåller endast få rötter löses den däremot upp och försvinner iväg med vattnet.

En tvåstegsterrass som utbildas naturligt eller anläggs kommer att skydda slänten från erosion. Det medför också att slänten inte blir lika hög som tidigare samt att terrassen blir en tryckbank som motverkar upptryckning och skred. Terrassens stabiliserande effekt minskar om den görs för låg eller smal.

2.2 Rötter stabiliserar diket

Vegetation som växer i diken påverkar stabiliteten på flera sätt:

- Jorden armeras med rötterna
- Växternas transpiration (avdunstning) ger lägre vattentryck i jorden
- Infiltrationen ökar längs rötter och i sprickor som uppkommer på grund av växrötter
- Vegetationens egenvikt ökar det pådrivande momentet i en slänt

Det har gjorts flera undersökningar om hur rötter från gräs, buskar och träd förstärker jordens hållfasthet. De flesta rötter finns inom den översta halvmeteren vilket medför att jordens hållfasthet endast ökar inom denna del. Rötterna kan därför helt sakna betydelse för skred som går djupare än 0,5 m, t.ex. i höga slänter. Undantag är en del trädrötter som går ner djupare och bidrar till jordarmering på större djup.

Undersökningar av rötters draghållfasthet (kraft/areaenhet) visar på en stor spridning av resultaten. Draghållfastheten för gräs och träd ökar med minskad rot diameter, men bidraget till ökad hållfasthet i ett jordblock avgörs framförallt av den totala rotarean. För träd gäller att det är trädrötter med stor diameter, större än 5 mm, som ger det största bidraget trots att smalare rötter har högre hållfasthet. Gray och Sotir (1996) anger att rötter från buskar har ungefär lika stor draghållfasthet som trädrötter.

Wynn (2004) undersökte effekten av träd jämfört med gräs och andra örter som erosionskydd. Träden gav ett bättre skydd mot erosion eftersom de hade en större andel kraftiga rötter, diameter större än 0,5 mm. Gräs och örter hade en stor mängd rötter men de var i huvudsak smalare än 0,5 mm och sträckte sig inte heller lika djupt som trädrötterna. Speciellt effektiva som erosionskydd är trädrötterna i slänter och i slänttån, där erosionskrafterna är som störst.

Växterna har stor påverkan på jordens vatteninnehåll vilket i sin tur inverkar på hållfastheten. En positiv effekt är att växter kan magasinera nederbörd i bladverket vilket förhindrar att vattnet når marken, så kallad interception. Denna effekt är begränsad till kortvariga regn. Vid kraftiga regn blir bladmagasinet fullt och vattnet når därefter marken genom att snabbt, speciellt för träd, ledas ner via grenarna och stammen till marken. Vattenmängden koncentreras därmed till mindre områden där vattenhalten kan stiga och ge nedsatt hållfasthet. Detta motverkas i sin tur av växtrötternas förmåga att minska vattenhalten i jorden eftersom de tar upp vatten för transpiration. När jorden blir torrare ökar dess hållfasthet – ju större undertryck i jorden dess bättre hållfasthet. Träden ger här ett större bidrag till den totala hållfastheten eftersom de kan bygga upp ett större undertryck i marken under vegetationsperioden än gräs. Beroende på vinterns nederbörd kan detta sedan behållas eller elimineras. För en gräsbeklädd slänt kan portrycken till och med öka på grund av att gräsets rötter skapar en ökad genomsläpplighet i jorden. Å andra sidan gör den ökade infiltrationen att yterrosionen minskar vilket har stor positiv betydelse både för stabiliteten och för transporten av partikelbunden fosfor.

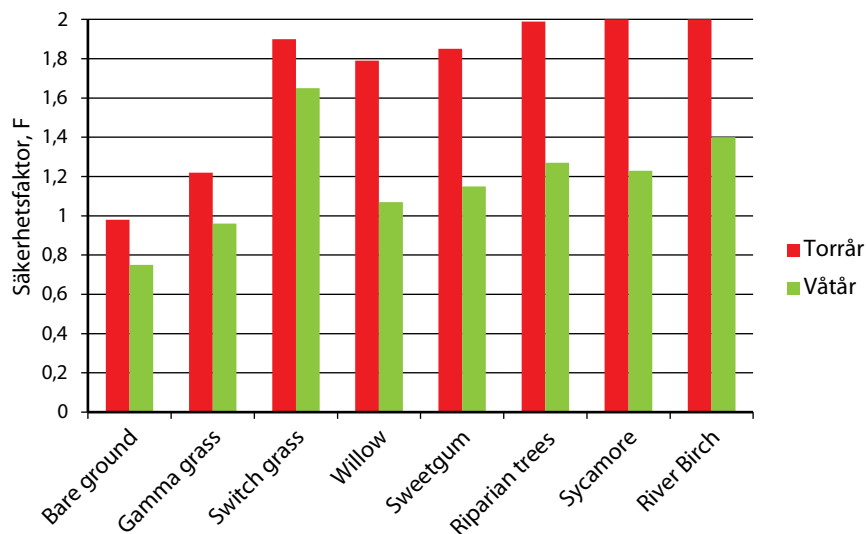
I humida klimat spelar den hydrologiska effekten inte så stor roll eftersom de flesta skred sker vinter-vår då växterna är inaktiva. Däremot förstärker rötterna jordens hållfasthet även vintertid.

Växtligheten binder jordens partiklar, minskar vattnets hastighet och därmed minskar erosionen. Detta under förutsättning att vegetationen är jämnt fördelad. Gunawan m.fl (2010) anger att tuvbildning och ojämn tillväxt av vegetation koncentrerar flödet till mindre kanaler vilket ger höga vattenhastigheter och därmed erosionsproblem.

I dikesslänter ger växterna ett bidrag till det pådrivande momentet på grund av deras tyngd och placering i slänten. Speciellt ökar det pådrivande bidraget efter ett regn. Undersökningar av Simon och Collison (2002) visar att tillskottet i allmänhet är litet jämfört med andra faktorer. Jordens tyngd ökade bara med 7–12 % i den översta halvmeteren på grund av vegetationens vikt. Ju äldre ett träd blir desto större är risken att det faller och blottlägger jorden för erosion. Äldre träd med stora kronor placerade i kritiska slänter bör därför tas bort innan de faller.

Simon och Collison (2002) har beräknat säkerheten mot skred för en slänt under en tvåårsperiod. En säkerhetsfaktor, F , mindre än ett innebär att slänten har rasat/kommer att rasa. Normalt krävs en säkerhetsfaktor på 1,3 för att slänten ska anses vara stabil. Den studerade slänten var bevuxen med olika typer av vegetation i de olika beräkningsfallen. Data för rötternas area, djup och draghållfasthet samt växternas tyngd, interception och evapotranspiration användes tillsammans med övriga geotekniska data vid beräkningarna. I studien gjordes beräkningar för två gräs (Gamma grass/Präriegräs och Switch grass/rödhirsh), fyra träd (Sycamore/Platan, River Birch/Svarthjörk, Sweetgum/Ambraträd och Black willow/ung. Knäckepil), ett blandat trädbestånd Riparian Trees (Sycamore, River birch och Sweetgum) och för bar mark/kort gräs (bare ground).

Analysen visar att vegetationen bidrar betydligt till att höja säkerheten mot skred, se Figur 2.1. Stabiliteten sjönk överlag betydligt under det våta året då portrycket ökade.



Figur 2.1. Lägsta säkerhetsfaktorerna mot skred för ett torr- resp. våtår för bar mark, två gräs, fyra träslag och ett område med blandad trädvegetation (Riparian trees). Data från Simon och Collison (2002).

Diagrammet visar att en slänt med barmark eller prärie gräs har en högre risk för skred än övriga vegetationsbeklädda slänter. För torrår erhöles den högsta säkerhetsfaktorn mot skred för träden svartbjörk, platan och blandat bestånd (riparian trees) samt för gräset rödhirs.

Simon m.fl. (2011) redovisar skillnader i säkerhet mot skred för en till tre meter höga slänter med vegetation av gräs (switch grass) respektive björk (river birch) i jämförelse med vegetationslösa slänter. Slänterna med vegetation uppvisar 42–80 % högre säkerhet mot skred. Skillnaden mellan gräs och björk var liten i de studerade fallen.

Den positiva effekten av vegetation utgörs dels av att rötterna fungerar som armering av jorden, dels att vattenhalten i jorden reduceras av transpirationen. När det gäller den första komponenten har hirsden den högsta hållfastheten på grund av den stora mängden rötter, Tabell 2.1. Skillnaden mellan träden var stor. Till exempel gav svartbjörk fyra gånger så stor hållfasthet som pil. Pilens låga hållfasthet är förvånande då den ofta nyttjas för att stabilisera längs vattendrag. Som tidigare angetts är det framförallt viktigt med stor rotarea och djupa rötter. Den specifika draghållfastheten för rötterna, vilken är störst för små rötter, är inte lika väsentlig.

Simon och Collison (2002) sammanfattar med att rekommendera en mix av vedartade växter och gräs för att öka släntstabiliteten.

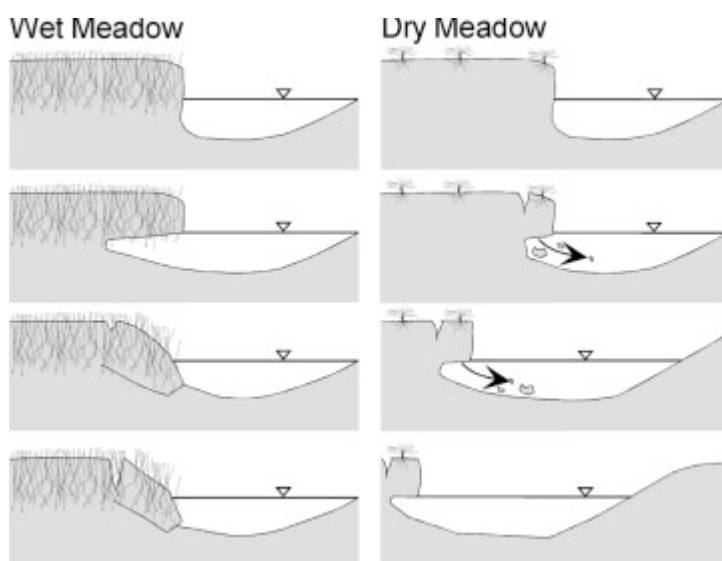
Tabell 2.1. Växternas bidrag till hållfastheten i jordens översta meter.

Växter	Hållfasthet i översta metern, kPa
Gräs	
Gamma grass/Präriegräs,	6
Switch grass/Rödhir	18
Träd	
Black willow/ung. Knäckepil	2
Sweetgum/Ambraträd	4
Sycamore/Platan	7
River Birch/Svartbjörk	8

Källa: Simon och Collison (2002).

Enligt Micheli och Kirchner (2002) skiljer sig skredutvecklingen åt för en fuktig dikeskant beväxt med starr jämfört med ett torrare gräs-/buskområde, Figur 2.2. Den våta strandkanten faller ner först när ett stort block har underminerats och det fallna blocket skyddar sedan mot fortsatt erosion. Den torrare strandkanten faller ofta i mindre bitar som sen transporteras vidare med strömmen. Enligt författarna kan det ta ca 4 år att underminera det våta området medan det bara tar några veckor i det torra området. Man kan mycket väl tänka sig situationer då Micheli och Kirchner:s slutsats inte stämmer lika bra och den nedfallna lerklumpen styr vattenströmmen så att erosion initieras på andra sidan diket. Nedfallet lermaterial kan naturligtvis också dämna i vattendraget.

Deras slutsats är att den fuktiga vegetationen ökade skjuvhållfastheten med en faktor 8 och minskade erosionen med en faktor 10 eftersom rötternas djup och densiteten var högre i det våta området. Hållfastheten ökade linjärt med antalet stammar/stjälkar per areaenhet. Starr var effektivare än säv och tåg när det gällde att stabilisera eroderade skärningar.



Figur 2.2. Skredmekanism för våt (med starr) resp. torr strandbank,
Källa: Micheli och Kirchner (2002).

Orsakerna till skred och erosion sammanfattas i Tabell 2.2. Flera av dessa orsaker kan motverkas i varierande grad genom att göra tvåstegdiken istället för traditionella trapetsformade diken. Kritiska områden för erosion längs ett tvåstegsdike är där täckdikningsrör med höga flöden ansluter till diket och tvära kurvor.

Det bästa sättet att förbättra stabiliteten och minska erosionen är en homogen utbredning av gräs och buskar/träd på terrassen och slänten. Träden får inte finnas i mittfåran eller hindra åtkomst till diket. Gräs bör därför ses som huvudalternativet eventuellt kompletterat med träd. Som tidigare påpekats medför vegetation att vattenytan höjs i diket. Diket måste därför underhållas så att både dräneringsnivån och stabiliteten säkras.

I direkt anslutning till att ett tvåstegsdike grävts är det viktigt att snabbt etablera växter för att förhindra erosion. Antagligen är det kostnadseffektivast att så in gräs.

Tabell 2.2. Orsaker som kan initiera skred och erosion i diken och möjligheten att motverka detta med "rimliga insatser".

Orsaker	Erosion	Skred	Påverkbar
Branta, höga slänter	X	X	Ja
Hög grundvattenyta i slänten	X	X	Ev.
Kraftigt regn	X	X	Nej
Låg vattenyta i diket		X	Nej
Jord med låg hållfasthet, tjäle	X	X	Nej
Obetydligt med vegetation eller tuvor/ojämn växtlighet	X	X	Ja
Höga vattenhastigheter	X	X	Ev.
Kräkar, stenar, död ved etc. som styr vattnet mot slänttån	X	X	Ev.
Utlopp från täckdikning, kulvertar, andra diken	X		Ev.
Träd och gräs som ökar infiltrationen och vattenhalten vintertid		X	Ja
Överlast och vibrationer av tunga fordon		X	Ja
Överlast av träd (beror mycket på trädens placering och ålder)		X	Ja

2.3 Viktig vegetation

Vegetationen spelar en viktig roll i ett jordbruksdike när det gäller att stabilisera diket, minska erosionen, dämpa hastigheten, öka sedimentationen, uppta näringsämnen och gynna den biologiska mångfalden. Människans möjligheter att påverka vegetationsutvecklingen på sikt är liten, åtminstone inom rimliga ekonomiska ramar.

Viss påverkan av vegetationstyperna kan göras genom placering av terrassens nivå och skötsel av vegetationen. På kort sikt gäller det att snabbt och effektivt etablera växter, antagligen gräs, för att armera den blottade jorden. Med tiden kommer sedan naturliga växter för området att kolonisera. Genom att klippa och sköta terrasserna kan man underlätta för t.ex blommor och örter att etablera sig. Man kan också plantera arter på delar av området för vidare spridning.

Utförande av ett tvåstegsdike innebär att en bred terrass schaktas ut och en ny slänt från terrassen upp till åkermarken bildas. Direkt efter grävningen är dessa ytor bara och jorden är mycket känslig för erosion. Har man otur kan ett kraftigt

regn och högt flöde erodera terrass och slänt så att delar av arbetet är bortkastat. Det är därför viktigt att utföra schaktningen vid rätt tidpunkt och att snabbt få igång en vegetationstillväxt. Ett sätt för snabb etablering av gräs är sprutsådd. Ett alternativ och komplement är att återföra det växtskikt som tagits bort vid schaktningen, men dessa avbaningsmassor räcker oftast inte till och etableringen är osäker. Rätt tidpunkt att anlägga tvåstegsdiken och vegetation är när flödena är låga och när det är möjligt att snabbt etablera växter. Dessa faktorer gör att lämplig tid för insådd är juni-juli.

En blandning av gräsfröer, vatten, gödning och träfibermulch (material som håller fukt, förhindrar erosion, skyddar mot ogräs) sprutas ut jämnt med högt tryck på terrass och dikesslänt. Metoden ger ofta en snabb etablering eftersom utsädet får goda möjligheter att skapa ett kraftigt rotsystem på kort tid.

För anläggning av grönytor i vägsrännor etc. rekommenderar Trafikverket i ATB VÄG (2000) en gräsfröblandning med 1,4 kg per 100 m² bestående av:

35 % Rödsvingel med långa utlöpare

15 % Rödsvingel med korta utlöpare (salttolerant)

10 % Rödsvingel tätuvad

20 % Ängsgröe

10 % Hårdsvingel

5 % Rödven

5 % Turftimotej

Prodana har en så kallad dikesblandning för snabb erosionskontroll och skydd av diken. Den innehåller också 60 % rödsvingel samt 20 % rörsvingel, 15 % rajgräs, 2,5 % rödven och 2,5 % krypven. De rekommenderar 2,0 kg utsäde/100 m². Om snabb och kraftig tillväxt önskas kan det vara värt att gå upp till 2–2,5 kg utsäde/100 m².

Enligt Ahlgren m.fl. (2011) visade Long m.fl. (2010) att diken med rörsvingel och rajgräs reducerade suspenderat material med över 60 %. Gräs med långa rötter och tät växt ger också ett mycket bra bidrag till jordens motstånd mot erosion.

Sprutsåddmetoden är ganska okänslig för jordens naturliga status, men slänterna bör inte vara alltför släta, lite struktur underlättar etableringen. Vid manuell sådd måste marken förberedas med mull, gödsel, vatten etc. Oavsett detta är det lämpligt att vid schaktningen lägga matjorden för sig och återanvända den på den blottade jorden. Ett täcke med ca 10 cm matjord räcker. Är det torrt kan det bli nödvändigt att bevattna jorden. Man bör undvika att köra på terrassen med tunga maskiner som packar jorden.

En risk med sådden är att den kan spolats bort om flödena blir höga innan gräset slagit rot. Om risken för kraftig erosion är överhängande, t.ex. på siltiga jordarter eller i kraftiga böjar, kan man lägga ut prefabricerade vegetationsmattor. Dessa är tillverkade av biologiskt nedbrytbara fiber, vanligen kokosfiber eller jute, i vilken man har förplanterat olika vattenväxter eller gräs. Mattorna läggs ut och förankras med träspik för att de ska ligga kvar och skydda mot erosion innan rötterna har

fått fäste i marken. Efter ett antal år bryts kokosfibrerna ner och därefter är det växternas rötter som binder jorden och skyddar mot erosion.

En viktig faktor för vilka växter som ska trivas är vattenståndet. Fåran kommer att hålla vatten större delen av året, medan terrassen täcks av vatten mer sällan.

Genom att bestämma terrassens höjd bestämmer man också vattenregimen och på så sätt kan man i viss mån påverka vilka växter som kommer att etablera sig. Om vattnet bara tillfälligtvis går upp på terrassen kan gräs klara sig, men om det ofta är fuktigt/blött kommer våtmarksväxter att ta över.

Det viktigaste är att det skapas goda förhållanden så att växterna kan växa sig starka och bilda täta bestånd över hela terrassytan. Om det blir en ojämn tillväxt eller tuvig vegetation kommer vattnet att kanaliseras och därmed strömma med högre hastighet vilket är negativt för erosion och transport av näringsämnen. Typ av växter betyder antagligen mindre än utbredningens homogenitet.

Innan man uppnått en kraftig, tät vegetation med rötter som armerar jorden och ökar infiltrationen kan det ta 1-3 år. I konstruerade våtmarker ökade utbredningen av planterade växter (kaveldun, klolånke, kalmus, mannagräs) linjärt från år 1 till år 4, då täckningsgraden var ca 75 %, Braskerud (2001).

Om diket koloniserats spontant har det visat sig att al är en konkurrenskraftig art. Det har bl a visat sig i Helsingborg där konstruerade svämplan invaderats av al, Nihlén (2011).

När det gäller vegetationens inverkan på beskuggning ska ett aktivt beslut tas. Ska man plantera eller tillåta att buskar och träd växer upp i syfte att beskugga fåran? Genom att skugga fåran blir temperaturen lägre, tillväxten av vattenväxter dämpas och vattenlevande organismer gynnas. Det är bra ur hydraulisk synpunkt eftersom vattenflödet då inte hindras av vegetation i fåran och underhållet kan minska.

Däremot bör terrasserna vara solbelysta eftersom vi där vill ha en diversifierad flora och ge förutsättningar för växter att uppta föroreningar och skydda mot erosion. Det är alltså fördelaktigt att mittfåran skuggas, men inte terrassen. En variant är att plantera träd eller buskar, t.ex. fläder, längs dikets södra krön (med kraftig släntlutning) för beskuggning av fåran och endast göra en terrass norr om mittfåran som inte beskuggas.

3 Lägre vattennivå och hastighet

Ett syfte med tvåstegsdesignen är att sänka vattenhastigheten och vattennivån vid höga flöden och därmed bland annat minska erosion och släntskred. Vid utformningen av ett dike är det viktigt att bestämma sig för vilka vattenstånd och flöden som är dimensionerande och hur dessa påverkar utformningen av diket. Den hydrauliska påverkan från friktionen i fåran och på terrassen är också viktig att undersöka, speciellt som den kan variera kraftigt beroende på punkt i diket, årstid och skötsel. Vattenståndet påverkas också av randvillkoren nedströms, oavsett om det är ett vanligt dike eller ett tvåstegsdike. Med utformningen kan man påverka vattenstånd och vattenhastighet medan flödet är givet av klimatet, avrinningsområdets storlek och markanvändningen.

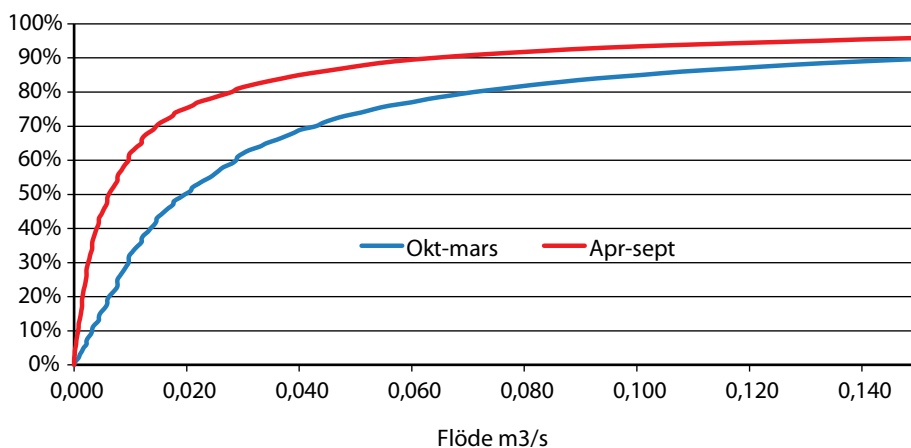
3.1 Dimensionerande flöde

När det gäller tvåstegsdikenas hydrauliska dimensionering är frågan dels vid vilket flöde det är önskvärt att vattennivån ska gå över mittfårans kant och strömma ut över terrassen, dels vid vilket flöde vattennivån ska tillåtas stiga över dikeskrönet och strömma ut över åkermarken. Frågan kan också ställas: Hur ofta och hur länge önskar vi/kan vi acceptera att vattnet befinner sig på terrassen respektive åkern? I det senare fallet blir normalt svaret 5-15 årsflödet beroende på kostnaden för de skador som kan orsakas av höga flöden. I det förra fallet finns det flera aspekter att ta hänsyn till, se Tabell 3.1.

Tabell 3.1. Vattenståndet i tvåstegsdike och dess inverkan på omgivningen

Dränering av åkermark	Vattenytan bör vara låg under vegetationsperioden och gå upp på terrassen vid höga flöden. Vid höga flöden bör diket vara så brett att brukningsproblem inte uppkommer vår och höst pga högt vattenstånd.
Reduktion av N och P	Vattnet bör i normalfallet vara uppe på terrassen för att utnyttja den fastläggning/sedimentation och det upptag av näring i växter som sker på terrassen.
Minska skadlig erosion	Vattnet bör gå upp på terrassen vid höga flöden så vattenhastigheten och därmed erosionen minskar.
Underlätta för önskvärd vegetation (som upptar näringsämnen och ökar stabiliteten)	Under vegetationsperioden bör vattennivån helst ligga strax under terrassen så att växterna kan suga upp vatten, men inte så högt att växter och träd dränks.
Gynna biologisk mångfald, växter	Om man vill gynna våtmarksvegetation bör vattenytan ligga över terrassen. Annars är en lägre men varierande nivå önskvärd för en bredare artrikedom.
Gynna biologisk mångfald, akvatiskt liv	Fåran bör vara så djup och smal att den håller en viss vattennivå även under torrtider. Helst ska det vara strömmande vatten så att botten får en "sten/gruspäls". Detta beror av områdets lutning vilken bara kan påverkas längs kortare sträckor.
Underlätta underhåll	Vattnet bör ligga nere i fåran. Då kan maskiner komma åt att klippa och underhålla vegetation på terrassen i torrhet. Gäller speciellt under vegetationsperioden.

En lämplig början är att ta fram ett dygnsbaserat varaktighetsdiagram för årsflöden och sommarflöden, se Figur 3.1. Fåran kan därefter dimensioneras exempelvis för sommarflödets 75 % - percentil, dvs. ett flöde som överskrids under 25 % av sommaren, eller medelflödet. Diket som helhet kan t.ex. utformas för 10-årsflödet, beroende på omgivande markanvändning med mera.

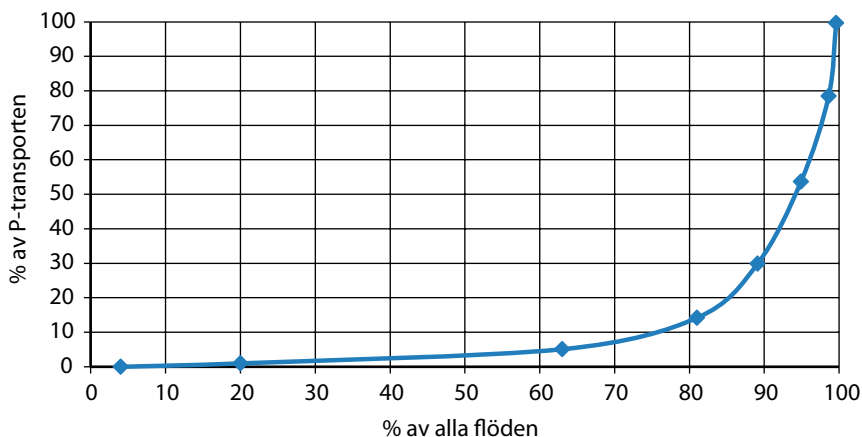


Figur 3.1. Exempel på varaktighetsdiagram för flöde vinter respektive sommar. Diagrammet visar t.ex. att flödet är mindre än 40 l/s under 68 % av tiden under perioden oktober-mars.

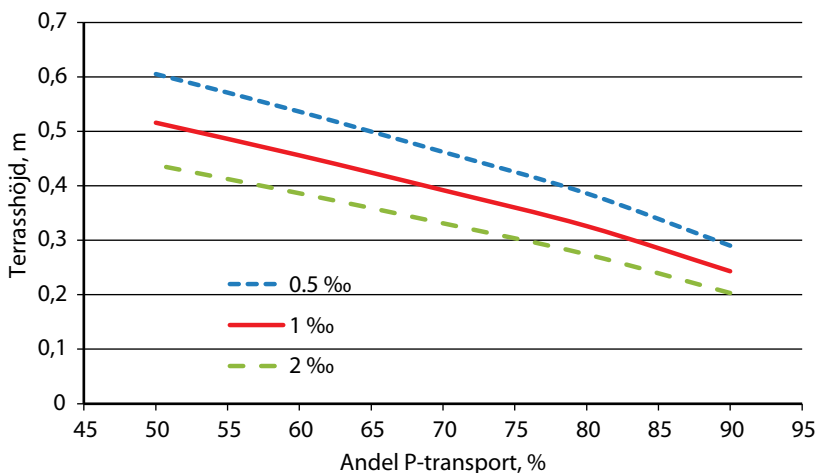
Om näringsretentionen prioriteras och man har en uppfattning om hur mycket näringsämnen som transporteras för olika flöden, kan den informationen användas vid dimensioneringen. För ett jordbruksdike i Östergötland har ett samband mellan flöde och transport av partikulärt fosfor tagits fram. Sambandet visar hur stor andel av fosfor som transporteras vid flöden lägre än ett visst värde. Flödernas varaktighet har sedan plottats mot andelen transporterad totalfosfor, Figur 3.2.

Diagrammet visar till exempel att 15 % av den totala fosfortransporten sker vid flöden som tillhör de lägsta 80 % av alla flöden. Det kan också uttryckas så att 70 % av fosfortransporten uppkommer vid 10 % av tiden (då de högsta flödena förekommer). Med detta som underlag kan man till exempel anpassa terrassens höjd så att vattennivån når upp till terrassen för flöden som transporterar mer än en viss andel av fosfor. Vill man att en större andel av fosfor ska få chansen att sedimentera på terrassen får man lägga terrassen på en lägre nivå. I Figur 3.3 redovisas detta tänkesätt för ett dike.

På lång sikt kommer det att utformas en fåra och terrass på naturlig väg i diket. I amerikansk litteratur anger man att den naturliga fåran är anpassad för ett flöde som återkommer 0,5-2 ggr per år. Enligt Ward m.fl. (2004) är flödena högre i täckdikade jordbruksområden vilket gör att vattnet stiger över terrassen flera gånger per år. Kallio m.fl. (2010) mätte in naturliga terrassbildningar längs tio jordbruksdiken i Ohio och beräknade vilka flöden som ger vattennivåer över dessa. Resultatet var att nivåerna korresponderade mot flöden som var 25-35 % av tvåårsflödet och att vattnet steg över terrassen 10-50 gånger per år. Med tanke på miljöaspekterna, se avsnitt 5, är det positivt om vattnet rinner in över terrassen så ofta som möjligt, men då uppnås inte den lågsiktiga stabilitet/jämvikt i systemet som uppkommer om terrassens nivå är den som naturligt bildas i dikessystemet.



Figur 3.2. Andel av total transport av fosfor som sker vid olika flöden för ett dike i Östergötland. Diagrammet visar t.ex. att 80 % av alla flöden under ett år transporterar 15 % av all fosfor.



Figur 3.3. Nivå på terrassen för att en viss andel av transporterat fosfor ska kunna få chansen att sedimentera på terrassen. Simuleringen gjordes för ett tvåstegsdike med Mannings tal 20, bottenbredd 0,5 m, släntlutning 1:1,5 och för tre bottenlutningar 0,5 ‰, 1 ‰ och 2 ‰. I det aktuella diket transporteras ca 15 % av fosfor vid flöden som är lägre än medelflödet.

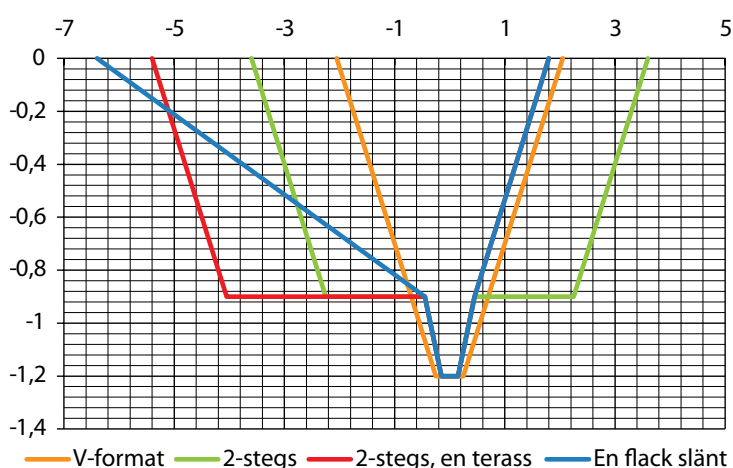
När det dimensionerande flödet, Q_{dim} , valts vidtar designen för att erhålla den önskade vattennivån och korresponderande vattenhastighet. Dessa beror av dikets geometri, dess friktionsparametrar och randvillkor.

Vid låga flöden, när vattnet håller sig inom fåran och inte stiger upp till terrassen, är strömningsförhållandena lika de i ett vanligt trapetsformat dike. Hastigheten är störst mitt mellan dikeskanterna och strax under vattenytan. I närheten av kanter och botten minskar hastigheten. När vattenytan stiger över terrassen och rinner ut över densamma förändras strömningsbilden och strömning tvärs diket gör sig gällande.

3.2 Vattennivån beror av dikets tvärsektion

Tvåstegsdiket är hydrauliskt mer komplicerat än det traditionella diket eftersom strömningsmönstret förändras när vattnet når upp över terrassen. Hastigheten är högst i fåran och lägre på terrassen eftersom terrassen är bredare och vanligtvis har mer vegetation. Om man främst är intresserad av vattendjup och medelhastighet i dikesektionen kan beräkningar med enkla endimensionella modeller ändå ge användbara resultat.

AEC är ett program för semianalytisk lösning av tvådimensionella strömningsproblem, Samuels mfl. (2002). Här har fyra typer av dikesektioner jämförts med avseende på vattenstånd och medelhastighet samt hastighet och skjuvspänning tvärs dikesektionen vid två typiska bottenlutningar 0,5 ‰ och 2 ‰. Skjuvspänningen är den kraft per ytenhet som verkar eroderande på dikets botten och sidor. Typsektionerna framgår av Figur 3.4.



Figur 3.4. Typsektioner som använts i simuleringarna.

Fåran (i tvåstegsdikena) och dikesbotten i det konventionella diket antogs vara väl underhållna och gavs Mannings tal 33. Terrasserna och dikesslätten gavs Mannings tal 16, motsvarande en gräsbevuxen slänt.

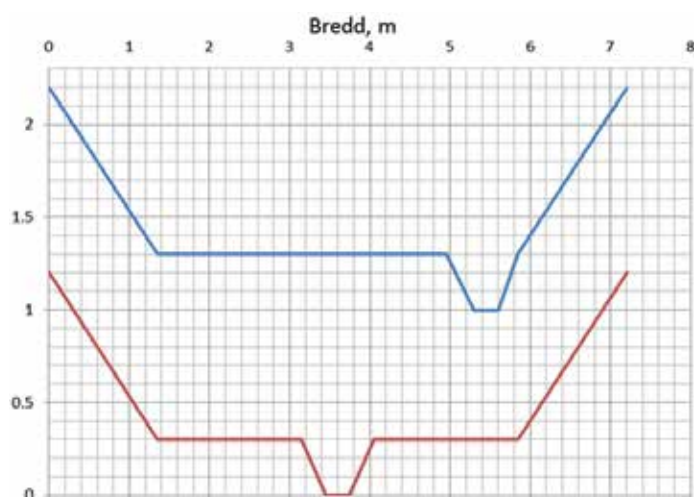
Simuleringarna visade att vattennivån för ett givet flöde var högst för det konventionella diket och lägst för tvåstegsdiket. Vattennivån för ett dike med en flack slänt hamnade däremellan. Vattennivån är lägre ju större lutning dikets botten har. Vid flödet 2 m³/s och lutningen 0,5 ‰ är t.ex. vattennivån i ett tvåstegsdike drygt 0,5 m lägre än nivån i ett trapetsformat dike. Motsvarande nivåskillnad är drygt 0,4 m vid 2 ‰ bottenlutning.

Medelhastigheten är också störst i det trapetsformade diket. Medelhastigheten för övriga diken visar att hastigheten är lägre för tvåstegsdikena än för diket med flack slänt för flöden upp till ca 0,8 m³/s (bottenlutning 0,5 ‰) resp. 1,8 m³/s (bottenlutning 2 ‰). Därefter blir medelhastigheten lägre för diket med flack slänt. En intressant notering är att medelhastighet sjunker i ett tvåstegsdike när vattennivån når upp till terrassen (trots att flödet ökar) för att sedan öka.

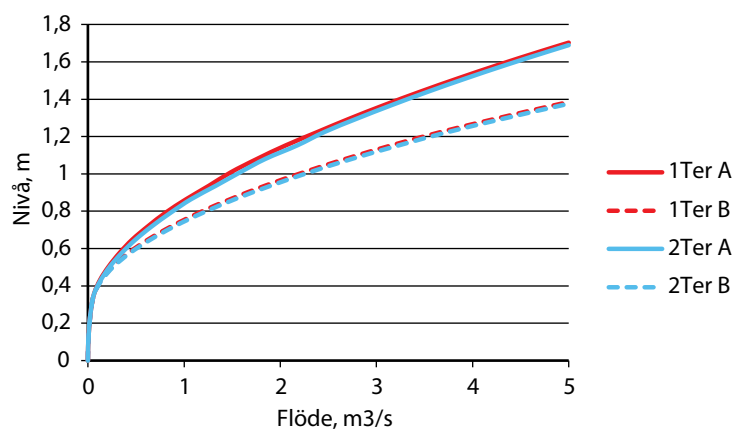
När man studerar hastigheten i olika delar av dikeströvsnittet ser man att maxhastigheten i det konventionella diket är ca dubbelt så hög i dikesmitt jämfört med övriga dikestyper. I alla typer är hastigheten högst i mitten av fåran, men hastighetsminskningen från mitten och utåt sidorna i ett och samma dike är mest dramatisk i det trapetsformade diket.

För det konventionella diket är skjuvspänningen störst i mittfårans botten. För tvåstegsdikena är påkänningen störst i övergången mellan fåra och terrass. Om bottenlutningen ökar fyra gånger från 0,5 till 2 ‰ ökar också skjuvspänningen fyra gånger.

Med programmet AEC simulerades tvåstegsdiken med en- respektive två terrasser med totalt lika stor terrasyta, se Figur 3.5. De båda dikestyperna simulerades med en välklippt fåra, $M=30$, och en terrass som i ena fallet var välklippt längs halva terrassen, $M=25$, och halva terrassen var buskar och träd, $M=10$, (fall A) och i andra fallet (B), var terrassen välklippt i sin helhet ($M=25$). Vattennivå och medelhastighet framgår av Figur 3.6 och 3.7. Lokala, djupintegrerade, vattenhastigheter längs dikenas tvärsnitt framgår av Figur 3.8 - 3.10.

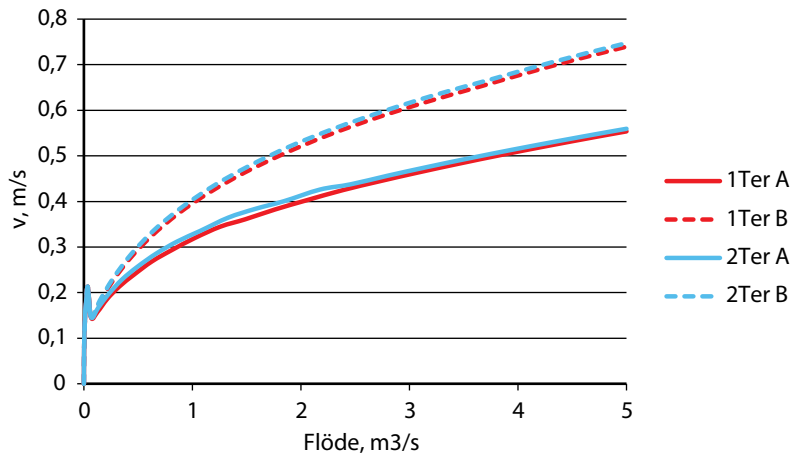


Figur 3.5. Tvåstegsdiken med en- resp. två terrasser.

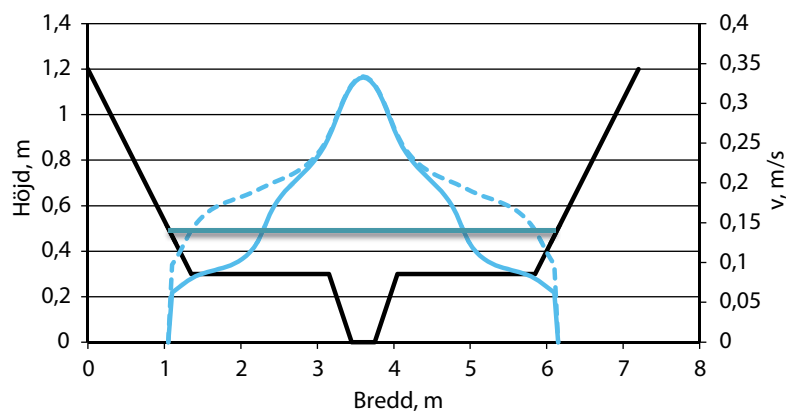


Figur 3.6. Vattennivå för tvåstegsdiken med en- (rött) respektive två (blått) terrasser. I fall

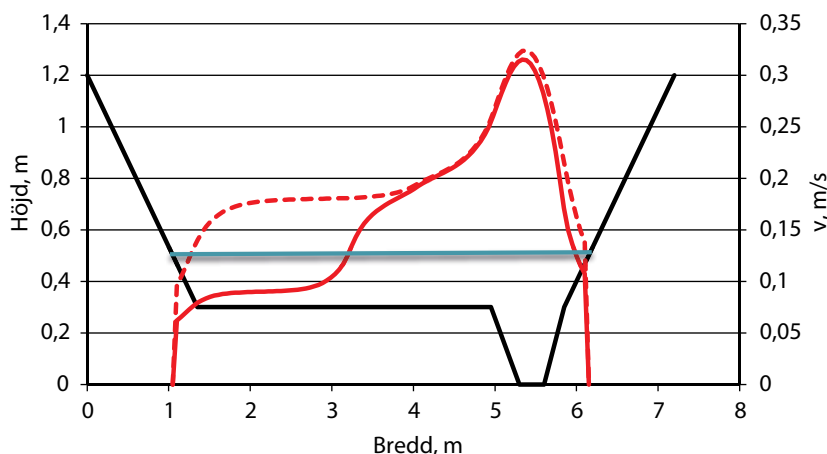
A är terrassen delvis bevuxen med buskar och träd och i fall B är terrassen välklippt gräs. Heldragen linje (A) innebär Mannings tal i fåran $M=30$, halva terrassen $M=25$ och halva terrassen $M=10$. Streckad linje (B) innebär Mannings tal i fåran $M=30$ och terrassen $M=25$.



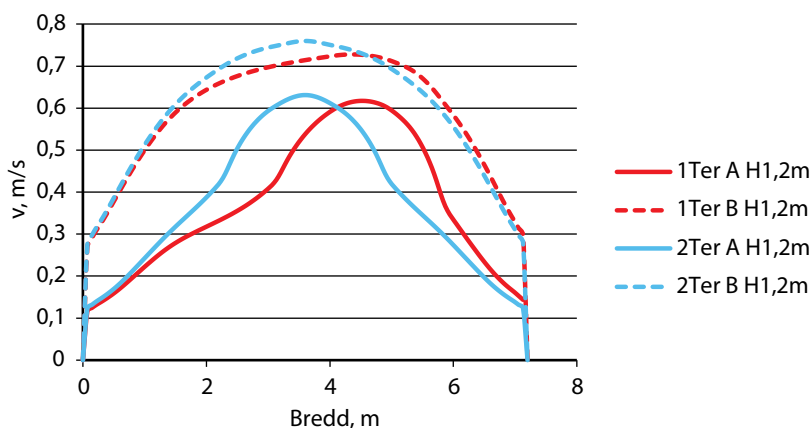
Figur 3.7. Medelvattenhastighet som funktion av flödet för tvåstegsdiken med en- (rött) respektive två (blått) terrasser. I fall A är terrassen delvis bevuxen med buskar och träd och i fall B är terrassen välklippt gräs. Heldragen linje (A) innebär Mannings tal i fåran $M=30$, halva terrassen $M=25$ och halva terrassen $M=10$. Streckad linje (B) innebär Mannings tal i fåran $M=30$ och terrassen $M=25$.



Figur 3.8. Vattenhastighet tvärs tvåstegsdiken med två terrasser. I fall A är terrassen delvis bevuxen med buskar och träd och i fall B är terrassen välklippt gräs. Heldragen linje (A) innebär Mannings tal i fåran $M=30$, halva terrassen $M=25$ och halva terrassen $M=10$. Streckad linje (B) innebär Mannings tal i fåran $M=30$ och terrassen $M=25$. Vattennivån är $0,5$ m, heldragen horisontell linje.



Figur 3.9. Vattenhastighet tvärs tvåstegsdiken med en terrass. I fall A är terrassen delvis bevuxen med buskar och träd och i fall B är terrassen välklippt gräs. Heldragen linje (A) innebär Mannings tal i fåran $M=30$, halva terrassen $M=25$ och halva terrassen $M=10$. Streckad linje (B) innebär Mannings tal i fåran $M=30$ och terrassen $M=25$. Vattennivån är 0,5 m, heldragen horisontell linje.



Figur 3.10. Vattenhastighet tvärs samma tvåstegsdiken som i tidigare figurer men med högre vattennivå, 1,2 m. I fall A är terrassen delvis bevuxen med buskar och träd och i fall B är terrassen välklippt gräs. Röda linjer betecknar en terrass och blåa linjer två terrasser. Heldragen linje (A) innebär Mannings tal i fåran $M=30$, halva terrassen $M=25$ och halva terrassen $M=10$. Streckad linje (B) innebär Mannings tal i fåran $M=30$ och terrassen $M=25$.

I figurerna 3.8 – 3.10 framgår det att vattenhastigheten är betydligt högre i mittfåran än på terrasserna och att hastigheten beror av växtligheten i fåra resp. terrass (återspeglas i Mannings tal). Skillnaderna är obetydliga för fallen en eller två terrasser om den totala terrasslängden är lika. Den andel av flödet som går i fåran resp. på terrassen är i figurerna 3.8 och 3.9 ca 40 % i fåran och ca 60 % på terrassen i fallet med $M=25$ på terrassen och ca 50/50 i fallet med $M=25$ och 10 på terrassen (mer vegetation).

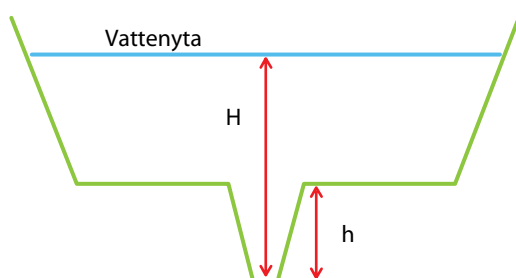
När flödet ökar, ökar också vattennivån och hastigheten. När vattennivån stiger minskar påverkan av vegetationen och hastighetsskillnaderna mellan fåra och terrass minskar som framgår av Figur 3.10.

Vattenhastigheterna ovan är typiska längs raka diken där hastigheten tvärs diket är liten. I meandrande vattendrag och i krökar varierar hastigheten i tvärsnittet på ett mer komplicerat sätt. Där kan hastigheten efter en dikesböjs utsida t.o.m. bli större på terrassen än i fåran, Rameshwaran m.fl. (2008). Orsaken till det är att den förhöjda hastigheten i kröken kanaliseras till efterföljande terrass, dvs. i tangentens riktning. Om terrassen lutar mot fåran kan hastigheten i flödets riktning bli större än om terrassen är plan. Det medför att en större andel av vattnet då strömmar fram i fåran för lika vattennivåer i fallet med plan och lutande terrass.

I samband med beräkningar på tvåstegsdiken används begreppet relativt flödesdjup (D_r), vilket definieras som:

$$D_r = (H-h)/H$$

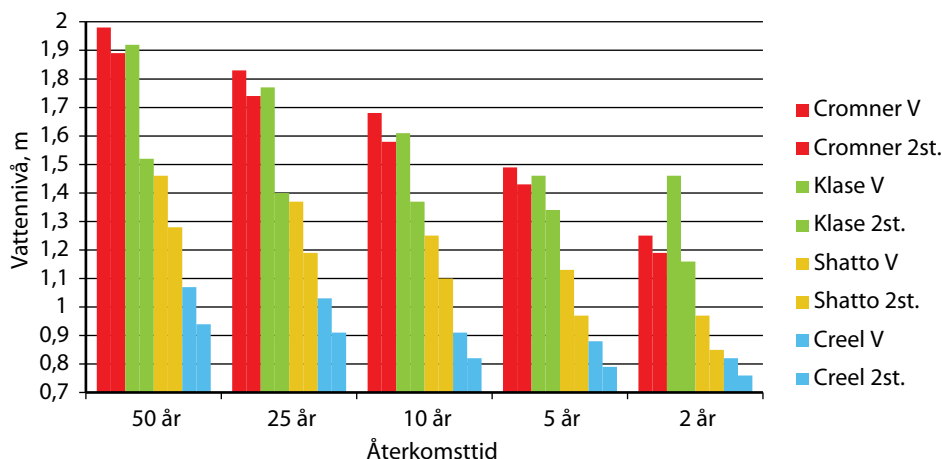
Där H och h framgår av Figur 3.11.



Figur 3.11. Definition av relativt flödesdjup, D_r . $H-h$ är alltså avståndet från vattenytan till terrassen. $D_r=0$ innebär alltså att vattenytan når upp till terrassen.

Rameshwaran m.fl. (wwwa) presenterade ett diagram utifrån mätningar och matematisk modellering av en tvåstegskanal med en yta av sand. Diagrammet visar att sedimenttransporten först minskar när vattnet stiger över fåran för att uppnå ett minimum vid $D_r=0,2$. Därefter ökar erosionen när vattenytan stiger ytterligare. För en fåra som är 0,5 m hög innebär det att lägst sedimenttransport uppkommer när vattnet går upp 0,12 m på terrassen. Orsaken till att erosionen minskar beror på att det uppstår ett sekundärt flöde från terrassen till fåran som genererar skjuvkrafter som minskar hastigheten i fåran. Därefter ökar sedimenttransporten med stigande vattennivå. Liknande effekt anges också i Ismael och Shiono (2006).

Om ett vanligt dike byggs om till ett tvåstegsdike kan både vattenstånd och medelhastighet bli lägre. Frågan är om detsamma gäller för flödestopp, dvs. kan ett tvåstegsdike magasinera vattnet bättre vid en flödestopp så att det resulterande flödet i diket blir lägre än vad det skulle bli i ett konventionellt dike? Kallio (2010) beräknade högflöden och vattenstånd för återkomsttider 2-100 år för fem diken som byggts om till tvåstegsdiken. Medellängden för dikena var ca 600 m, förhållandet total terrassbredd/fårans dagbredd var lägre än 5:1 och randvillkor i nedströmsänden sattes till en fix nivå (normaldjupet). Beräkningarna visade att minskningen av de högsta flödena var minimal, $< 0,5 \%$. För att undersöka hur mycket terrassyta som behövs för att tydligt sänka toppflödena simulerades ett helt avrinningsområde, dvs. alla diken omformades till tvåstegsdiken i modellen. Resultatet var att inte heller nu kunde någon minskning av toppflödena registreras. Enligt Kallio (2010) motsägs emellertid detta resultat av andra studier. Vattennivåerna sänktes med 5-25 %, se Figur 3.12.



Figur 3.12. Vattennivån före (V) och efter (2st.) ombyggnad av dike till tvåstegsdike för tre diken vid olika återkomsttider för flöde, efter Kallio (2010).

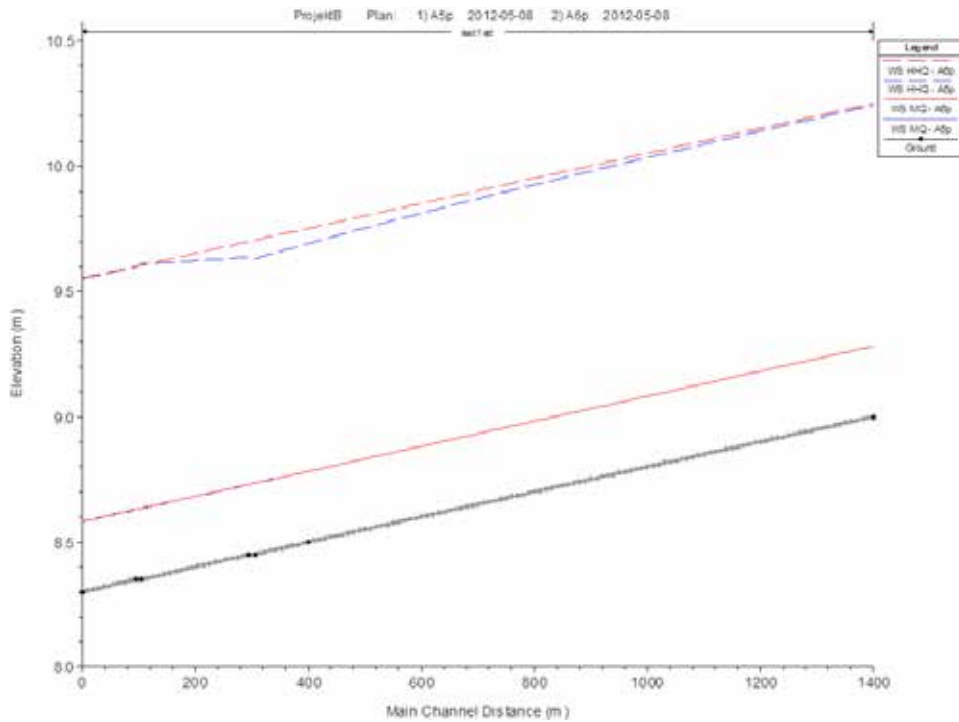
3.3 Vattennivån beror av dikets längd

För att undersöka hur kopplingen av tvåstegsdike och trapetsformade diken med varierande längd inverkar på vattenståndet simulerades några fall med programmet HEC-RAS enligt nedan:

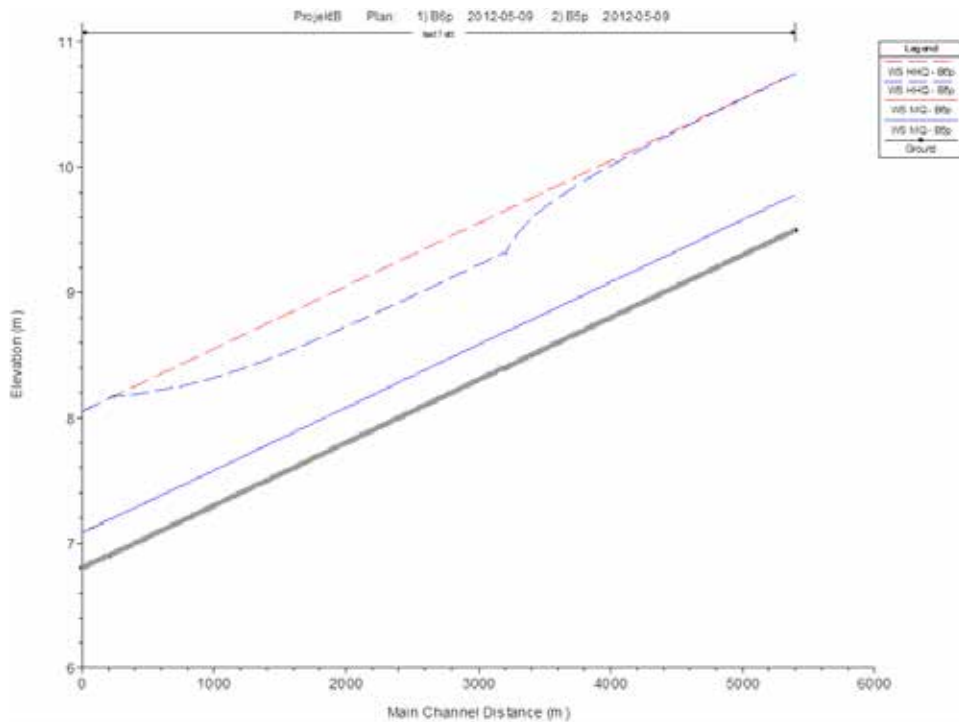
Fall	Dikesavsnittens längd, med början nedströms, och därunder Mannings tal				
1	95 m v-dike	10 m övergång	190 m 2stdike	10 m övergång	1095 m v-dike
A1	$M_{\text{terrass}} = 12, M_{\text{fära}} = 25, M_{\text{slänt}} = 25, M_{\text{vdike}} = 25$				
B1	$M_{\text{terrass}} = 20, M_{\text{fära}} = 20, M_{\text{slänt}} = 20, M_{\text{vdike}} = 20$				
C1	$M_{\text{terrass}} = 20, M_{\text{fära}} = 5, M_{\text{slänt}} = 20, M_{\text{vdike}} = 20$ (och $M = 5$ i botten)				
2	195 m v-dike	10 m övergång	2990 m 2stdike	10 m övergång	2195 m v-dike
A2	$M_{\text{terrass}} = 12, M_{\text{fära}} = 25, M_{\text{slänt}} = 25, M_{\text{vdike}} = 25$				
B2	$M_{\text{terrass}} = 20, M_{\text{fära}} = 20, M_{\text{slänt}} = 20, M_{\text{vdike}} = 20$				
C2	$M_{\text{terrass}} = 20, M_{\text{fära}} = 5, M_{\text{slänt}} = 20, M_{\text{vdike}} = 20$ (och $M = 5$ i botten)				
D	1000 m 2stdike	10 m övergång	100 m v-dike	10 m övergång	1000 m 2stdike
	$M_{\text{terrass}} = 12, M_{\text{fära}} = 25, M_{\text{slänt}} = 25, M_{\text{vdike}} = 25$				

Vattendragens skrovlighet eller friktion varierar med jordart, meandring och växtlighet. Ett $M=5$ motsvarar ett mycket kraftigt igenväxt dike och $M=25$ motsvarar ett underhållet dike med gräs.

Diket utformades så att den totala bredden för mittfåran och terrasserna var $5w$ (rekommendation $3-5w$) där w är mittfårans dagbredd. I de simulerade fallen var det två terrasser vardera med bredden $2,8 m$. Ovanstående fall simulerades för två flöden, medelflöde MQ $0,045 m^3/s$ respektive högvattenflöde, HHQ $1,3 m^3/s$. I samtliga fall var bottenlutningen konstant $0,5 ‰$ och randvillkoren nedströms sattes till det naturliga djupet för det dike, trapetsformat eller tvåstegsdike, som placerats där. I figurerna nedan jämförs vattennivån för de olika fallen med ett trapetsformat dike med samma bottenbredd, $0,5 m$, och med samma skrovlighet, Mannings tal, som tvåstegsdikena.

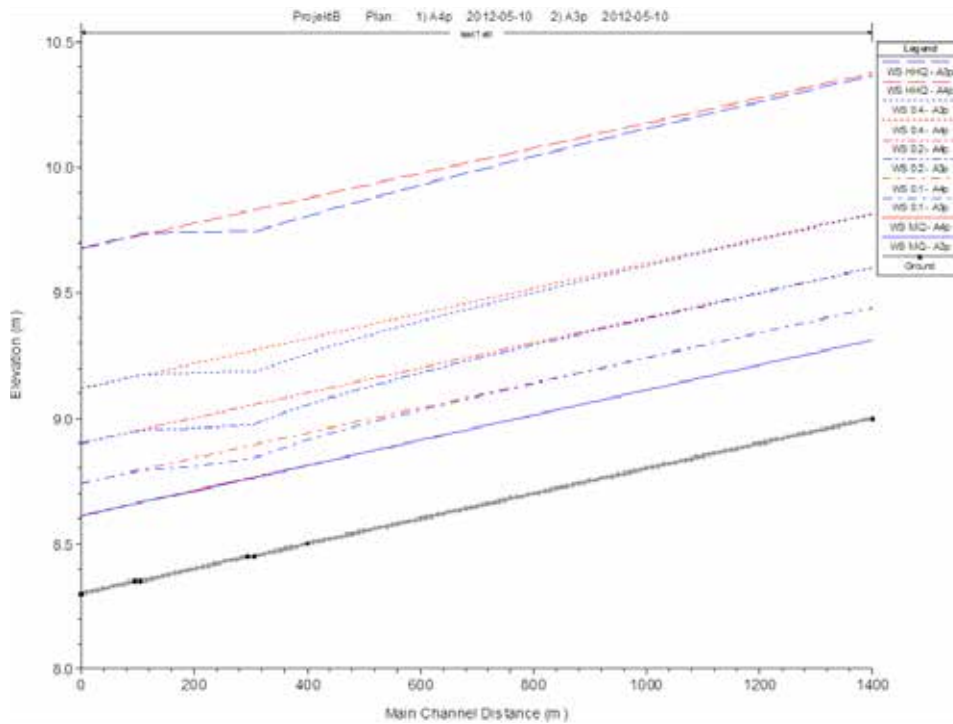


Figur 3.13. Fall A1. Kraftig vegetation på terrassen, välklippt fåra. 1400 m lång sträcka. Röd streckad linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid högvattenflöde. Blå streckad linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid högvattenflöde. Röd heldragen linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid medelvattenflöde. Blå heldragen linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid medelvattenflöde. Linjerna för medelvattenflöde ligger på varandra.

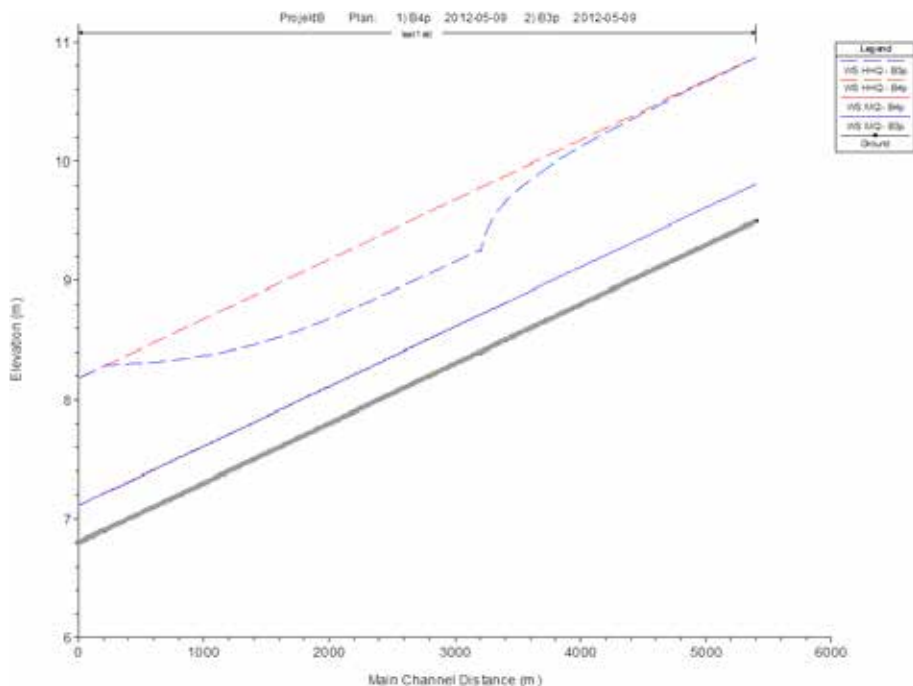


Figur 3.14. Fall A2. Kraftig vegetation på terrassen, välklippt fåra. 5400 m lång sträcka. Röd streckad linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid högvattenflöde. Blå streckad linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid högvattenflöde. Röd heldragen linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid medelvattenflöde. Blå heldragen linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid medelvattenflöde. Linjerna för medelvattenflöde ligger på varandra.

I fall A jämförs ett underhållet trapetsformat dike med ett tvåstegsdike med mycket vegetation på terrassen men med underhållen fåra. Trots att det är mycket växter i tvåstegsdiket blir vattenytan lägre vid högvattenflödet än motsvarande nivå för trapetsformat dike. Som framgår blir sänkningen liten, max 8 cm vid högvattenflödet (HHQ), när tvåstegsdiket är kort, fall A1 i Figur 3.13. Om tvåstegsdiket är långt sänks vattenytan i tvåstegssektionen med 33 cm, fall A2 i Figur 3.14. Vid medelvattenflödet blir det ingen sänkning.



Figur 3.15. Fall B1. Samma vegetation/friktion överallt, kraftigt gräs. 1400 m lång sträcka. Vattennivåerna visar skillnaden mellan tvåstegsdiken och trapetsformat dike för flödena (nerifrån och upp): 0,045 m³/s, 0,1 m³/s, 0,2 m³/s, 0,4 m³/s och 1,3 m³/s.



Figur 3.16. Fall B2. Samma vegetation/friktion överallt, kraftigt gräs. 5400 m lång sträcka. Röd streckad linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid högvattenflöde. Blå streckad linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid högvattenflöde. Röd heldragen linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid medelvattenflöde. Blå heldragen linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid medelvattenflöde. Linjerna för medelvattenflöde ligger på varandra.

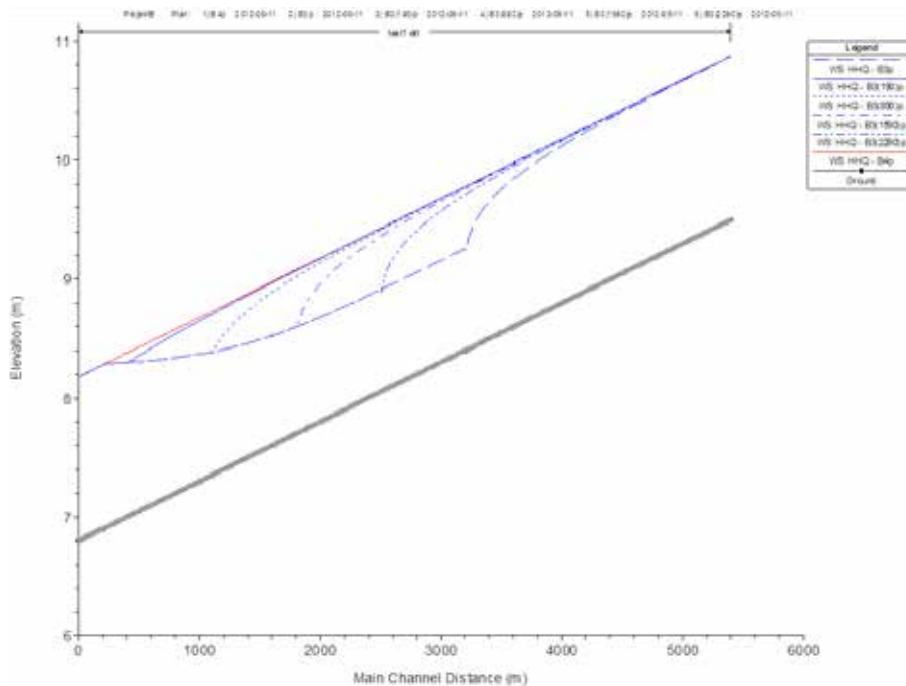
Om terrassen klipps minskar friktionen, se fall B i Figur 3.15 - 3.16, och vattenytan sänks. I tvåstegssektionen sker en sänkning relativt trapetsdiket med 9 cm respektive 52 cm vid högvattenflödet för den korta resp. den långa sträckan. Vid medelvattenflödet blir det ingen sänkning.

För detta fall simulerades också inverkan av olika flöden, se tabell 3.2. Skillnaden i vattennivå mellan tvåstegsdike och trapetsformat dike ökar med ökat flöde, speciellt om tvåstegsdiket är långt.

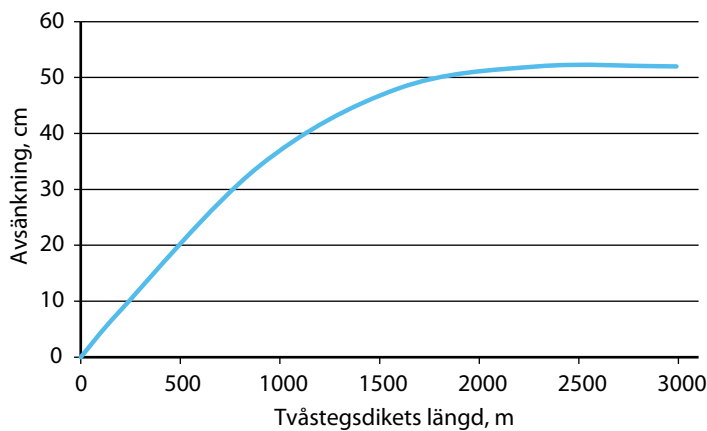
Tabell 3.2. Avsänkningen av vattenytan i ett kort resp. långt tvåstegsdike i jämförelse med ett trapetsformat dike för olika flöden.

Flöde m ³ /s	Kort dike, 190m Avsänkning, cm	Långt dike, 2990 m Avsänkning, cm
0,045 (MQ)	0	0
0,1	5	7
0,2	8	16
0,4	9	27
0,8	9	41
1,3 (HHQ)	9	52

Avsänkningens inverkan av dikets längd simulerades genom att stegvis öka diket från 190 m till 2990 m för ett och samma flöde, HHQ. Resultatet framgår av Figur 3.17 och 3.18.



Figur 3.17. Samma vegetation/friktion överallt, kraftigt gräs. Avsänkning av vattenytan jämfört med trapetsformat dike (röd linje) för varierande längd på tvåstegsdiket 190, 890, 1590, 2290 respektive 2990 m.

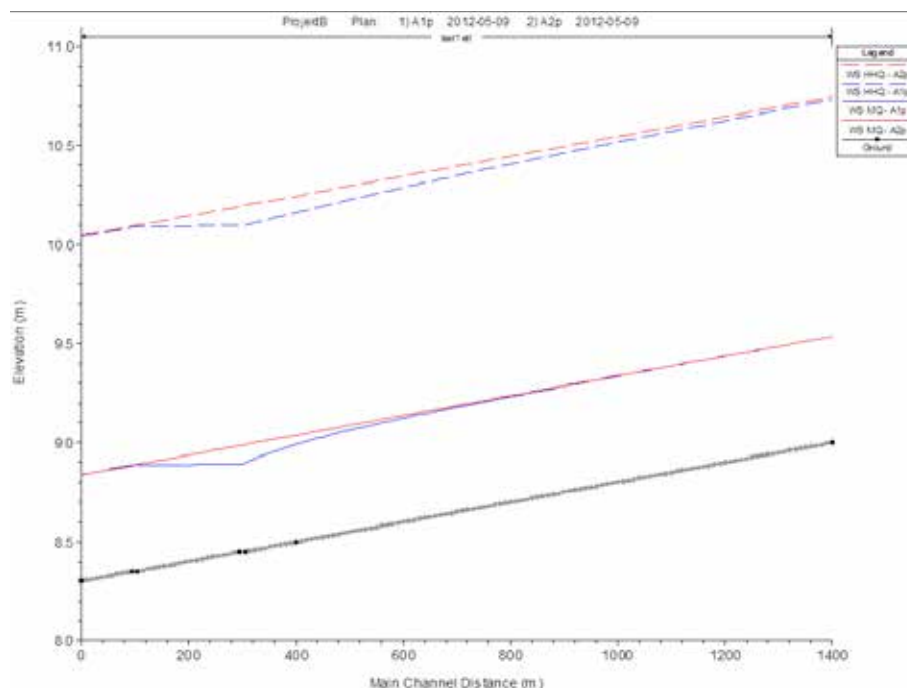


Figur 3.18. Fall B. Samma vegetation/friktion överallt, kraftigt gräs. Avsänkningen som funktion av tvåstegsdikets längd vid flödet HHQ.

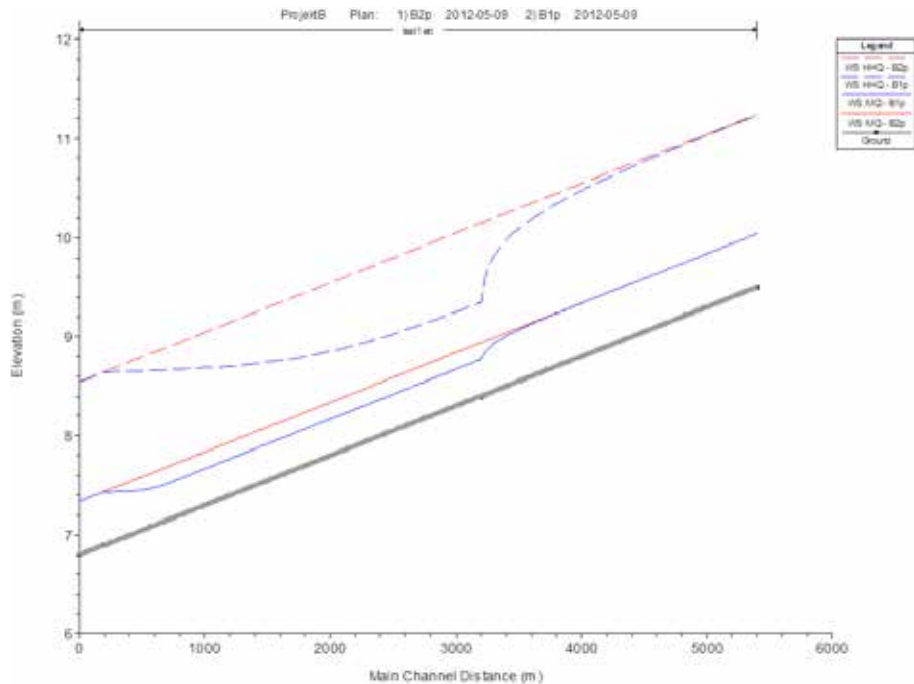
Figur 3.18 visar att tvåstegsdikets längd är en viktig faktor när det gäller att hålla nere vattennivån vid höga flöden. I det aktuella fallet uppnås den maximala sänkningen för ett ca 2 km långt dike. Avsänkningseffekten är betydligt större för den första kilometern tvåstegsdike jämfört med den andra kilometern. Som framgår av Figur 3.17 sträcker sig effekten av tvåstegsdiket drygt 0,5 km uppströms sektionen där tvåstegsdiket börjar.

I fall C, Figur 3.19 och 3.20, är mittfåran i tvåstegsdiket och motsvarande bottenyta i trapetsdike igenväxt. Terrass respektive slänt i dikena är i samma ”normalskick” som tidigare. Jämfört med fall A och B blir vattendjupet nu större både

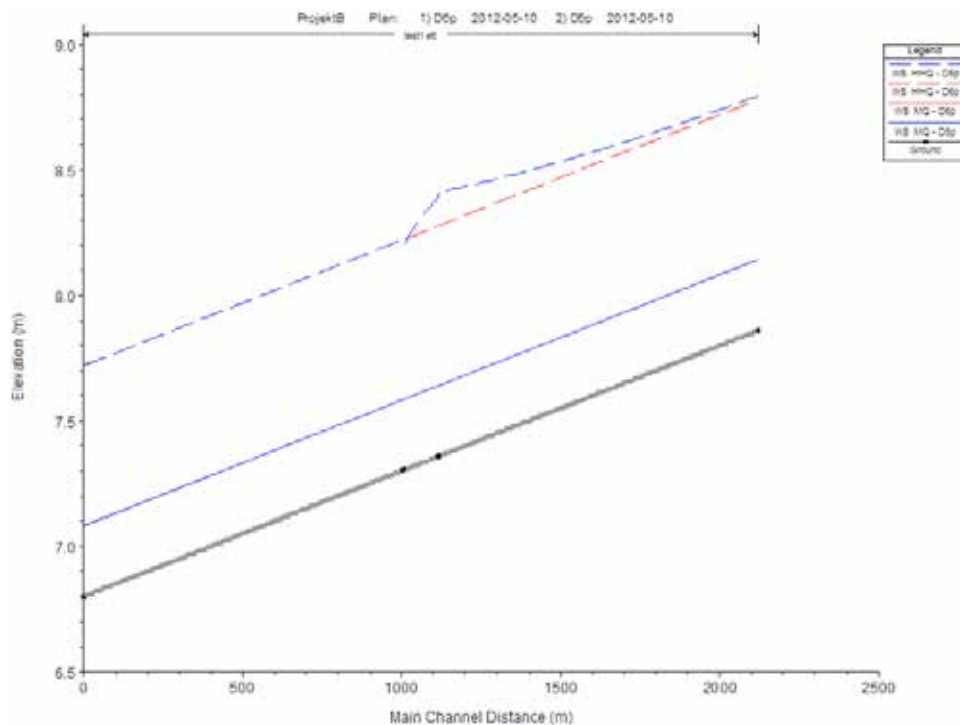
för tvåstegsdiket och trapetsdiket vid låga flöden. Vattennivån stiger därför över terrassen även för MQ och nivåskillnaden mellan de två dikestyperna blir alltså märkbar även vid låga flöden. Vid HHQ blir skillnaden 80 cm och vid MQ 10 cm för den långa sträckan (fall C2).



Figur 3.19. Fall C1. Igenväxt mittfåra i båda dikestyperna. 1400 m lång sträcka. Röd streckad linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid högvattenflöde. Blå streckad linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid högvattenflöde. Röd heldragen linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid medelvattenflöde. Blå heldragen linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid medelvattenflöde.



Figur 3.20. Fall C2. Igenväxt mittfåra i båda dikestyperna. 5400 m lång sträcka. Röd streckad linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid högvattenflöde. Blå streckad linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid högvattenflöde. Röd heldragen linje visar vattennivån för trapetsformat dike vid medelvattenflöde. Blå heldragen linje visar vattennivån för tvåstegsdike vid medelvattenflöde.



Figur 3.21. Fall D. 100 m trapetsformat dike, sträckan 1000-1100, mellan två stycken 1 km långa tvåstegsdiken. Kraftig vegetation på terrassen, välklippt fåra. Röd streckad linje visar vattennivån för tvåstegsdike utan trapetsformat dike vid högvatten. Blå streckad linje visar vattennivån för tvåstegsdike med trapetsformat dike vid högvatten. Motsvarande heldragen röd och blå linje för medelvattenflöde (ligger på varandra).

Om man ska bygga ett tvåstegsdike kan det finnas hinder på vägen som gör att man måste smalna av diket längs en kortare sträcka. Detta fall simuleras i fall D, Figur 3.21. Effekten blir att dämning uppstår och vattenytan höjs i den smalare sträckan (trapetsformat dike) med 13 cm vid HHQ. 350 meter uppströms det trapetsformade dikets slut är ca hälften av förhöjningen fortfarande kvar. För MQ uppkommer ingen sådan effekt.

Sammanfattningsvis visar simuleringarna att möjligheterna att hålla nere vattenståndet med hjälp av tvåstegsdiken beror i stor utsträckning på de hydrauliska förhållandena nedströms. Om tvåstegsdiket ansluter till en trång sektion som trapetsformat dike, trumma, damm etc. kommer den avsänkande effekten att bli minimal om diket är kort. Om däremot tvåstegsdiket avslutas med ett fallbrott kommer vattenytan att bli klart lägre än för motsvarande trapetsformat dike. Effekten är också märkbart beroende av längden på tvåstegsdiket.

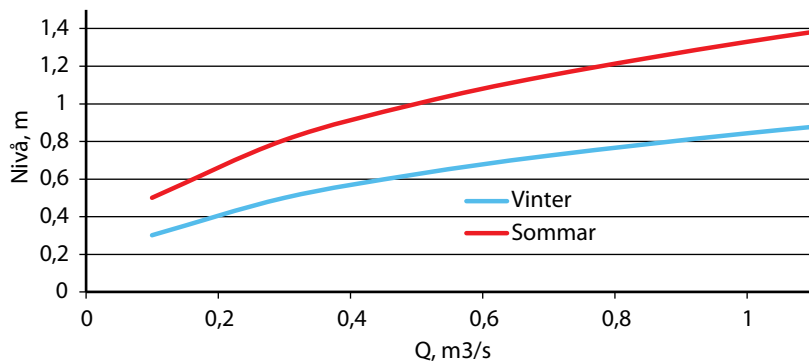
Vid låga flöden uppkommer ingen avsänkande effekt. Först när vattennivån nått över terrasskanten blir nivån lägre än för motsvarande trapetsformat dike. Vid högre flöden blir sedan effekten än mer märkbar. Om så är möjligt bör man undvika att bygga in dämmande hinder som avsmalningen i Fall D ovan.

Självklart påverkas vattennivån också av faktorer som inte simulerats här som, bottenlutning, fårans och terrassens bredd, släntlutningar etc.

3.4 Vattennivån beror av dikets skrovlighet

Vid hydrauliska beräkningar som vattenstånd, flöden, hastigheter etc. i diken är det mycket viktigt att känna till friktionsförhållandena. Vanligen används Mannings tal för att beskriva den sammanvägda friktionen av jordart, växter, meandering etc. Det säkraste sättet att ta fram Mannings tal är att utföra direkta mätningar i det aktuella vattendraget. Det görs bara i större projekt. Normalt tillvägagångssätt är att göra en ”ingenjörsmässig” bedömning med tanke på jordart och vegetation. Till hjälp finns tabellerade värden i t ex. Chow (1959). Variationen av Mannings tal kan vara stor i en och samma punkt i ett vattendrag beroende på flöde och årstid.

Årstidsvariationen beror framförallt av växtligheten. Vintertid kan ett vattendrag helt sakna växter, de är nervissnade eller täckta av snö och is, medan det är nästan igenväxt av vass, starr, kavedun etc. sommartid. Sådana variationer kan ge stora skillnader i friktionen och därmed Mannings tal. För ett långt dike med bottenbredden 0,5 m och släntlutningen 1:2 kan vattennivån för olika flöden variera för vinter och sommar enligt Figur 3.22.



Figur 3.22. Generellt exempel som visar vattennivån i ett dike sommartid, $M=10$, resp. vintertid, $M=30$, på grund av varierande påverkan av vegetation i diket. Figuren kan naturligtvis också ses som ett exempel på skillnaden mellan ett väl underhållet dike och ett igenväxt dike. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ motsvarar ungefär medelhögvattenflödet från 1000 ha mark i östra Svealand och Götaland.

Kunskapen om Mannings tal är speciellt viktig för tvåstegsdiken eftersom variationen kan vara stor mellan mittfåran och terrassen och eftersom olika skötselåtgärder inverkar kraftigt.

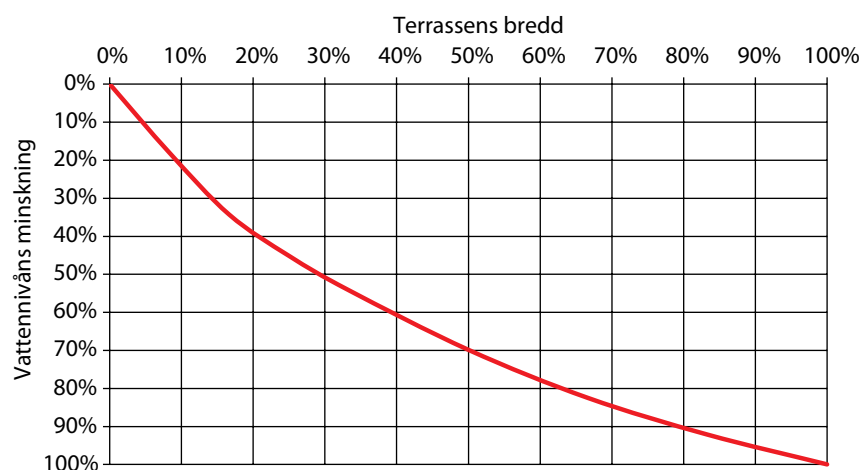
Sellin och van Beesten (2004) har gjort en intressant studie av friktionen, bestämd som Mannings tal, i en kanal i England. Med detaljerade mätningar under flera år har de kunnat bestämma M för olika årstider, lägen i kanalen och vid olika vattenstånd och flöden. Resultaten visar på en mycket tydlig årstidsvariation med höga, stabila M -värden vintertid och låga varierande M -värden sommartid. Vintertid var friktionen låg, M ca 20, eftersom vegetationen klippts och tagits bort under hösten. M minskade därefter ner till 5-10 från april till juli/augusti på grund av vegetationstillväxten för att sedan öka igen under hösten på grund av underhåll och vissning. Variationen var störst sommartid beroende på varierande tillväxtbetingelser.

I Finland har Västilä och Järvelä (2011) gjort undersökningar i ett års tid längs en 200 m lång sträcka med tvåstegsdike. De fann liknande resultat som Sellin och van Beesten (2004), dvs. Mannings tal varierade med årstiden och vattendjupet. För ett och samma vattendjup (vattennivån i fårans överkant) varierade Mannings tal för vår, sommar och höst som 11, 7 resp. 9. För höga vattenstånd, över terrassen var Mannings tal på våren 31 medan det var 11 under hösten.

Järvelä (2004) visade att friktionsfaktorn, f , på grund av buskar i vattnet kunde öka upp till sju gånger när bladen var fullt utvecklade jämfört med när de var bladlösa. Friktionsfaktorn minskade med ökad flödes hastighet. Typiskt var att den kunde halveras om hastigheten ökade kraftigt. En orsak till det är att bladytan riktad mot flödet minskar med ökad flödes hastighet. Om vegetationens täthet fördubblas fördubblas också friktionskoefficienten för både buskar med och utan blad. Friktionen för växter under vattnet beror till stor del av deras höjd jämfört med vattenytan. Då vattnet stiger över växterna minskar friktionskoefficienten kraftigt med vattennivåns höjd över växterna. Det är ett känt fenomen att Mannings tal är beroende av vattenståndet, egentligen den hydrauliska radien, och att det ökar när vattennivån stiger.

Mätningar och teoretiska beräkningar visar att hastigheten kan vara mycket högre i fåran jämfört med hastigheten på terrassen. Hur stor skillnaden är beror bland annat på friktionen längs tvärsnittet. Det är inte ovanligt att medelhastigheten är några gånger större i fåran jämfört med terrassen. Detta gör att en stor andel av flödet går i mitten av diket jämfört med flödet på terrasserna. Messal m fl. (2009) simulerade flödet i en tvåstegssektion med varierande täckning på terrassen av gräs respektive skog. När sektionen var helt skogsbeklädd gick 82 % av flödet i fåran och 18 % på terrassen. Om skogen ersattes med gräs, som innebar lägre friktion, gick 61 % av flödet i fåran och 39 % på terrassen. Förändringen var ungefär linjär från 0 till 100 % gräs/skog. Vattenytan sjönk också när gräs ersatte skog. En viktig aspekt att tänka på när tvåstegsdiken utformas är att ju lägre friktion det är på terrassen, dvs. ju bättre underhållen den är, desto större andel av flödet kommer att gå där.

Genom att göra en bredare terrass kan vattenytan sänkas. I Figur 3.23, med data från Messal m. fl. (2009), visas hur vattenytan sänks för ett och samma flöde när en gräsbevuxen terrass breddas. Friktionskoefficienten varierar med vattennivån (eg. den hydrauliska radien) i tvärsektionen. Förhållandet är icke-linjärt och icke-lineariteten ökar med flödets storlek. Avsänkningen av vattennivån vid breddning ökar i absoluta tal med ökande flöde.



Figur 3.23. Figuren visar hur vattenytan i ett tvåstegsdike sjunker när terrassens bredd ökar vid ett konstant flöde. Data från Messal m.fl (2009).

4 Näringsämnen fångas upp i diket

Tvåstegsdiken kan bidra till att transporten av kväve och fosfor minskar genom att en lämplig miljö skapas för att slutgiltigt eller temporärt lagra näringsämnena, och i kvävet fall också bryta ner det till kvävgas som avgår till luften. Upplagringen av växtnäring i diket sker genom sedimentation av partiklar, adsorption till organiska och oorganiska ytor, kemiska utfällningar med fosfat och järn/aluminium/kalcium samt växternas direkta rotupptag. Denna upplagring innebär att näringsämnena kan röra sig vidare i vattensystemet när växten eller mikroorganismen dör eller när högre flöden sköljer iväg sedimenterat material som inte fastlagts av rötter och överlagrande sediment. Permanent avgång från diket sker endast genom mikrobiell denitrifikation då nitrat reduceras till kvävgas (och en del lustgas) eller då växt- och jordmaterial avlägsnas från diket. För att denitrifikationen ska fungera krävs bakterier, lättillgängligt kol, syrefria förhållanden, temperatur över 0 °C och kväve i form av nitrat.

4.1 Amerikanska erfarenheter

Det har gjorts ett fåtal undersökningar av effekten av tvåstegsdiken med avseende på näringsreduktion. Alla är utförda i USA av en begränsad grupp forskare och resultatredovisningarna om metoder och datainsamling ibland är kortfattade. En mindre del av resultaten är publicerade i förhandsgranskade vetenskapliga tidskrifter.

Under perioden april 2004 till november 2005 gjordes vattenprovtagning uppströms och nedströms i fem tvåstegsdiken och kontrollsträckor i USA, D'Ambrosio och Witter (wwwa). Resultaten för de fem sträckorna visar att både kväve, fosfor och suspenderat material kunde reduceras samtidigt som halterna i kontrollsträckan ökade, tabell 4.1.

Tabell 4.1. Reduktion av partiklar, fosfor och kväve i fem tvåstegsdiken samt ökning i ett trapetsformat kontrolldike, D'Ambrosio, J. och Witter (wwwa).

	Kväve	Fosfor	Suspenderat material
Bull Creek	1 %	10 %	15 %
Crommer Drain	37 %	20 %	18 %
Klase Ditch	45 %	26 %	3 %
Needles Creek	16 %	16 %	25 %
Pone Creek	20 %	40 %	27 %
Trapetsdike/kontroll	-86 %	-130 %	-230 %

I Sanders m.fl. (2012) redovisas mätningar från tvåstegsdiken som är 1-5 år gamla. Reduktion av suspenderat material, här som turbiditet, minskade med 20-80 %, se tabell 4.2.

Tabell 4.2. Turbiditet, NTU-enheter, i fyra trapetsformade diken och tvåstegsdiken, Sanders m.fl. (2012)

Plats, dikets ålder	Trapetsformat dike	Tvästegsdike
Ridenour, 1 år	268	55
Creel, 2 år	46	37
Shatto, 1-3 år	135	53
Cromner, 5 år	224	42

En minskning av suspenderat material på grund av sedimentation på terrass och växter är en väntad effekt. Eftersom vattnets innehåll av totalfosfor till stor andel är bundet till partiklar borde även fosfor reduceras. Tyvärr finns det ganska sparsamt med fosfordata i de amerikanska referenserna; de flesta fokuserar på kväve. I Sander m.fl. (2012) anges att både totalfosfor och löst fosfor reduceras i ett tvåstegsdike jämfört med ett trapetsformat dike. Resultaten, som baseras på 4-6 diken under ca två år, är inte entydiga. Reduktionen av totalfosfor var 15 och 17 % i två av fyra studerade diken och reduktionen av löst fosfor (SRP) var 12, 36 och 64 % i tre av sex diken. I övriga tre diken ökade löst fosfor med 6, 16 och 16 %.

I Tippe Canoe River (The Nature Conservancy) gjordes jämförelse mellan ett tvåstegsdike med bredden ca 1,8 m i fåran och 3,6 m på terrassen och ett vanligt dike som kontroll. Halten suspenderade ämnen minskade med ca 50 % och totalkväve i vattnet minskade i storleksordning tre gånger, från ca 600 till ca 200 g N/dag. Denitrifikationspotentialen ökade också kraftigt, ca 350 %.

Powell och Bouchard (2010) undersökte denitrifikationshastigheten med två metoder, A (static core method) respektive B (denitrification enzyme activity), i tio konventionella trapetsformade diken och i tio naturligt utvecklade tvåstegsdiken. Sedimentprover togs i dikenas mittfåra, på tvåstegsdikenas terrasser och i slänten i de konventionella diken.

Tabell 4.3. Denitrifikationspotentialen beräknad med två olika metoder. Observera olika vikenheter, Powell och Bouchard (2010)

	Metod A (ng N ₂ O-N/TS, h)		Metod B (µg N ₂ O-N/g TS, h)	
	Fåra	Terrass/slänt	Fåra	Terrass/slänt
V-dike	68	68	21	58
Tvästegsdike	50	116	22	140

Denitrifikationshastigheten i mittfåran var ungefär densamma för konventionellt dike och tvåstegsdike. Nedbrytningen i tvåstegsdikets terrass var däremot dubbelt så stor jämfört med slänten i det konventionella diket. Denitrifikationen i terrassen var 2-6 gånger större än i fåran.

Nedbrytningshastigheten ökade med ökande halt organiskt kol och författarna drog slutsatsen att detta var en orsak till skillnaden mellan tvåstegsdiket och det trapetsformade diket. På terrassen var koncentrationen av kol högre beroende på att det var mer vegetation där och att partiklar sedimenterade på terrassen vid högre flöden. Vegetationen i tvåstegsdiket visnade ner varje säsong och tillförde då organiskt material till terrassen och de hade inte rensats på fem år före undersökningen. De konventionella diken hade rensats inom två år före studien, vilket innebär att sedimenterat organiskt material tagits bort.

Denitrifikationen var positivt korrelerad till halten finkornigt material, vilket sedimenterar på terrassen i större utsträckning än på vanliga dikesslänter. Även om laboratorieundersökningar visar att tvåstegsdikenas terrasser bidrar till en potentiellt ökad denitrifiering kan det inte direkt överföras till verkligheten eftersom uppehållstiden för den biologiska processen är mycket kortare i verkligheten. Författarna anser slutligen att det kan vara viktigare att öka uppehållstiden i tvåstegsdiken än att öka denitrifikationshastigheten för att förbättra vattenkvaliteten.

Roley m.fl. (2012 a) undersökte denitrifikationshastigheten i ett tvåstegsdike i Indiana, USA, under ett år före och två år efter åtgärden. De fann att reduktionen var densamma i fåran före och efter åtgärden. I motsats till Powell och Bouchard (2010) var denitrifikationshastigheten lägre på terrassen jämfört med fåran. En orsak till den lägre reduktionen på terrassen kan vara att jorden där innehöll låga halter organiskt material och mikroorganismer strax efter att schaktning och breddning utförts. I artikeln anges också att det kan bero på att det är större tillgång till syre på terrassen jämfört med fåran samt att tillgången på partiklar som hyser mikroorganismer är högre i fåran. Intressant var att denitrifikationshastigheten var ca dubbelt så stor, 6,1 jämfört med 3,1 mg N/m², h, under ett våtår jämfört med ett torrår. Under det våta året steg vattenytan upp på terrassen oftare än under det torra året.

Tvästegsdiket medförde en högre reduktion av kväve, speciellt vid höga flöden. De fann att reduktionen av kväve var högst vid de lägsta koncentrationerna varför åtgärder för att minska halterna innan de kommer till diket bör prioriteras. Eftersom halterna var höga i det aktuella diket blev den absoluta nitratreduktion endast 6-9 % av den totala nitrattransporten längs det 600 m långa diket. Sträckan utgör ca 7 % av det aktuella avrinningsområdets diken.

Roley m.fl. (2012 b) använde uppmätta data för att beräkna reduktionen av nitrat i ett tvåstegsdike där vattnet stiger upp över terrassen ("våtår") jämfört med ett dike där vattnet endast flödar fram i mittfåran ("torrår"). I ett 1 km långt dike blev det en reduktion med 1,07 kg N/d resp. 2,99-5,03 kg/d för det torra resp. blöta diket. I det torra fallet stod reduktionen i mittfåran för ca 34 % och terrassen för ca 66 % av den totala reduktionen. Motsvarande reduktioner för det blöta fallet var 21-35 % i mittfåran resp. 65-79 % på terrassen.

Denitrifikationen undersöktes på åtta konstruerade tvåstegsdiken av D'Ambrosio m.fl. (2012). Undersökningen ledde till slutsatsen att denitrifikationen var högst på äldre (>5 år), "mognare", terrasser samt att nitratreduktionen var 2-14 gånger högre i tvåstegsdiken jämfört med trapetsformade diken. Reduktionen av kväve längs de undersökta tvåstegsdikena uppmättes till 1,2 till 9,4 kg N/km och dag med ett medel på 5,1 kg N/km och dag.

I Roley (2012) sammanfattats ett antal studier om kvävereduktion i våtmarker och tvåstegsdiken, se tabell 4.4

Tabell 4.4. Reduktion av kväve i våtmarker och tvåstegsdiken, kg N/ha och år, Roley (2012).

	Min	Medel	Max
Våtmarker	103	529 ± 140	2310
Tvästegsdiken	201	647 ± 186	2598

Som framgår av genomgången ovan finns det begränsat med erfarenheter av tvåstegsdikenas funktion och den erfarenhet som finns kommer från USA. I Norden har kunskapen om rening av näringsämnen från odlingslandskapet framförallt kommit från bruket av skyddszoner, sedimentationsdammar och anlagda våtmarker. Eftersom dessa också är ”passiva” naturnära tekniker kan erfarenheten av dessa hjälpa oss när vi ska utvärdera tvåstegsdikenas potential som ”reningsverk”.

En aspekt som påtalats är att det är viktigt att lägga reningsanläggningar så nära föroreningskällan som möjligt. En orsak till det är att de lerpartiklar som eroderar från matjordslagret ofta är sammankittade i aggregat. Om dessa transporteras en längre sträcka i strömmande vatten kan de slås sönder och övergå i flera mindre lerpartiklar vilka är svåra att sedimentera. Det är naturligtvis också en fördel att kunna fånga upp föroreningar så snabbt som möjligt innan de når en recipient som kan påverkas negativt. Ur denna aspekt är tvåstegsdikena fördelaktiga eftersom de direkt angränsar till åkermarken.

Uusitalo m fl. (2003) har visat att fosfor som sedimenterat kan frigöras i stor mängd vid låga redoxförhållanden (låg syrehalt). Det är förhållanden som uppkommer i stillastående vatten eller vattendränkt jord där organiskt material bryts ner. Utvecklingen av redoxpotentialen i tvåstegsdiken har inte undersökts, vad vi vet, men med tanke på att vattennivån varierar över terrassen kan man tänka sig att redoxpotentialen inte blir lika låg som i botten av ett dike. Effekten av fosforutlösning från ett tvåstegsdike skulle därför kunna bli lägre än från ett konventionellt dike.

Sammanfattningsvis kan man dra slutsatserna att väl utförda tvåstegsdiken bidrar till att minska grumligheten och därmed också transporten av totalfosfor. Även kväve reduceras eftersom den totala denitrifikationen längs en viss sträcka ökar. Dessa effekter beror på att vattnets hastighet minskar och kontakten med aktiva jord- och växtytor ökar när vattennivån stiger över terrasskanten. De positiva effekterna förstärks med tiden bland annat på grund av att mängden organiskt material ökar på terrassen. Effekterna ökar under våta perioder då vattnet rinner ut över terrassen. När det gäller kväve gynnas reduktionen om de inkommande halterna är låga. Naturligtvis beror reningseffekten av dikets dimensionering, jordart, växtlighet etc. och det är därför inte möjligt att idag ange hur stor rening som kan uppnås. De amerikanska studier som redovisats leder till att minskningar i häradet 5-15 % för kväve och i storleksordningen det dubbla för grumlighet och totalfosfor är realistiska.

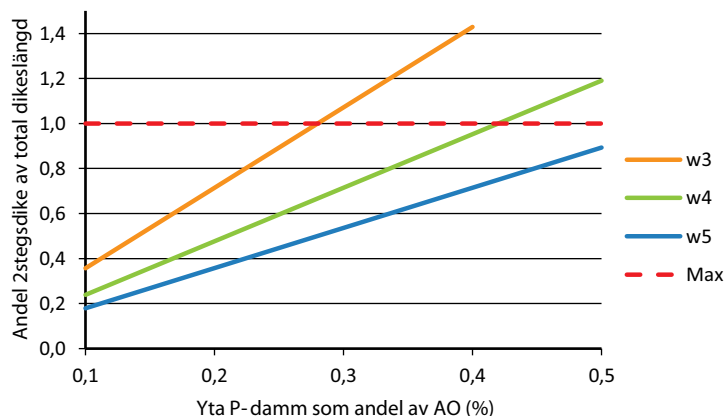
4.2 Erfarenheter från våtmarker och fosfordammar

Det har visat sig att fosfordammar ger störst effekt, både specifik (kg/m²) och relativ (%), vid höga belastningar, Bioforsk (2008). Höga belastningar uppkommer vid fosforrik och erosionskänslig jord samt inledningsvis vid höga flöden då erosionen av fosforrikt material är stor. Vid höga flöden kommer vattennivån att stiga upp över terrassen i ett tvåstegsdike. Där minskar hastigheten och växter

och sedimentation kan reducera fosforhalten i vattnet. Vid hög nederbörd ökar erosionen av stora partiklar vilka lättare kan fångas upp i diket. Om djupa och grunda våtmarker jämförs visar det sig att grunda våtmarker hade dubbelt så stor kapacitet att reducera fosfor, Bioforsk (2008). Det korta avståndet mellan vattenyta och terrass i ett tvåstegsdike är därför en fördel för fastläggning av partiklar. Å andra sidan kan risken för att partiklarna återgår till vattenfasen större i grunda anläggningar, speciellt om det saknas vegetation.

Det har visat sig att reningsdammar till stor del utgörs av en ineffektiv yta. Med det menas att inkommande vatten inte fördelar sig jämnt över hela dammens yta. En felaktig utformning kan leda till att hälften av dammen inte utnyttjas. För att vattnet ska spridas över så stor del av ytan som möjligt ska bassängen vara lång och smal, dvs. ungefär som ett tvåstegsdike.

För dammar som samlar fosfor rekommenderas en yta som motsvarar 0,1-0,5 % av avrinningsområdets yta, Börling (2010). Nedan visas hur stor andel av befintliga diken i ett avrinningsområde som måste göras om till tvåstegsdiken för att samma yta ska erhållas som för fosfordammar (av varierande storlek). För tvåstegsdiken räknas endast terrassytan. I exemplet nedan antas att det är 20 m dike per ha åkermark och att avrinningsområdet utgörs till hälften av åkermark och resten skogsmark. Beräkningen har utförts för tvåstegsdiken med olika breda terrasser. W3-w5 innebär att diken totala bredd är 3 till 5 gånger bredare än diket mittfåra (som är 1,7 m i exemplet). Exempelvis visar Figur 4.1 att en fosfordamm som har en yta av 0,3 % av avrinningsområdet motsvaras av att 70 % av diken i området byggs om till tvåstegsdiken om de ges bredden w4. Om bredden görs w5 bör 55 % av diken byggas om för att erhålla samma yta.



Figur 4.1. Andel av konventionella diken i ett avrinningsområde som måste göras om till tvåstegsdiken för att erhålla en yta som motsvarar en fosfordamm.

Frågan hur relevant det är att jämföra terrassytor med ytor i sedimentationsbassänger är befogad. Till en sedimentationsbassäng kommer ju allt vatten medan bara en del av flödet, mindre än hälften beroende på dimensionering, når terrassytor (resten går nere i mittfåran). Å andra sidan kommer det stora mängder fosfor just vid de höga flödena.

En viktig fråga är hur dammar och diken fungerar vintertid då vegetationen vissnat ner. Norska undersökningar visar att reningseffekten för partiklar är lika stor vintertid som sommartid, Braskerud (2001), se tabell 4.5. Motsvarande

resultat presenterar Kronvang m fl (2005) för skyddszoner från två områden i syd-östra Norge. Även här var skillnaden i retention av suspenderat material och tot-P obetydlig mellan sommar- och vintersäsongen.

Tabell 4.5. Retention (%) av suspenderat material i två konstruerade våtmarker för fosfor med vegetationstäckning > 50 %, Braskerud (2001)

Konstruerad våtmark	Sommar (Maj-Oktober)	Vinter (November-April)
A	59 %	62 %
C	53 %	58 %

Höga flöden, som var vanligare vintertid i Braskeruds studie, ökar erosionen av större partiklar vilka sedimenterar fortare än små partiklar. Det innebär att den procentuella reningseffekten för partiklar inte behöver bli sämre vid höga flöden. Även om en stor andel partiklar kan fastläggas vid höga flöden kommer inte en motsvarande andel fosfor att fångas. Det beror på att de finkorniga lerpartiklarna, som inte sedimenterar, bär på en större andel fosfor än de stora partiklarna. Enligt Braskerud (2001) har vegetationen ingen väsentlig effekt på lerpartiklar.

Ett syfte med dammar, våtmarker, översilningsytor, skyddszoner och tvåstegsdiken är att reducera utläckaget av näringsämnen från åkermark. Eftersom de fysikaliska, kemiska och biologiska processerna för att reducera kväve resp. fosfor och partikulära resp. lösta ämnen skiljer sig åt påverkas också utformning och skötsel av anläggningen beroende på syftet. Oavsett detta ger växter ett positivt bidrag till reningen. En diskussionsfråga är hur vegetationen ska skötas? En tanke är att växter som tagit upp löst nitrat och fosfat ska skördas innan de dör eller frosts-kadas och åter avger lösta näringsämnen till omgivningen. Fördelen är att vi då varje år bortför en viss mängd kväve och fosfor från systemet. Finns det då några nackdelar med att ta bort vegetationen? Ja, eftersom:

- vegetationen hjälper till att sprida och fördela vattenflödet så att större ytor nyttjas och hastigheten sänks
- vegetationen, även vissnad, bidrar till fastläggning av näringsämnen och partiklar
- resuspensionen³ av partiklar minskar på grund av växter och deras rötter
- också kol tas bort, vilket är en förutsättning för denitrifikationen i diket.

Hur mycket fosfor får man då bort om man skördar vegetationen? I Bioforsk (2008) anger man som tumregel att växter i fosfordammar tar upp ca 1 g P/m², år. Detta ska jämföras med den totala fosforreduktionen som är 37-58 g P/m², år. Upptaget i växter är alltså mindre än 3 % i jämförelse. Enligt samma rapport är upptaget för olika våtmarksväxter: Kaveldun (1,6 g P/m²,år) >> Kalmus, Manna-gräs > Svalting > Vass (0,9 g P/m², år) >> Sjöfräken > Vasshår (0,2 g P/m²,år).

Skötsel och underhåll av dikena diskuteras mer i avsnitt 7.

³ Resuspension: Sedimenterade partiklar som återgår till suspenderad form

Den förhärskande uppfattningen är att underhåll av diken, ”dikesrensning”, medför att utläckaget av näringsämnen ökar i samband med åtgärden och en tid efter åtgärden. Att utläckaget ökar under själva grävningen är ganska självklart. Ökningen efter åtgärden brukar hänföras till att det finkorniga materialet i diket tagits bort – ett material som har god förmåga att adsorbera fosfor. Smith och Huang (2010) kom till motsatt resultat när de under en sexårsperiod studerade två diken som rensades vid två tillfällen under perioden. De kom fram till att utläckaget av alla studerade näringsämnen signifikant minskade för diken som rensats under förutvarande 12-månadersperiod. De förklarade detta med att tidigare kemiskt reducerade sediment nu oxiderades vid grävningen, att färskare rena sediment kunde sedimentera, att biofilm bildades på dessa samt att alger och växter återkoloniserade.

5 Biologisk mångfald gynnas

När ett konventionellt trapetsformat dike görs om till ett tvåstegsdike tillkommer det några kvadratmeter plan fuktig yta för varje längdmeter dike. Denna yta, terrassen, är ny i landskapet och kommer att erbjuda möjligheter till födosök och gömställen i en varierad miljö; från ständigt blöt dikesbotten, över fuktiga terrasser till torra och solbelysta slänter. I åkerdominerade landskap kan det innebära att arealen fuktgynnad vegetation inklusive träd och buskar ökar i betydande omfattning. Även en kort sträcka, 10 -20 meter, med tvåstegsdiken kan innebära en ny livsmiljö för många arter.

Diket funktion som en viktig spridningsväg för flera arter, så kallad biologisk korridor, underlättas också. Det finns i dag dessutom en stor brist på pollen- och nektarresurser i slättlandskapet, vilket medför att ”allt som blommar” i dikena är bra. Tvåstegsdiket innebär att ett mer differentierat växt- och djurliv gynnas i ett annars ganska ensidigt produktionslandskap.

Vegetationen i fåran, på terrassen och slänten kommer att variera beroende på de fysiska förutsättningar och skötsel/hävd. Eftersom dikena framförallt ska anläggas i högproducerande slättbygder är de fysiska förutsättningarna på terrassen: varierande jordart (vanligen silt-lera), god näringstillgång, ständig näringstillförsel, oftast dålig beskuggning samt varierande vattennivå. I åkerlandskapet tillkommer också periodvisa höga flöden av näringsrikt vatten från dräneringsledningar som mynnar på terrassen.

Vattennivån under vegetationsperioden är mycket viktig när det gäller vilka arter som kommer att gynnas. Normalt bör vattenytan ligga någon decimeter under terrassen för att få en diversifierad flora. Rotzonen måste åtminstone få lufttillförsel under delar av sommaren. Om vattenytan oftast ligger över terrassen kommer diket att utvecklas till en mindre våtmark. Träd och buskar får då svårt att etablera sig. För att hindra bladvass från att dominera på terrassen är det bra om terrasserna har högt vattenstånd på våren vilket innebär att vassarerna tvingas producera längre strån innan de når över vattenytan istället för att öka djuputbredningen. Högt vattenstånd under hösten minskar risken för att fröspridda plantor av vass och kaveldun överlever. Eftersom det normalt inte finns möjligheter att styra vattennivån på detta sätt kommer det antagligen att vara svårt att förhindra utbredningen av vass och kaveldun. Det kan dock gå lång tid, flera år, efter att ett dike etablerats innan vassen blir ett bekymmer. Utvecklingen av vass beror på om det redan finns en lokal fröbank, om annan vegetation hunnit etablerat sig eller om skötselåtgärder/hävd sätts in. En kraftig lutning, 1:2 eller brantare, medför att det blir svårt för vass och kaveldun att växa i dikesslänten. Vid flackare lutning än 1:4 kan de däremot etablera sig.

I mittfåran med solexponerat näringsrikt vatten kommer troligen slingor, hornsäv, natearter och vattenmöja att trivas. Det akvatiska livet gynnas av strömmande vatten, sten- och grusbotten samt bra vattenkvalitet. Det avgörs i första hand av klimatologiska, geologiska och topografiska förhållanden oavsett dikets utformning. Om grundförutsättningarna är gynnsamma kan fåran göras så smal att det finns ett visst vattendjup och flöde året runt. Om terrassen är bred kan fåran efterhand börja meandra, vilket skapar bra miljöer för djur. Död ved och större stenar i vattendraget ger gömställen åt vattenlevande organismer, men de negativa conse-

kvenserna för markavvattningen gör att det sällan kan få förekomma i odlingslandskapet.

På terrassen kan kaveldun, gul svärdslija, säv, vass (särskilt vid stort näringsläckage till vattendraget) växa. Vid torrare förhållanden eller på terrassens slänt mot åkermarken kan mannagräs, svalting, förgätmigej, sjöranunkel förekomma. Terrassen kan också utvecklas till en gräs-/lågstarräng med vasstarrsamhälle närmast vattenfåran. På marker med god näringstillgång och rörligt grundvatten utvecklas högvuxen gräs- och örtvegetation, t ex tuvtåteläng eller högörtäng med älggräs. Utvecklingen påverkas av skötsel/hävd. Ett ohävdad område domineras av högstarr och rörflen istället för vasstarr. Beroende på hävdintensitet kommer tuvtåtelsamhälle, älggrässamhälle, älggräs med salix och al att tillväxa.

Med tanke på den biologiska mångfalden är träd och buskar bra i viss omfattning, till exempel för att skugga vattnet, gynna fåglar som sävsparv, sävsångare och törnsångare samt fungera som pollenkälla tidigt på säsongen. Ett skuggat vattendrag ger lägre temperatur vilket gynnar vattenlevande organismer.

Djur som är beroende av fuktiga miljöer, som spindlar, snäckor, musslor, iglar, maskar, fåglar, fladdermöss, grod- och kräldjur samt däggdjur, nyttjar helt eller delvis diket som livsmiljö. Enligt The Nature Conservancy minskade antalet vattenlevande gräsuggor och antalet solabborrar ökade i ett tvåstegsdike jämfört med ett kontroldike under en studerad tvåårsperiod. Båda dessa observationer tyder på förbättrad vattenkvalitet i tvåstegsdiket. I ett annat bildspel från Nature Conservancy anges att makroinvertebratindex (ryggradsdjur) ökade från 42 till 52 efter att ett konventionellt dike byggts om till tvåstegsdike.

Hävd är viktigt för artrikedomen

Ett näringsrikt dike som inte hävdas växer snart igen med ängskavle, älggräs, brännässlor, veketåg, hallon och vass. Terrassen och slänten i ett tvåstegsdike riskerar att växa igen med samma typ av vegetation om växligheten inte slås av och förs bort. I och för sig är även älggräs och andra blommande arter viktiga som pollen och nektarkällor i slättbygden, men risken är att vegetationen blir för tät för snabbt, vilket är negativt för konkurrenssvaga arter och för fåglar som söker föda på marken. Därefter kommer successionen att övergå i ett träd- och buskskikt med al, asp, vide, björk, rönn och sälg.

I en näringsfattig dikesslänt som slås och skördas kan man se gåsört, gökärt, ängsvädd och ängsklocka och i sydvända slänter finns arter som jordklöver, blåklocka och gråfibbla.

Det är viktigt att föra bort vegetationen efter avslagning för att minska näringsrikningen och gynna mer konkurrenssvaga örter. Avslagning och skörd bör göras efter blomningen men det är viktigt att utnyttja växtens upptag av näring så länge det går och även rötternas bidrag att kvarhålla jord och minska erosionen. Markhäckande fåglar bör dessutom ha lämnat boet innan avslagning görs.

Om skörd sker varje år får konkurrenssvaga örter och gräs en större chans att gynnas och högvuxna arter dämpas något. Skörd vart femte år tillåter buskar och sly att breda ut sig. Högvuxna konkurrensstarka gräs och örter kommer att dominera fältskiktet, framförallt om det är näringsrikt och solbelyst.

6 Skötsel av tvåstegsdiken

6.1 Minskat underhåll?

Ett återkommande argument för tvåstegsdiken i amerikansk litteratur är att underhållet blir mindre än för konventionella diken. Bland förespråkarna för tvåstegsdiken i USA anges att underhållsintervallet är i storleksordningen 20-30 år. Argumentationen går ofta tillbaka på att tvåstegsdiken efterliknar det naturliga vattendraget vilket inte underhålls.

Framförda anledningar till att tvåstegsdiken minskar behovet av underhåll:

- Den smala mittfåran är "självrensande" på grund av att det ständigt flödar vatten i den
- Den vegetationstäckta terrassen stabiliserar dikesslätten och förebygger erosion och skred
- Eftersom dikets tvärsnittsarea ökar kan man också tolerera en större sedimentation och tillväxt av vegetation innan det påverkar vattenståndet negativt
- Hastigheten på terrassen blir så låg att erosionen minskar

De tre sista punkterna har fog för sig medan den första punkten är mer tveksam. Höga vattenhastigheter som håller fåran "ren" är framförallt avhängig dikets lutning vilken är liten i det flacka svenska jordbrukslandskapet (lutning < 2‰). I ett naturligt vattendrag transporteras också jordmaterial från högre nivå med större lutningar ner till lägre nivåer med lägre lutningar som jordbruksmark. Där sedimenterar en del av materialet, dikets bottennivå höjs och vass och kaveldun etablerar sig. Vid exceptionella flöden kan detta material sedan transporteras iväg ännu längre nedströms, men den försämrade dräneringen kan då ha påverkat negativt under flera år. För att ett dike ska vara självrensande i någon mening måste det ha en större lutning än våra normala jordbruksdiken. Med tanke på dräneringskapaciteten är det naturligtvis positivt om fåran inte sätts igen av sediment, medan det från miljösynpunkt kan vara positivt att partiklar kvarhålls istället för att transporteras nerströms.

Det är inte helt självklart hur dikena ska skötas/underhållas med tanke på dränering, miljö, natur och ekonomi. Eftersom huvudsyftet med diket är dess dräneringsförmåga måste underhåll ske så att den bibehålls. Det innebär att vegetation och sedimenterat material ska åtgärdas när vattennivån blir för hög. Vegetationen i fåran och på terrassen klipps och omhändertas och sediment i mittfåran och eventuellt på terrassen grävs bort. Borttagning av sedimenterat material på terrassen bör endast göras om det utgör en märkbar olägenhet för vattenavledningen. Risken är annars stor att terrassen skadas både med avseende på stabilitet, miljö- och natursynpunkt. Som framgick av avsnitt 4 finns det flera fördelar att behålla vegetationen samtidigt som det är en mycket liten mängd fosfor som kan bortföras vid skörd. Vintertid dör växterna och motståndet mot vattnets flöde minskar kraftigt. Vid en varsam klippning borde rötter och jordstruktur kunna behållas intakt. Som framgår av avsnitt 5 har klippningen också positiva effekter på den biologiska mångfalden.

Eftersom tvåstegsdiken inte följts upp längre än ca tio år kan man inte med säkerhet påstå att de är långtidsstabila och mer underhållsfria än konventionella diken. Eftersom skred och erosion minskar kommer det att gå längre tid innan diket måste rensas. Det kan till del uppvägas av att det kan bli kostsammare när man väl ska göra åtgärden eftersom det då blir större ytor att sköta och det kan krävas specialmaskiner för att komma åt att åtgärda hela dikesbredden.

6.2 Skötsel i praktiken

Ett underhåll ska alltid föregås av en analys av behovet och en analys av effekterna det får på vattenstånd, miljö natur etc. Orsakerna till att man behöver genomföra ett underhåll kan vara att:

- Vattennivån i diket blivit så högt att dräneringen av omgivande åkermark försvåras.
- Jord eller vegetation rasat ner i diket, eller hotar att rasa ner, och dämmer upp vattenytan.
- Sediment täpper igen dräneringsrör.
- Vegetationstäcket på terrassen är ojämnt och tuvigt och kanaler bildas.
- Man vill hävda terrass och slänt för att gynna vissa växter.
- Samla upp vegetation i syfte att förhindra utlakning av näringsämnen när de vissnar.

Beroende på analysen kan det resultera i olika typer av skötselåtgärder. Det kanske visar sig att det räcker med vissa punktsatser, att delsträckor åtgärdas vid olika tillfällen eller att det är fördelaktigast att ta hela sträckan på en gång. Åtgärder som därefter kan utföras är att:

Gräva bort sediment och vegetation i fåran med skopa anpassad för det, eventuellt med extra lång arm vid tvåstegsdiken. På längre sikt kan det också blir aktuellt på terrassen. Eftersom man vill bevara en tät vegetation på terrassen ska sedimentationsupptaget ske med försiktighet. Sedimentet ska läggas så att det inte riskerar att rinna tillbaka till diket vid högvatten.

Klippa gräs och buskar på terrassen. Materialet bör samlas upp för att förhindra att det transporteras iväg och sätter igen nedströms. Ytterligare ett argument för insamling är att man då bortför de näringsämnen som växterna tagit upp. En sådan åtgärd bör utföras efter blomningen men tillräckligt sent för att nyttja växternas upptag av näring.

Fälla träd som riskerar att falla ner i fåran. Om det växer träd på krönet i syfte att skugga åfåran ska de gallras på sedvanligt sätt. Det behövs då öppningar i vegetationen så att man kan komma åt att underhålla terrass och fåra.

Kontroll av anslutningen mellan åker/skyddszon och dikeskrön om det utbildats erosionsfårar som avleder vatten i koncentrerade strömmar från omgivande fält. Dessa bör i så fall planas ut och fyllas igen, alternativt avledas till kalkfilterdiken etc. Om en koncentrerad erosion tillåts kan det medföra negativa effekter både för släntens och diket stabilitet samt för uttransporten av näringsämnen. Speciellt kan detta uppstå om krönet från början är kantigt. Ett väl avrundat krön minskar problemen.

Plantering av träd eller buskar längs dikets södra kant för att skugga mittfåran.

För skötsel av vegetation på terrass och slänt kan slaghack och klippaggregat som dras eller monteras på arm och traktor användas. I Holland finns det flera typer av aggregat utvecklade för klippning och rensning av dikesslänter och fåran, se Figur 6.1 och 6.2. Klippaggregaten är 1,3 - 2,25 m breda och kan anslutas till en fläkt som blåser upp materialet till en uppsamlingsbehållare. De klarar högt gräs och buskar. I Norge, Holland, Österrike och Tyskland utförs slåtter längs vägar med uppsamling. I Holland låter man klippet ligga en månad längs vägkanten innan man samlar in det eftersom volymen minskar kraftigt den första tiden.



Figur 6.1. Klippaggregat med pneumatisk uppsugning och insamlingscontainer. Med tillstånd från Herder BV.



Figur 6.2. Klippaggregat på rörlig arm ca 7 m lång. Med tillstånd från Herder BV.

Klippskopor som kan klippa gräs ovan och under vatten finns upp till bredden 5,5 m. Maskinerna ansluts till traktorer med armar som har räckvidd 6-11 m. Konventionella slaghackar kan dras av fyrhjuling eller motorgräsklippare på horisontella ytor. Maximal klipphöjd för dessa är 20 cm och normal arbetshastighet ca 3 km/h. Den konventionella slaghacken har ingen uppsamling.

Hur lång räckvidd behövs då för att klippa ett tvåstegsdike om traktorn ska köra längs släntrönet? Det beror naturligtvis på terrassens bredd samt släntens lutning och höjd. Terrassens längd brukar vara i intervallet 2-4 gånger fårans dagbredd. Om mittfårans dagöppning är 1,5-2 m, vilket är normalt för en bottenbredd på ca 0,5 m, blir den horisontella längden 4-10 m från dikeskrönet till fårans kant för diken med djupet 1-2 m. Om maskinerna kör längs krönet är det alltså möjligt att komma åt att klippa terrasser och slänter från vardera håll för diken mindre än två meter djupa. Med dessa maskiner kan också klippet samlas upp. Om man också ska komma åt att rensa/gräva i fåran finns det kranar med längder ända upp till 20 m.

Om terrassen görs ovanligt bred eller om det inte är möjligt att komma åt från bägge håll kan det bli nödvändigt att köra nere på terrassen för att komma åt att klippa. Arbetet måste då planeras så att det kan göras vid bra bärighet vid lågvattenflöde. Tyngre fordon ersätts av fyrhjulingar och gräsklippare och delar av slänten görs flackare än 1:6 så att fordonet kan ta sig ner.

Vägverket har gjort några försök med slätter och uppsamling längs vägar, Vägverket (99120). De testade två slaghackar, Herder och LMV Kantklipper, med sugslang och med olika typer av insamling av gräset med efterföljande kompostering.

Största delen av kostnaden utgjordes av klippning och uppsamling, 66 %, medan borttransport och kompostering utgjorde 19% resp. 15%. Transportkostnaderna kan ungefär halveras om växelflak, nätsäck eller rundbalspress används istället för ensilagevagn eftersom lasttiderna är så långa för det alternativet. Kostnaden för klippning, uppsamling, transport och kompostering beräknades till 625 kr/km väg, varav 100 kr/km eller 150 kr/ton, utgjordes av komposteringskostnaden. Framdrivningshastigheten med uppsamling var 2,7 km/h, att jämföra med hastigheten med ordinär slätter utan uppsamling som var ca 6 km/h. Mängden uppsamlat material var i storleksordningen 500-800 kg/km. Slätterbredden var 1,3 m och räckvidden 7 m.

Under första hälften av 2000-talet klipptes gräs och samlades in på Öland. Metoden att samla in klippet avbröts efter 5-6 år på grund av att det inte gav den effekt man önskade med avseende på biologisk mångfald samt att det inte fanns någon bra avsättning för klippet. Gräs upp till ca 70 cm och buskar med stamtjocklek 1-2 cm kan klippas enligt entreprenören Börje Johansson (pers. medel.). Om gräset är blött minskar framdriften och gräs kan då sätta igen den pneumatiska transportören och man måste stanna för att rensa.

7 Dyrare än vanligt

Kostnaden är betydligt högre för att anlägga ett tvåstegsdike jämfört med ett konventionellt dike. Det beror på att det är mycket större jordmassor som ska grävas upp och mer mark som ska tas i anspråk. Om den uppgrävda jorden kan användas till att fylla ut svackor och höja mark som har dräneringsproblem kan naturligtvis denna nackdel vändas till en fördel. I många fall blir det dock svårt att avsätta alla jordmassor på närmaste åker. Om de måste lastas upp på bil för borttransport stiger kostnaden väsentligt. I USA anges kostnaden till 105-430 kr/längdmeter dike, NRCS (2007). I tabell 7.1 anges några kostnader som publicerats 2011-2012.

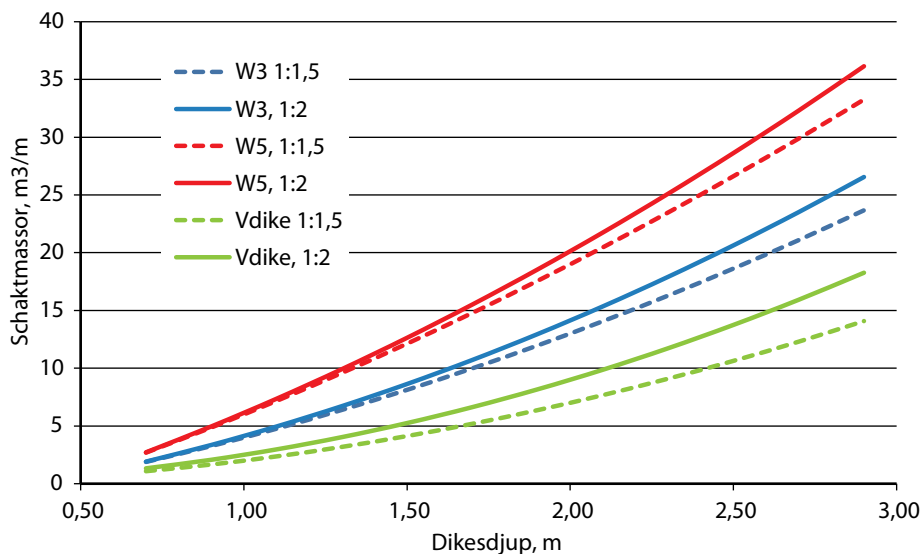
Tabell 7.1. Kostnader för tvåstegsdiken i USA enligt Wamsley (2012) Witter et al (2011).

Projekt	Längd, m	Terrass	Övrigt	Kostnad, kr/m
Kosciusko	630	3-3,7 m bred	Insätt, 5 utloppsrör	135
Howard	275	4,6 m bred	Insätt, erosionsskydd längs hela slänten	285
Creel 1	365	8,8 m ³ /m, 30 kr/m ³	Inga andra kostnader än schakt!	259
Creel 2	1220	15,8 m ³ /m, 30kr/m ³	Inga andra kostnader än schakt!	442
Wells	365	Endast terrass på en sida	Insätt	145
Steuben	520	11,4 m ³ /m, 20 kr/m ³	Insätt (8500 kr), lagning av utloppsrör	247

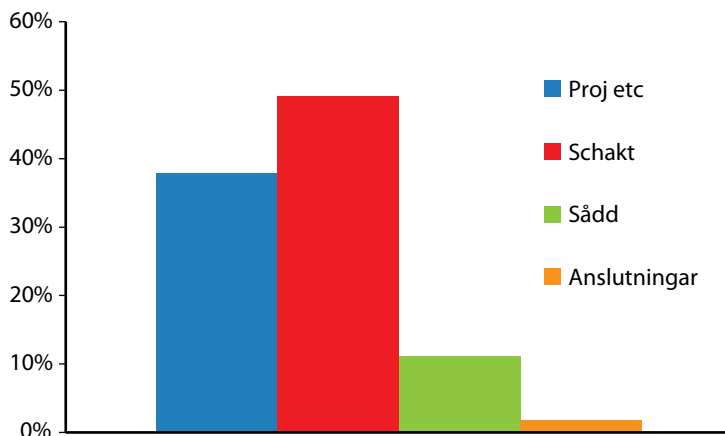
Motsvarande schaktkostnaden för nya diken i Sverige med djupet 1.5-2 m är för trapetsformade diken ca 120-240 kr/längdmeter och för tvåstegsdiken 250-550 kr/längdmeter. Naturligtvis beror kostnaden mycket på dikets djup och bredd.

När ett konventionellt trapetsformat dike görs om till ett tvåstegsdike kommer det att bli en markförlust på ca 0,5 ha -1 ha per km dike. Om ett två meter djupt dike ska göras om till ett tvåstegsdike blir kostnaden i storleksordningen 300 000 kr per km om massorna enkelt kan läggas upp på omgivande åker. Om massorna måste köras bort ökar kostnaden kraftigt, med mer än 100 000 kr/km.

I Figur 7.1 har beräkningar för mängden massor som måste grävas bort beräknats för trapetsformat dike resp. tvåstegsdike. I normalfallet är det ett trapetsformat dike som ska göras om till ett tvåstegsdike. Den mängd som ska schaktas bort är då skillnaden mellan tvåstegsdiket och det befintliga diket. Om ett vanligt 2,5 m djupt dike med släntlutningen 1:1,5 ska göras om till ett tvåstegsdike med terrassbredd W3 och släntlutning 1:2 blir alltså schaktmassorna 20,5-10,5=10 m³/längdmeter dike. Om diket är 1 km blir det då 10 000 m³ dikesmassor. Om det läggs ut i ett 0,25 m tjockt lager på åkern kommer 2 ha mark att tas i anspråk på var sida om det 1 km långa diket (eller 20 m brett per sida). I det aktuella exemplet skulle det bli en markförlust på 3 m per sida, dvs. 0,6 ha, på grund av breddningen. Ekonomiskt är det alltså en stor fördel om massorna kan användas i närområdet, helst på närmaste åker.



Figur 7.1. Mängden massor som måste grävas bort vid anläggande av tvåstegsdiken och konventionellt trapetsformat dike som funktion av dikesslätans lutning (1:1,5 eller 1:2), terrassens bredd (W3 eller W5) och dikets djup. W3 resp W5 betyder att terrassens totala bredd inklusive fåran är 3 resp. 5 gånger fårans dagbredd.



Figur 7.2. Relativ kostnad för ett tvåstegsdike då massorna kan läggas upp på omgivande mark, egen beräkning.

I Sanders (2012) redovisas en uppdelning av projektkostnader enligt: 65 % för grävarbetet, 10 % för insådd, 5 % för anslutning av rör och 20 % för projektering.

Intäktssidan, rent ekonomiskt, är ett minskat underhåll. I ett exempel från USA räknade man med en underhållskostnad av drygt 40 kr per längdmeter för tvåstegsdiken. Med ett underhållsintervall på 30 år kunde den fördyrade investeringen räknas hem på 14 år.

Idag finns miljöstöd för bl.a. skyddszoner, våtmarker och fosfordammar. För att tvåstegsdiken ska komma till stånd behöver även dessa en ersättning för den nytta som diket gör för att minska näringsläckaget och för den ökade biologiska mångfalden. Ett stöd kan också ses som en kompensation till markägare som förlorar åkermark på grund av breddningen.

8 Några praktiska aspekter

Diken som är lämpliga att göra om till tvåstegsdiken är diken som:

- visar tecken på instabilitet, dvs. skred och erosion
- svämmar över vid måttliga-höga flöden
- har litet avstånd mellan botten och markytan
- saknar trädvegetation
- inte påverkas i stor utsträckning av uppdämning från dammar, sjöar, trummor etc.
- finns i områden med intensivt jordbruk, dvs. har högt innehåll av växtnäringsämnen eller eroderat jordmaterial
- ligger uppströms recipienter som är känsliga för näringsämnen
- inte ligger uppströms våtmarker
- är längre än ca 1 km
- omges av mark som är lämplig för uppfyllnad med dikesmassorna.

Orsaken till att det är lämpligt med diken som har litet avstånd mellan botten och krön samt saknar vegetation är att det är billigare att utföra schaktningsåtgärder i dessa fall. Med tanke på miljöaspekten kan det synas onödigt att satsa på tvåstegsdiken strax uppströms en våtmark som i sig utgör en näringsfälla. Då ger det mer att bygga dem uppströms en recipient som är känslig för näringsämnen. Eftersom startkostnaderna är relativt stora blir meterkostnaden hög för korta dikessträckor. Dessutom blir effekten liten med tanke på vattenstånd, erosion, stabilitet och näringsreduktion. Ett dike som projekteras för tvåstegssektionen bör helst vara en kilometer eller längre. Längs denna sträcka kan man göra avsteg från tvåstegssektionen på kortare avsnitt av praktiska skäl. Som tidigare redovisats stiger då vattennivån i förträngningen och en bit uppströms denna.

Dräneringsrör bör mynna strax ovan terrassen för att utnyttja sträckan fram till fåran för rening. I syfte att förhindra erosion av terrassen bör ett grusfilter ovan fiberduk läggas i röret utlopp. Om erosionsproblemet är litet kan det eventuellt motverkas av vegetation, vilket är en fördel med tanke på möjligheterna att samtidigt fastlägga näring.

Undvik att det bildas fåror i åkermarken som för ner vattnet i koncentrerade rännor längs slänten. Om det bildas fåror på grund av körspår, markbearbetning, erosionskänslig jord, topografi etc. bör det åtgärdas så att vattnet avrinner på bred front över dikeskrönet. Själva dikeskrönet bör vara mjukt avrundat och inte kantigt. Åtgärder innefattar att plana ut, tillföra material i svackor, så in gräs och/eller gräva ett avskärande dike, alternativt kalkfilterdike, längs krönet.

I ursprungskonceptet utförs terrasser på båda sidor om mittfåran. I vissa fall kan det bli nödvändigt att utföra terrassen ensidigt istället. Det görs när det inte finns utrymme på båda sidor på grund av vägar, trädridåer, fastigheter, berg etc. Om den ensidiga terrassen kan utföras lika bred som den tvåsidiga uppnås i stort sett samma hydrauliska- och miljömässiga effekter. Terrasser på båda sidor är normalt att föredra eftersom stabiliteten förbättras på båda sidor och dräneringsrören från båda sidorna kan mynna på terrassen. En annan fördel är att massorna lättare kan

fördelas till båda sidor om diket. En fördel med ensidig terrass är att det lättare kan kombineras med skuggande träd längs södersidan.

Eftersom kostnaden för masshanteringen är så stor är det en mycket stor fördel om dikesmassorna kan nyttjas i närområdet. Om de kan förflyttas med bandschaktare utan omlastning är mycket vunnet. Svårodlade lermassor kan kalkas för att erhålla en bruksbar struktur.

9 Mer kunskap krävs

Konstruerade tvåstegsdiken är ett relativt oprövat koncept. I USA, där den mesta forskningen utförts, har de funnits i ett drygt decennium. Mycket av forskningen har utförts av ett begränsat antal forskare och endast en mindre del av resultaten har publicerats i förhandsgranskade vetenskapliga tidningar. Helt klart är att det finns många kunskapsluckor kvar. Några exempel är:

Vilken vegetation är lämpligast i diket och dess närhet? Gräs är det mest praktiska och har fördelar eftersom det är lätt att underhålla, underlättar ett jämnt utbrett flöde och armerar terrassen. Å andra sidan har naturliga vattendrag omgivna av träd visat på fördelar som mycket bra stabilitet, skuggning av vattnet och fördelar för fiskar, insekter och andra organismer. Träden är också viktiga för landskapsbilden. Kan träd nyttjas i åkerlandskapet så att dess fördelar överväger nackdelarna?

Hur underhåller man bäst ett tvåstegsdike med avseende på vattenavledning, näringsreduktion, stabilitet, biologisk mångfald och ekonomi? Underhållsbehovet är inte detsamma för dessa aspekter och åsikterna om för- och nackdelar med att gräva ur slam i dikesbotten, klippa vegetation med bestämda intervall, samla upp vegetation etc. är många.

Vilken reduktion av partikulärt respektive lösta näringsämnen kan man åstadkomma i relation till avrinningsområde och tvåstegsdikets andel av området? Hur kombineras olika typer av växtnäringsreducerande åtgärder och vad är kostnadseffektivast?

Tvästegsutformningen utlovar en del fördelar jämfört med konventionella trapetsformade diken och borde därför anläggas på ett antal platser i Sverige. Genom att följa upp dikena och jämföra med förhållandena före åtgärden, eller med konventionella diken i samma område, kommer information fram som ger ett bättre beslutsunderlag för framtida satsningar. Naturligtvis ska tvåstegsdikena jämföras med andra typer av åtgärder med liknande syfte. Den höga investeringskostnaden gör att den enskilde markägaren knappast tar initiativet till att anlägga tvåstegsdiken utan externt stöd.

Om man bara är intresserad av reduktion av näringsämnen kan våtmarker vara mer kostnadseffektiva, men om fler funktioner värdesätts kan tvåstegsdikena vara fördelaktigast. Innan vi kan säga att tvåstegsdiken är ett kostnadseffektivt sätt för att uppnå alla eller delar av de positiva funktioner som de utlovar måste vi ut och gräva, mäta, analysera och dra slutsatser.

10 Referenser

Braskerud, B. C. (2001): The influence of vegetation on sedimentation and resuspension of soil particles in small constructed wetlands. *J. Environ. Qual.* 30:1447–1457.

Börling, K. (2010): Dammar som samlar fosfor. *Jordbruksinformation 11-2010*, Jordbruksverket.

Chow V., T. (1959): *Open channel hydraulics*.

Collison, A.J.C. och Anderson, M.G. (1996): Using combined slope hydrology and stability model to identify suitable conditions for landslide prevention by vegetation cover in humid topics. *Earth surface Processes and Landforms* 21, s 737–747.

D'Ambrosio, J. och Witter, J.(wwwa): The Purpose, Design and Benefits of Two Stage and Over Wide Ditches. www.powershow.com.

D'Ambrosio, J., Ward, A., Witter, J. och Tank, J. (2012): Ecological service of constructed two-stage agricultural ditches. 21st century watershed technology improving water quality and the environment conference proceedings, maj 27-juni 1, Bari Italien.

Dierks , S. (2010): Two-stage ditches and water quality solutions for agricultural NPS. *Pipeline vol 19, Nr 1*, s 32-35.

Gray, D. H. och Sotir, R. B. (1996): *Biotechnical and bioengineering slope stabilisation. A practical guide for erosion control*. Wiley & Sons.

Gunawan, B., Sterling, M., Tang, X. och Knight, D. W. (2010): Measuring and modeling flow structures in a small river. *River flow 2010*.

Heimö, T. och Järvelä, J. (2004): Hydraulic aspects of environmental flood management in boreal conditions. *Boreal environment research*), s 227-241.

Ismail, Z. och Shiono, K. (2006): The effect of vegetation along cross-over floodplain edges on stage-discharge and sediment transport rates in compound meandering channels. *Proc. Of the 5th Int. Conf. on Environment, Ecosystems and Development, Venice, Nov 20-22*.

Börje Johansson (pers.medel.). *Entreprenör på Öland*.

Järvelä, J. (2004): *Flow resistance in environmental channels: Focus on vegetation*. Diss. Helsinki University of Tech. TKK-VTR-10.

Kallio, R., Ward, A.L, D'ambrosio, J.L. och Witter, J. D. (2010): A decade later: the establishment, channel evolution, and stability of innovative two-stage agricultural ditches in the midwest region of the united states . CSBE10209 – ASABE's 9th International Drainage Symposium (IDS). XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR)

Kallio, R. M. (2010): *Evaluation of channel evolution and extreme event routing for two-stage ditches in a tri-state region of the USA*. Thesis. Ohio University.

- Kronvang, B., Bechmann, M., Lundekvam, H., Behrendt, H., Rubäck, G.H, Schoumans, O.F., Syversen, N., Andersen, H.E. och Hoffmann, C.C. (2005): Phosphorus losses from agricultural areas in river basins: Effects and uncertainties of targeted mitigation measures. *J. Environ. Qual.* 34:2129-2144
- Messal, H., Ehlert, V. och Quast, J. (2009): Model design for the impact analysis of floodplain vegetation on water levels at extreme floods.
- Micheli, E.R. och Kirchner, J.W (2002): Effects of wet meadow riparian vegetation on streambank erosion. 2. Measurements of vegetated bank strength and consequences for failure mechanics. *Earth surface Processes and Landforms* 27, s 687-697.
- Nihlén, C. (2011). Muntlig information. Helsingborgs stad.
- Nihlén, C. (1996). Skyddszoner utmed vattendrag på kommunägd mark. 94.016. Stadsbyggnadskontoret. Helsingborg.
- NRCS (2007): Stream restoration design handbook. US Dept. of agricultural.
- Powell, Erich : Nutrient loads in Ohio Headwater streams. Powerpoint. Ohio State.
- Powell, K.L och Bouchard, V. (2010): Is denitrification enhanced by the development of natural fluvial morphology in agricultural headwater ditches. *J. Am. Benthol. Soc* 29(2), s 761-772.
- Powell, G.E., Ward A.D, Mecklenburg, D.E och Jayakaran, A.D. (2007): Two-stage channel systems: Part 1, a practical approach for sizing agricultural ditches. *Journal of Soil and Water Conservation*, Volume 62, Number 4.
- Rameshwaran, P., Spooner, J., Shiono, K. och Chandler, J.H. (wwwa): Flow mechanism in two-stage meandering channel with mobile bed. Internet.
- Rameshwaran, P., Shiono, K., Sun, X., Chandler, J.H. och Sellin, R., H., J (wwwb): Hydrodynamic behavior of a two-stage channel with horizontal and inclined floodplains: A numerical investigation. Internet.
- Roley, S. (2012): The influence of floodplain restoration on stream ecosystem function in an agricultural landscape. Diss. University of Notre Dame, USA.
- Roley, S., Tank, J., Stephen, M, Johnson, L., Beaulieu, J. och Witter, J. (2012)a: Floodplain restoration enhances denitrification and reach-scale nitrogen removal in an agricultural stream. *Ecological Applications* 22:281–297
- Roley, S., Tank, J. och Williams, W. (2012)b: Hydrologic connectivity increases denitrification in the hyporheic zone and restored floodplains of an agricultural stream. *J. Geophys. Res.* 117, 16
- Roley, S., S., Tank, J.L., Stephen, M., L., Johnson, L., T., Beaulieu, J., J. och Witter, J. D. (2011): Floodplain restoration enhances denitrification and reach-scale nitrogen removal in an agricultural stream. *Ecological Applications* [10.1890/11-0381.1].

- Sanders, C. V., Tank, J. och Williams, M. (2012): Two-stage ditch. University of Notre Dame and The nature Conservancy.
- Samuels, P.G., Bramley, M. E. och Evans, E. P. (2002): A new conveyance estimation system. Ann. Conf. of River and Coastal Engineers, Univ. of Keele.
- Sellin, R., H. J. och van Beesten, D. P. (2004): Conveyance of a managed vegetated two-stage river channel. Water management 157 Issue WMI, s 21-33
- Simon, A. och Collison, J.C. (2002): Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. Earth surface Processes and Landforms 27, s 527-546
- Simon, A., Thomas, R., Curini, A. och Bankhead, N. (2011): Development of the bank-stability and toe-erosion model. USDA-ARS national sedimentation laboratory, Oxford, MS.
- Smith, D. R. och Huang, C. (2010): Assessing nutrient transport following dredging of agricultural drainage ditches. Transaction of the ASABE. 53(2):429-436.
- Tal, M., Gran, K., Murray, B.A., Paola, C. och Hicks, M.D. (2004): Riparian vegetation as a primary control on channel characteristics in multi-thread rivers. Riparian vegetation and fluvial geomorphology. Water science and application 8.
- Tank, J. (www): The two-stage ditch and sediment dynamics. www.nature.org/.../tank_lab_fact_sheet-1.pdf
- The Nature Conservancy. <http://www.nature.org/>
- Wamsley, K. (2012): All shapes and sizes.pdf. Wabash Rivers Initiative. <http://nature.org/>
- Witter, J., D'Ambrosio, J. och Ward, A. (2011): Two stage channel case study: Creel Ditch. Great Lakes regional water program.
- Wynn, T.M. (2004): The effects of vegetation on stream bank erosion. Diss. Virginia Polytechnic Institute and state university, Blacksburg, USA.
- Vägverket (99120): Slätter och uppsamling av vegetation på vägkanter. Beställningsnummer 99120, Vägverket, Borlänge.
- Västilä, K. och Järvelä, J. (2011): Cohesive sediment dynamics in a vegetated two-stage drainage channel: the first year after floodplain excavation. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, RCEM2011.

Rapporten kan beställas från

Jordbruksverket • 551 82 Jönköping • Tfn 036-15 50 00 (vx) • Fax 036-34 04 14
E-post: jordbruksverket@jordbruksverket.se
www.jordbruksverket.se