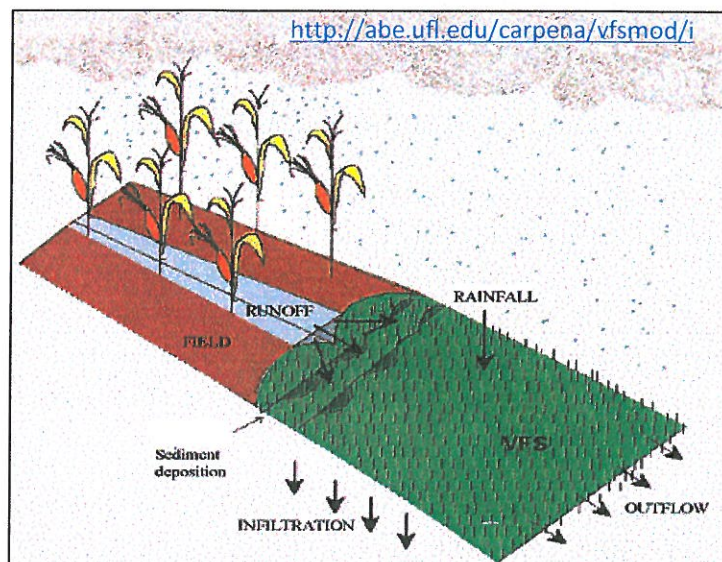

Sluttrapport for prosjektet
«Dataverktøy for planlegging av vegetasjonssoner for
redusert avrenning av plantevernmidler»



1. Mål og resultater

1.1 Mål

Hovedmålet med prosjektet er bærekraftig matproduksjon med redusert forurensing med plantevernmidler, i dette tilfellet redusert avrenning til vann.

1.2 Resultater

1.2.1 Litteraturgjennomgang

Relevant litteratur er fortløpende samlet gjennom prosjektet, men fokus har vært på norske data og review-litteratur.

I litteraturen diskuteres det at effekten av vegetasjonssoner på tilbakeholdelse av plantevernmidler og næringsstoffer vil variere med mange faktorer som f.eks. vegetasjonssonens bredde, hellingen på arealet, type vegetasjon i sonen, fysisk-kjemiske forhold i tilførselsareal og vegetasjonssone, jordtyper, plantevernmidlenes egenskaper (som nevnt ovenfor), osv. (Blankenberg et al., 2017, Boye et al., 2012). I avsnittene under diskuteres noen av disse faktorene.

Generelt kan man si at grasdekte vegetasjonssoner i utkanten av jordet/åkeren er vist å være effektive i å redusere både erosjon og avrenning av plantevernmidler (Reichenberger et al., 2007). Det lille som er av publisert forskning og som er gjort spesifikt på effekten av vegetasjonssoner på avrenningen av plantevernmidler under norske forhold, støtter opp under dette (Syversen, 2005, Syversen and Bechmann, 2003). Disse norske studiene på plantevernmidler viste 34-63, 39-48 og 71-85 % reduksjon av mengdene av hhv. propikonazol, glyfosat og fenpiropimorf på et testfelt på Mørdre på Romerike med en vegetasjonssone på 5 m og helling på 14 °.

Noe av den norske litteraturen som er gjennomgått er på næringsstoffer og partikler (Syversen, 2002, Søvik et al., 2008, Krzeminska et al., 2020). Om ikke direkte overførbart til plantevernmidler, gir disse studiene likevel en pekepinn på den generelle effekten av vegetasjonssoner som et tiltak. To av disse studiene refererer til forsøk utført på Mørdre og et til forsøk utført i Hobøl. I alle tilfellene ble vegetasjonssoner på 4-5 meters bredde undersøkt og hellingen i området var 11-14 %. Kort oppsummert har disse studiene vist en reduksjon på 61-92 % for partikler, 24-89 % for TotP og 29-89 % for TotN.

Det er gjort mye på dette internasjonalt og flere reviewartikler er publisert de siste årene. I en omfattende artikkel oppsummerer Arora et al. (2010) en rekke studier som viser at ulike vegetasjonssoner i gjennomsnitt reduserer avrenningen av plantevernmidler med 61, 63 og 76 % avhengig av om plantevernmidlene ble klassifisert som hhv. svakt ($K_{oc} < 100 \text{ l/kg}$), moderat ($100 < K_{oc} < 1000 \text{ l/kg}$) eller sterkt ($K_{oc} > 1000 \text{ l/kg}$) bundet til partikler. De aller fleste av studiene referert i denne studien er utført i USA på relativt flate arealer (2-4 %) og med kulturer som ikke er vanlig i Norge, f.eks. mais. Noen få unntak refereres, bl.a. Syversen (2005) og Patty et al. (1997), som beskriver felter i hhv Norge og Frankrike, der hellingen ligger mellom 7 og 15 % og det dyrkes korn i tilførselsfeltet.

Det gjort en rekke studier på hva som er ideell bredde på vegetasjonssonene. I en reviewartikkel der 44 ulike studier ble gjennomgått (Prosser et al., 2020), fant man at resultatene varierte så mye at det ble vanskelig å si noe om hvor effektive vegetasjonssonene var, bare ved å se på sonenes bredde alene. I denne artikkelen vises det bl.a. til data på at forholdet mellom tilførselsareal og vegetasjonssonens areal er viktigere enn bredden på sonen i seg selv og at jo bredere sonen er i forhold til tilførselsarealet, desto mer reduseres avrenningen av vann og sediment. I en oppsummering av 49 studier indikerer en modell brukt av Zhang et al. (2010) at renseeffekten i vegetasjonssonen øker med lengden på vegetasjonssonen, men at denne effekten flater ut ved en lengde på ca 10-15 meter. Også her er det stor variasjon i datasettet.

Hellingsraden løftes også fram som en viktig faktor ifht avrenning, spesielt under norske forhold, men publisert litteratur indikerer at dette ikke er en signifikant faktor med mindre det kommer en viss mengde nedbør. Jo brattere det er jo større hastighet vil avrenningen få og desto lengre bør en vegetasjonssone være for å fungere optimalt (Prosser et al., 2020).

Andre faktorer enn hellingsgrad, som f.eks. sammensetningen av vegetasjonen i sonen er vist å være minst like viktig som å øke bredden på vegetasjonssonene og at et tett grasdekke, evt med innslag av busker og rasktvoksende trær, kan være det mest effektive. Trær i vegetasjonssonen kan bl.a. øke infiltrasjonen av vann (Zhang et al., 2010, Prosser et al., 2020, Krzeminska et al., 2020).

Det er også vist at drenering av tilførselsarealene, som jo er vanlig i Norge, vil bidra til å redusere overflateavrenningen av plantevernmidler og dermed kunne reduseres behovet for vegetasjonssoner i første omgang. Dette gjelder spesielt i relativt flate områder med jord med god struktur og høy infiltrasjonskapasitet (Reichenberger et al., 2007, Boye et al., 2012).

Innledningsvis i prosjektet ble det også samlet noe informasjon og litteratur knyttet til andre verktøy som benytter seg av modellen VFSMOD og som er utviklet med tanke på å designe vegetasjonssoner/bufferzoner. Et av disse er det franske web-baserte verktøyet BUVARD (Catalogne C et al., 2016) som skulle være online innen 2017. Dette er foreløpig ikke tilgjengelig. I forskningsprosjektet SMARTCROP (NIBIO, 2020) ble det utviklet en norsk versjon av det nettbaserte verktøyet SYNOPSIS-WEB (Strassemeyer et al., 2017) som integrerer en rekke ulike modeller for å estimere miljøkonsentrasjoner av plantevernmidler for en valgt plantevernstrategi. Målet her var et beslutningsstøtte-verktøy som kan benyttes i Integrert Plantevern (IPV) for å velge plantevernmiddelstrategier med lavest mulig miljøbelastning. SYNOPSIS-WEB benytter modellen VFSMOD for å beregne avrenning fra vegetasjonssoner med ulik bredde, lengde og helling. SYNOPSIS-WEB Norge er fortsatt under utvikling og testing for norske forhold og er ikke åpent tilgjengelig. Resultater fra våre studier av VFSMOD vil på sikt forhåpentligvis kunne benyttes til å forbedre parametriseringen av VFSMOD i SYNOPSIS WEB Norge. I Tyskland er det også etablert et nasjonalt dataverktøy, GERDA (Reichenberger et al., 2014), som inkluderer VFS-MOD for å beregne effekten av vegetasjonssoner. GERDA inkluderer også effekten av ulike dyser for å redusere avdrift.

Det er mange faktorer som bestemmer hvor effektive vegetasjonssoner er til å redusere avrenningen av plantevernmidler og å undersøke alle disse i et enkelt feltforsøk er svært vanskelig. Som beskrevet er det derfor utviklet modeller i et forsøk på å fange denne kompleksiteten. I dette prosjektet er modellen VFSMOD (Parsons and Muñoz-Carpena, 2002) valgt, delvis pga at den inngår i SYNOPSIS-WEB, men også fordi det er en modell som benyttes internasjonalt.

1.2.2 Data fra feltforsøk og modelltilpasning

I dette prosjektet har vi tatt for oss modellen VFSSMOD for å vurdere hvordan denne modellen best mulig kan tilpasses bruk under norske forhold og for slik å kunne benytte modellen til rådgivning om etablering av vegetasjonssoner. I dette arbeidet har vi benyttet eksisterende norske data fra studier av vegetasjonssoner på Mørdrefeltet på Romerike (Syversen, 2005), og sammenliknet med modellresultater fra simuleringer under de samme betingelser som feltforsøkene.

Vann og sediment

Kalibreringen av VFSSMOD-modellen mot feltresultater fra avrenningsforsøk i vegetasjonssoner i Mørdre-feltet, viser at modellen klarer å simulere avrenningen av vann gjennom vegetasjonssonen ganske bra, der de simulerte verdiene er på ca 32-35 % av de målte i to tilfeller, men ellers på 80-95 % av de målte (Tabell 1). I følge Ressler et al. (1996) er en simulering akseptabel når forskjellen mellom målte og simulerte verdier ikke overstiger 25 %. Graden av infiltrasjon i vegetasjonssonen simuleres jevnt over ganske bra, men med noe variasjon mellom de fire ulike periodene med nedbørepisoder. Simuleringen av sediment-/partikkeltransport derimot viser større avvik fra målte verdier. Modellen simulerer gjennomsnittlig tilbakeholdelse av ca 15-66 % mer sediment enn det man observerte i feltet på Mørdre. Årsakene til dette kan være mange, bl.a. at noen av parameterne for erosjonsforholdene og jordarbeidingen kan være feiljustert. Forskjeller i nedbørintensitet mellom feltforhold og modell kan også være avgjørende. En feilkilde her er også at modellen må simulere hver enkelt nedbørepisode separat, mens feltforsøkene i Mørdre kun har målinger basert på blandprøver fra flere nedbørepisoder. Enkelte mindre nedbørepisoder er utelatt fra modellsimuleringen mens disse muligvis også bidro litt til den totale avrenningen i feltforsøkene.

Tabell 1: Sammenligning mellom simulerte og målte verdier på avrenning av vann og sediment etter kalibrering av VFSSMOD mot målte data fra Mørdre for fire avrenningsepisoder (Syversen, 2005). Graden av infiltrasjon og sedimentretensjon i vegetasjonssonen er også vist. Da VFSSMOD kun kan simulere enkeltepisoder, er de simulerte verdiene i tabellen basert på en sum av simulert avrenning fra flere mindre nedbørepisoder.

	22.08-13.10-2000		31.10-20.11-2000		08.04-18.06-2001		18.06-29.10-2001	
	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.
Avrenning inn (m ³)	4.0	1.3	11.4	10.6	2.4	2.4	4.0	4.4
Avrenning ut (m ³)	2.8	1.0	11.1	9.2	1.7	2.1	2.8	3.2
Infiltrasjon (%)	29.0	20.3	3.0	13.8	27.8	12.5	29.0	29.0
Sediment inn (kg)	5.6	3.6	5.8	143.6	0.3	15.3	5.6	25.0
Sediment ut (kg)	4.3	0.4	1.8	22.2	0.3	6.2	4.9	5.6
Sediment retensjon (%)	23.7	90.1	69.2	84.5	8.3	59.2	12.5	77.8

Plantevernmidler

Simuleringen av hvordan plantevernmidlene blir holdt igjen i vegetasjonssonen viser også stor variasjon (Tabell 2) sammenliknet med de målte verdiene fra Mørdre, men alle plantevernmidlene viser god overensstemmelse i en eller flere av de simulerte periodene. For ugrasmidlet glyfosat simulerer modellen en retensjon/tilbakeholdelse nært opp til de målte verdiene i to av de fire periodene med avvik på bare 1 og 7 %. Det samme ser man for soppmidlet fenpropimorf med to perioder der avviket er på hhv 1 og 17 %. For soppmidlet propikonazol er det bare en periode hvor modell og målte verdier stemmer overens, med et avvik på 5 %. Det større avvikene lå i området 40-

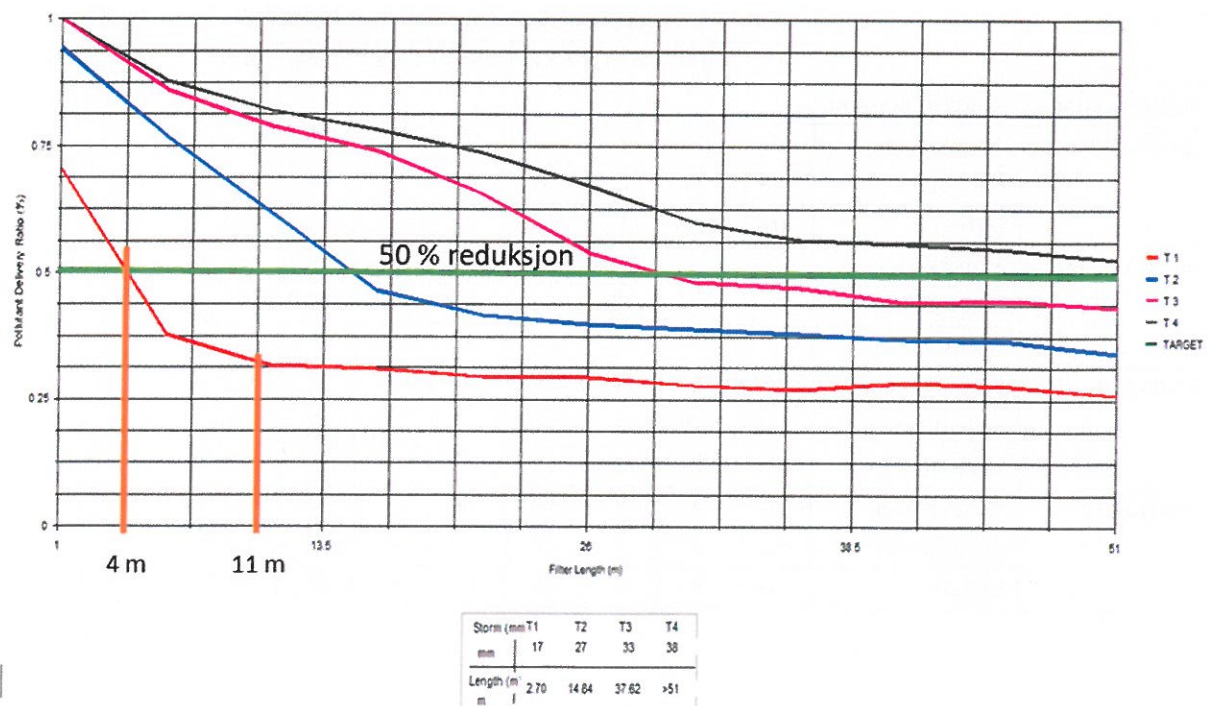
47 %. Siden vegetasjonssoner i hovedsak designes for å filtrere partikler, fanger modellen dette ganske bra siden glyfosat ($K_d=1194$) og fenpropimorf ($K_d=73,5$) bindes sterkt til jordpartikler og defineres som 'ikke mobile', mens propikonazol ($K_d=17,8$) har en noe svakere binding og defineres som 'litt mobilt' i Pesticide Properties Database (Lewis et al., 2016).

Tabell 2: Oversikt over observert retensjon (ΔP) av plantevernmidler i vegetasjonssonen i Mørdre og simulerte verdier.. Da VFSSMOD kun kan simulere enkeltepisoder, er de simulerte verdiene i tabellen basert på en sum av avrenningen fra flere mindre nedbørepisoder. md=data fra feltforsøket mangler.

	22.08-13.10-2000		31.10-20.11-2000		08.04-18.06-2001		18.06-29.10-2001	
	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.
ΔP Propikonazol (%)	md	87.1	100	59.3	27.8	67.4	84	79.1
ΔP Fenpropimorf (%)	md	87.6	76.5	59.7	md	67.9	78.3	79.6
ΔP Glyfosat (%)	89.5	88.4	66.9	60	21.2	68.5	46.2	80.2

Design av vegetasjonssone

VFSSMOD inkluderer en designmodul som kan benyttes for å finne den optimale bredden av en vegetasjonssone for ulike plantevernmidler ved ulike nedbørintensiteter på et felt som Mørdre. Lengden på vegetasjonssonen som foreslås er også avhengig av bl.a. hvilket reduksjonsmål for avrenningen som velges. I våre simuleringer valgte vi reduksjonsmål på hhv. 25 og 50 % ift avrenningen for å illustrere hvordan dette kan påvirke optimal utforming av en vegetasjonssone (Figur 1, Tabell 3).



Figur 1: Eksempel på resultat fra designmodulen i VFSSMOD. I dette tilfellet illustreres hvilken bredde man må ha på vegetasjonssonen for å redusere avrenningen med 50 % (grønn linje i grafen) ved ulike nedbørepisoder. Den røde kurven illustrerer filtreringen av glyfosat ved en nedbørepisode som inntreffer hvert år (17 mm på 6 timer) og hvordan filtreringen øker med vegetasjonssonens bredde fram til ca 10 meter. Utover det hjelper det ikke å øke bredden på sonen. Man ser også at man får en reduksjon på avrenningen på 50 % allerede med en sone på ca 4 meter. De andre kurvene representerer andre nedbørsintensiteter som ikke inntreffer like ofte, hhv. 27, 33 og 38 mm over 6 timer, noe som hhv inntreffer hvert 2., 5. og 10. år.

Resultatene (Tabell 3) viser at man, med en hellingsgrad på 14 % og en grasdekt vegetasjonssone som på Mørdfeltet, må beregne en bredde på vegetasjonssonen på i verste fall 8-9 meter ved en nedbørsepisode på 15 mm over 6 timer (kan skje flere ganger per år) for å nå et reduksjonsmål på 25 %, avhengig av hvilket plantevernmiddel man ser på, men at man i mange tilfeller ikke behøver sette noen vegetasjonssone i det hele tatt. Setter man reduksjonsmålet til 50 %, må man beregne en bredde på 1-22 meter avhengig av plantevernmidlet. Ved mer regn over samme periode må man ha lengre vegetasjonssoner. Kommer man opp i det man kan definere som en 2-årsstorm, med 23 mm nedbør over 6 timer og har et reduksjonsmål på 50 %, ser man at selv 51 meter ikke er nok i mange tilfeller. Ut fra disse resultatene ser man også at man må ha lengre vegetasjonssoner for å holde tilbake propikonazol, som er mer mobilt, enn glyfosat som binder seg sterkere til partikler. Dette er i tråd med at vegetasjonssoner først og fremst er konstruert for å redusere mengden partikler som transporteres fra feltet, mens vannet i større grad renner gjennom sonen. Ved lengre soner kan man naturlig nok få større grad av infiltrasjon av vannet.

Tabell 3: Oversikt over modellens beregninger av vegetasjonssoner ved ulike nedbørintensitet og frekvens. Beregningene er basert på kalibrerte enkeltepisoder fra Mørdre. Lengden på vegetasjonssonen som foreslås er avhengig av bl.a. hvilket reduksjonsmål for avrenningen som velges. I tabellen under er beregninger vist for hhv. 25 og 50 % reduksjon. na = ingen vegetasjonssone er nødvendig, >51 = 51 meter er ikke nok til å redusere avrenningen etter målsetningen.

		Frekvens (år)							
		1		2		5		10	
		Nedbørsmengde (mm)							
		15		23		29		32	
		Estimert vegetasjonssone (m) ved ulike reduksjonsmål							
		25 %	50 %	25 %	50 %	25 %	50 %	25 %	50 %
Nedbørsepisode	Plantevernmiddel								
27.09.2000	Propikonazol	n/a	n/a	3	>51	10	>51	>51	>51
	Fenpropimorf	n/a	n/a	2	>51	7	>51	14	>51
	Glyfosat	n/a	n/a	1	>51	5	>51	7	>51
19-20.11-2000	Propikonazol	9	22	23	>51	39	>51	50	>51
	Fenpropimorf	8	17	22	>51	30	>51	42	>51
	Glyfosat	8	16	20	>51	31	>51	37	>51
29.05.2001	Propikonazol	n/a	1	3	28	8	43	11	>51
	Fenpropimorf	n/a	n/a	3	19	7	27	9	45
	Glyfosat	n/a	n/a	2	13	6	19	8	32
10.09.2001	Propikonazol	n/a	4	8	>51	16	>51	25	>51
	Fenpropimorf	n/a	3	6	26	13	>51	21	>51
	Glyfosat	n/a	3	6	19	11	>51	17	>51

1.2.3 Oppsummering

Litteratursammenstillingen viser at det er mange faktorer som spiller inn på hvor effektiv en vegetasjonssone er til å redusere avrenningen av plantevernmidler.

Prosjektarbeidet har resultert i en kalibrert modell for overflateavrenning av plantevernmidler under norske forhold. Modellen er kalibrert med data fra et feltforsøk utført på Mørdre på Romerike i årene 2000-2002. Resultatene viser at forskjellen mellom de målte og simulerte dataene er akseptabel for avrenning av vann, med avvik godt innenfor «kravet» på 25 % i de fleste tilfeller. Resultatene for jordpartikler/sediment og plantevernmidler har større avvik som delvis skyldes at dataene fra feltforsøket har for dårlig oppløsning. Alle plantevernmidlene viser god overensstemmelse i en eller flere av de simulerte periodene med avvik på 1-17 % i disse tilfellene. I feltforsøket samlet man blandprøver for lengre perioder, mens modellen er designet for å simulere enkeltepisoder ifht nedbør og avrenning. De datasimulerte resultatene for plantevernmidler er likevel logiske og ihht publiserte data i åpen litteratur. bl.a. ved at man trenger kortere vegetasjonssoner for plantevernmidler som bindes sterkt til partikler, f.eks. glyfosat, da disse fanges lettere opp i vegetasjonssonen enn mer vannløselige midler som f.eks. propikonazol. Resultatene fra datasimuleringen viser også at bredden på vegetasjonssonen som anbefales av modellen vil avhenge av nedbørintensiteten og reduksjonsmålet man velger for avrenningen. En nedbørepisode på 15 mm over 6 timer vil kreve en vegetasjonssone på i verste fall 9 meter hvis man setter et reduksjonsmål på 25 %, mens man ved et reduksjonsmål på 50 % må opp i maks 22 meter avhengig av plantevernmidlet man ser på.

2. Gjennomføring

2.2 Tiltak

2.2.1 Litteraturgjennomgang

På grunn av forsinkelsene i prosjektet og utfordringene med modelleringen er det brukt mindre ressurser på dette tiltaket enn opprinnelig planlagt. Relevant litteratur er fortløpende samlet gjennom prosjektet, men fokus har vært på norske data og større samlereporter/artikler.

2.2.2 Data fra feltforsøk på Mørdre

Dataene fra feltforsøk med vegetasjonssoner gjennomført på Mørdre i 2000-2002 (Syversen, 2005) ble prosessert i 2017-2018 og er blitt videre analysert i detalj for å identifisere aktuelle data å kalibrere/ tilpasse modellen til, dvs. perioder som har gitt avrenning av vann og sedimenter fra åkeren og inn i vegetasjonssonene i testfeltet. Vi har lastet ned værdata fra nærmeste klimastasjon for disse årene og hentet ut nedbørdata for alle de identifiserte periodene (Tabell 2). Disse episodene er videre brukt inn i modelltilpasningen. Andre data fra feltet på Mørdre som er tatt inn i modellen inkluderer data om selve utformingen av vegetasjonssonen, jordparametere, dyrkingsforhold på feltet etc.

Tabell 4: Utvalgte måleperioder i feltforsøket på Mørdre og de største nedbørsepisodene innenfor disse periodene. Nedbørsdata er hentet fra den offisielle målestasjonen på Årnes, ca 4 km nordøst for Mørdre.

Periode	Sum nedbør i periode, mm	Nedbørsepisoder, dato	Nedbørsepisode, mm	Nedbørsepisode, antall timer
22.08-13.10-2000	158	29.08	17.4	14
		27.09	20.4	8
		08.10	14.3	20
		09-10.10	21.7	22
31.10-20.11-2000	112.9	01-02.11	9.9	24*
		07-08.11	18.3	26*
		10.11	9.3	9
		12-13.11	10.2	16
		17-18.11	14.3	25*
		19-20.11	20.6	32*
08.04-18.06-2001	92.8	23-24.04	13.2	17
		16-17.05	15.1	15
		29.05	22.9	8
		07.06	17.1	13
		08-09.06	12.7	29
18.06-29.10-2001	213.4	20-21.06	10.6	13
		21.06	9.2	9
		08-09.07	17.9	6
		15.07	10.9	6
		03-04.08	16.2	18
		12.08	11.3	6
		31.08-01.09	14	22
		10.09	17	9
		11.09	11.1	5
		30.09-01.10	13.4	7
		09-10.10	9.7	18
		26-27.10	13.7	21

I den opprinnelige søknaden skulle også data fra et feltforsøk på Øsaker brukes i dette prosjektet, men pga endringer i prosjektplanene for AWARE-prosjektet ble ikke dette aktuelt. Som tidligere rapportert ble midlene til dette derfor omprioritert til analysene av Mørdre-data samt modelltilpasningen.

2.2.3 Modelltilpasning

Sensitivitetsanalyse

Det er utført sensitivitetsanalyser for en del viktige parametere i modellen (Tabell 5). Dvs. at man har sett på hvordan 11 ulike modellresultatet/resultatparametere (Tabell 6) endrer seg etter hvert som man justerer verdien for de ulike inputparametere. Man har slik funnet hvilke parametere modellen er sensitiv for og hvilke parametere som påvirker hverandre innenfor definerte intervaller av hver enkelt inputparameter. En av de parametere modellen er veldig sensitiv for er kurvenummeret, CN (Figur 2). Kurvenummeret er en empirisk parameter som benyttes innen hydrologien for å estimere

avrenning eller infiltrasjon når avhengig av nedbøren (Wikipedia, 2020). Resultatene fra alle disse analysene er ikke vist i sin helhet i denne rapporten, men ble brukt under kalibreringen av modellen.

Tabell 5: Inputparametere til sensitivitetsanalyse i VFSSMOD og testet intervall.

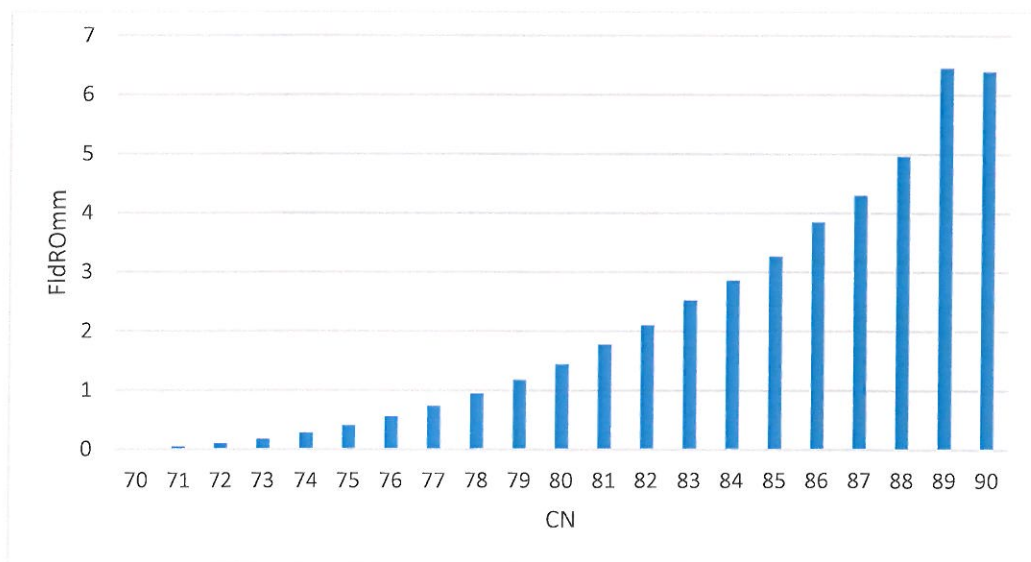
Source area parameter	Testet intervall	Parameter i vegetasjonssonen	Testet intervall
Curve Number, CN	70, 71, 72, 73, ... 90	Ksat, VKS ¹ , cm/h	0.005, 0.01, 0.015, 0.02, ... 0.1
Soil erodibility factor, K	0.01, 0.015, 0.02, 0.025, ... 0.1	Theta initial ² , cm ³ /cm ³	0.01, 0.06, 0.11, 0.16, ... 0.41
Crop factor, C	0.05, 0.075, 0.1, 0.125, ... 0.3	Particle class diameter, Dp ³ , cm	Ingen analyse kjørt
Practice factor, P	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, ... 1.0	Media element spacing, SS ⁴ , cm	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, ...10

¹ Hydraulisk konduktivitet ved metning, ² Vanninnhold i jorden ved start, ³ Partikkeldiameter, ⁴ Avstand mellom stråene i vegetasjonen i vegetasjonssonen

Tabell 6: Output-parametere i VFSSMOD som påvirkes av input-parametere testet i sensitivitetsanalysen.

I sensitivitetsanalysen ser man på ulike verdier av input-parametere og hva dette gjør med ulike resultatparametere. I VFSSMOD ser man effekt på 11 ulike output-parametere i sensitivitetsanalysen.

Forklaring	Resultatparameter
Avrenning fra tilførselsarealet	FldROmm
	FldRm3
Avrenning fra vegetasjonssonen	VFSROmm
	VFSROm3
Mengde som infiltrerer i vegetasjonssonen	VFSINFm3
Mengde sediment fra tilførselsarealet	FldSEDkg
	FldSEDConc (Kg/L)
Mengde sediment fra vegetasjonssonen	VFSSEDkg
	VFSSEDconc (Kg/L)
Sediment delivery ratio (mengde sediment fra vegetasjonssonen/mengde sediment fra tilførselsarealet)	SDR
Runoff delivery ratio (mengde avrenning fra vegetasjonssonen/mengde avrenning fra tilførselsarealet)	RDR



Figur 2: Eksempel på sensitivitetsanalyse. Her ser man hvordan avrenningen fra feltet (FldRO, i mm) varierer med endringer i parameteren CN (kurvenummer).

Kalibrering av modellen for avrenning av vann og sediment

Kalibreringen av VFSSMOD ble gjort ved at man innledningsvis kjørte modellen med et «default» parametersett for deretter å justere en og en av de parameterne som modellen har vist seg sensitiv overfor. Modellen ble så justert/kalibrert med aktuelle data for hver av de ovenfornevnte nedbørsepisodene (mengde nedbør og lengde på nedbørepisoden) (Tabell 2) og sammenlignet med resultatet for de målte verdiene fra feltforsøket (Figur 2). Vi har videre sammenlignet data på vann- og sedimentmengder inn og ut av vegetasjonssonene og sett bl.a. på hvor mye sedimenter som holdes tilbake. Ved store avvik mellom simulert og målte verdier for vann og sedimenter inn og ut av sonen, ble en og en modellparameter justert for å finne de parameterkombinasjonene som minimerte denne forskjellen. Dette har resultert i over 430 simuleringer med ulike parameterkombinasjoner. Valg av verdier for de ulike parameterne er gjort med tanke på at disse verdiene skal være realistiske for det aktuelle feltet vi jobber med, så målte verdier er foretrukket der slike var tilgjengelig. Verdier for øvrige parametere er valgt ut basert på det som beskrives i tabellverk i modellbeskrivelsen (Muñoz-Carpena and Parsons, 2014) eller i litteraturen ellers og etter samtaler med modellutvikleren. Det er sett på ulike kombinasjoner av en rekke parametere (Tabell 3) og resultatet er blitt et kompromiss mellom å tilpasse modellen til de målte dataene mest mulig og bruke mest mulig realistiske verdier for de ulike parameterne. Ulike nedbørsepisoder ble innledningsvis beskrevet med ulike kombinasjoner av disse parameterne for å få en god nok beskrivelse av hver enkelt episode, men til slutt ble det vurdert slik at kun kurvenummeret, CN, parameteren som er viktigst for beskrivelsen av avrenningen fra tilførselsarealet, varierte, mens alle andre parametere ble bestemt å ha lik verdi i alle episodene. CN er også den parameteren som er mest avhengig av selve nedbørsepisoden og det er derfor naturlig at denne varierer mellom episodene.

Siden feltforsøket på Mørdre ble utført slik at man samlet opp avrenningsvann over lengre perioder, fikk man ikke data på avrenning for hver enkelt nedbørsepisode slik modellen er designet for. I vår kalibrering har vi derfor modellert hver enkelt nedbørsepisode (definert som sammenhengende nedbør over flere timer), summert resultatene fra disse episodene og sammenlignet med de målte verdiene i blandprøvene for hele perioden (Figur 3).

Simulert	C1 (L)		C1 (g)
Runoff In	12078	Sediment In	4333
Rain	3466	Sediment Retained	1675
Infiltration	4859	Sediment Out	2657
Runoff out	10685		
Observert:			
Avrenning inn:	11403.8	l	
Avrenning ut:	11060	l	
Sediment inn:	5793.1	g	
Sediment ut:	1786.2	g	

Figur 3: Eksempel på sammenligning av simulerte og målte verdier etter kalibrering av en periode.

Sammenligningen mellom resultatene fra feltforsøket og modellsimuleringene ble gjort ved at man beregnet effekten av vegetasjonssonene på hhv. avrenning av vann og avrenning av sediment og

plantevernmidler. Disse beregningene ble gjort i hht følgende ligninger:

$$\Delta Q_{\text{Obs/Pred}} = ((R_{\text{in}} + P) - R_{\text{out}}) / (R_{\text{in}} + P) \quad (1)$$

der $\Delta Q_{\text{Obs/Pred}}$ er differansen mellom den observerte, eller predikerte, avrenningen som kommer inn i vegetasjonssonen, R_{in} , og det som renner ut av sonen, R_{out} . Nedbøren, P , som faller på vegetasjonssonen legges også til for å få med alt vannet i systemet.

$$\Delta E_{\text{Obs/Pred}} = (\text{Sed}_{\text{in}} - \text{Sed}_{\text{out}}) / \text{Sed}_{\text{in}} \quad (2)$$

der $\Delta E_{\text{Obs/Pred}}$ er differansen mellom den observerte, eller predikerte, sedimentmengden som kommer inn i vegetasjonssonen, Sed_{in} , og det som kommer ut av sonen, Sed_{out} .

Filtrering/retensjon av plantevernmidler

Modellen gir også resultater for plantevernmidler, i tillegg til vann og sedimenter, men pga en nylig oppdatering av en av ligningene som benyttes for å beregne tilbakeholdelsen av plantevernmidler (Reichenberger et al., 2019), ble dette beregnet manuelt. Vi så på hvor godt modellen simulerte reduksjon av de samme tre plantevernmidlene som også ble undersøkt på Mørdre, propikonazol, fenpropimorf og glyfosat. For å beregne denne reduksjonen, eller tilbakeholdelsen av plantevernmidler i vegetasjonssonene, benyttet vi Sabbagh-ligningen (Sabbagh et al., 2009) (1) men med oppdaterte koeffisienter ihht til Reichenberger et al. (2019):

$$\Delta P = 24.79^a + 0.54^b \Delta Q + 0.52^c \Delta E - 2.42^d \ln(\text{Fph} + 1) - 0.89^e \%C \quad (3)$$

der ΔP er relativ reduksjon (%) av den totale mengden plantevernmiddel, ΔQ er den relative reduksjonen (%) i total mengde vann som kommer inn i vegetasjonssonen, ΔE er relativ reduksjon (%) i mengden sediment som kommer inn i vegetasjonssonen, Fph er fasefordelingskoeffisienten, dvs fordelingen mellom løst og sedimentbundet plantevernmiddel i det som kommer inn i vegetasjonssonen og $\%C$ er leirinnholdet i jorda i selve feltet. Denne verdien er da også antatt å være den samme i sedimentet som kommer inn i vegetasjonssonen. Fasefordelingskoeffisienten beregnes slik:

$$\text{Fph} = Q_i / K_d E_i \quad (4)$$

der Q_i = total mengde vann (L) inn i vegetasjonssonen, E_i = mengden sediment (kg) som kommer inn i vegetasjonssonen, K_d = lineære sorpsjonskoeffisienten (L/kg) til det aktuelle plantevernmidlet.

Sabbagh-ligningen har altså 5 regresjonsparametre (hevet skrift i ligningen, a-e) og 6 uavhengige variabler (ΔQ , ΔE , $\%C$, Q_i , K_d og E_i). Følgende rekalkulerte verdier er benyttet for de 5 regresjonskoeffisientene:

a=-11.4, b=0.6, c=0.49, d=-0,36, e=0.2 (Reichenberger et al., 2019).

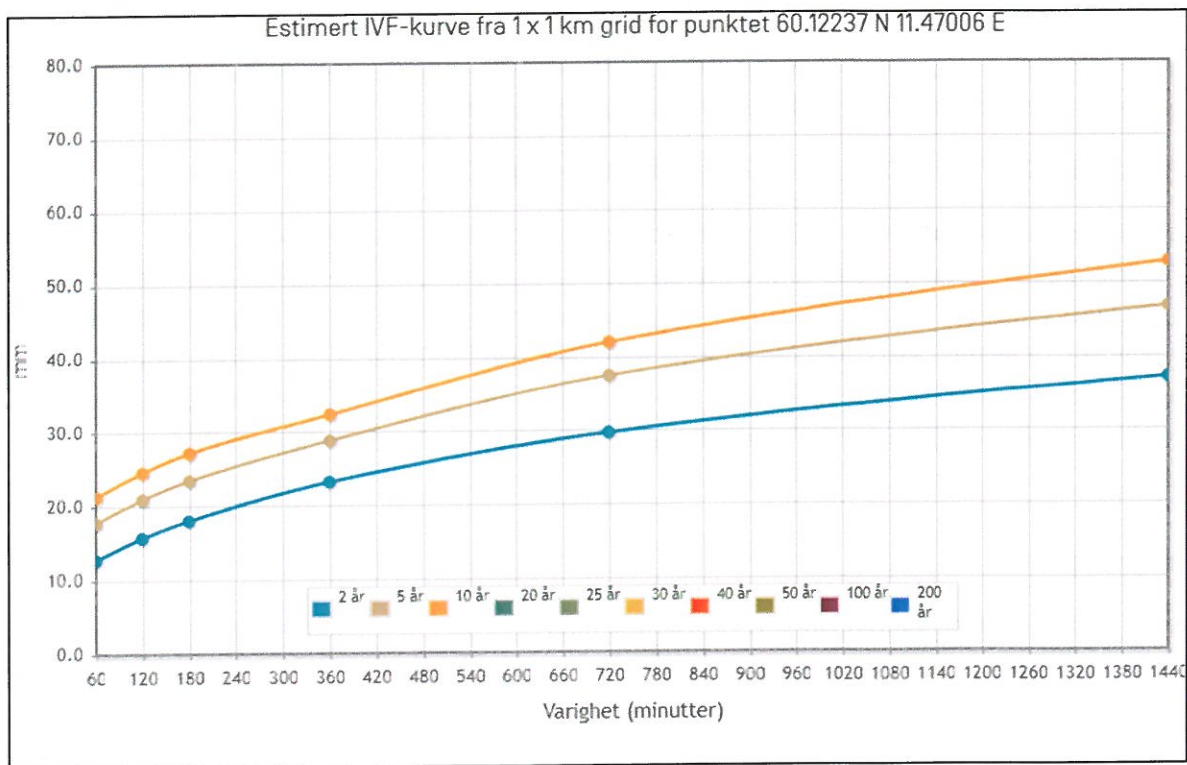
De beregnede ΔP -verdiene for plantevernmidlene propikonazol, glyfosat og fenpropimorf er sammenlignet med de målte dataene fra feltstudiet på Mørdre (Syversen, 2005).

Design av vegetasjonssone

For å se på hvordan modellen simulerte tilbakeholdelse av vann, sedimenter/jordpartikler og plantevernmidler i vegetasjonssoner av ulik bredde benyttet vi en design- modul i modellen (Figur 5). I denne delen av modellen kan man bare se på enkeltepisoder og man må derfor ta utgangspunkt i

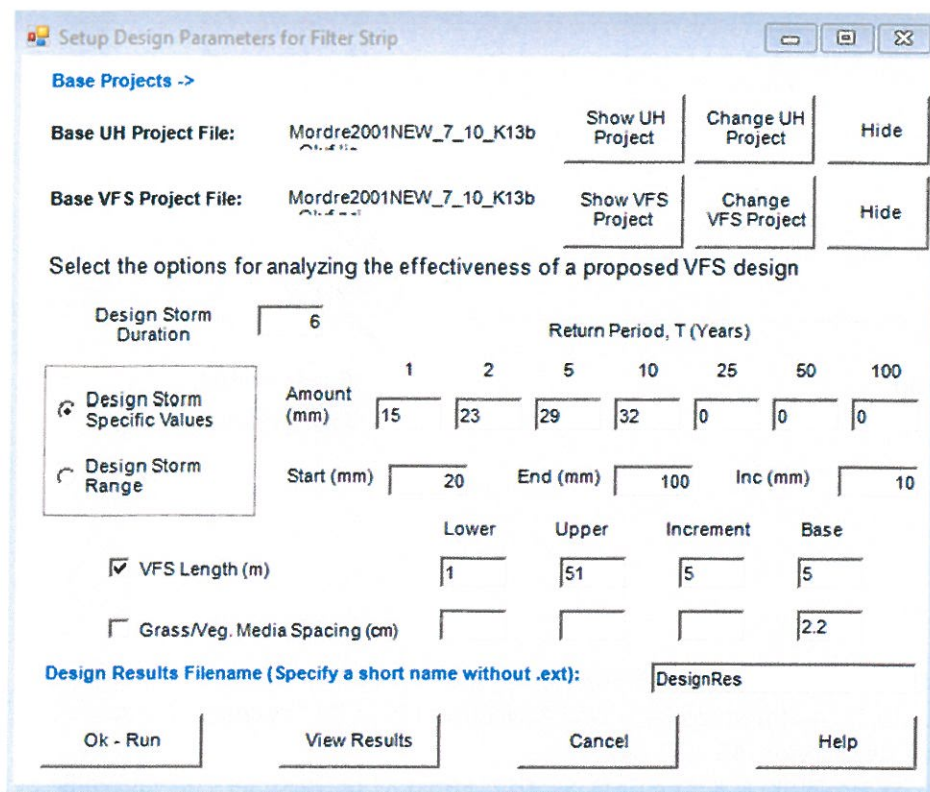
modellsimuleringene med disse og ikke se på de summerte simuleringene for periodene som er sammenlignet med resultatene fra feltforsøket. Vi tok derfor utgangspunkt i en av de største nedbørsepisodene på Mørdre innen hver enkelt av de 4 testede periodene. Disse episodene var også blant de mest avgjørende for avrenningen i hver enkelt periode.

I denne modulen kunne vi definere ulike nedbørsepisoder med ulik nedbørintensitet, ulik varighet, totalmengde nedbør som faller i episoden og hvor ofte disse kombinasjonene inntreffer, såkalt returperioden for nedbøren. Her valgte vi en lengde på episodene på 6 timer. Vi lot modellen estimere vegetasjonssoner mellom 1 og 51 meter avhengig av om det falt 15, 23, 29 eller 32 mm nedbør i løpet av disse 6 timene. Vegetasjonssoner på over 50 meter er lite realistisk under norske forhold, men er tatt med for å illustrere at vegetasjonssoner ikke nødvendigvis er effektive under alle forhold. Valget av 15 mm nedbør i løpet av 6 timer som en episode som gjentar seg årlig, er basert på de analyserte dataene fra Mørdre som viser at dette inntreffer minst en gang hvert år. Data på de andre returperiodene/frekvensene av nedbør (dvs hvor ofte en spesifikk nedbørsepisode inntreffer) er hentet fra Norsk Klimaservicesenters database (Norsk Klimaservicesenter, 2020) for klimastasjonen på Årnes, ca 4 km fra feltet på Mørdre (Figur 4).



Figur 4: Returperioder/forventet frekvens av ulike nedbørintensiteter på Årnes. I kurven vises kun data på returperioder på 2, 5 og 10 år. Ut fra denne kurven kan man se på ulike kombinasjoner av nedbørsvarighet og nedbørsmengde og hvor ofte akkurat den kombinasjonen inntreffer (Norsk Klimaservicesenter, 2020).

Modellen tar ikke hensyn til doseringen av plantevernmidlene, kun stoffenes sorpsjonskoeffisienter, K_d , som er et mål på hvor sterkt stoffene bindes til partikler. En lav K_d -verdi indikerer at mye av stoffet er løst i vannfasen og fraktes med vannet, mens en høy K_d -verdi indikerer at mye av stoffet er bundet til overflaten av partikler og transporteres med disse. K_d for et stoff kan variere med jordtypen og i dette tilfellet er data fra sorpsjonsforsøk med jord fra Mørdre brukt i simuleringen.



Figur 5: Eksempel på skjermbilde med designmodulen i VFSMOD. I dette bildet legger man inn data fra simuleringene av en enkelt nedbørsepisode og simulerer nedbørsepisoder av ulike størrelser og effekten av vegetasjonssoner med ulike lengder.

Usikkerhetsanalyse

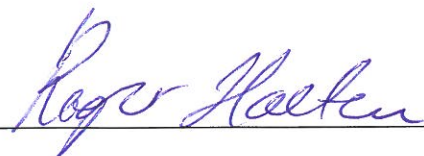
På grunn av de store usikkerhetene som allerede ligger i datasettet fra feltforsøket på Mordre, samt forsinkelsene i prosjektet, ble det bestemt å ikke gjennomføre en usikkerhetsanalyse.

2.3 Organisering og samarbeid

Samarbeidet i prosjektet har i hovedsak foregått via regelmessige arbeidsmøter mellom NIBIO og Eklo Consulting. Kontakt med internasjonale/eksterne samarbeidspartnere har foregått via elektronisk kommunikasjon. Det er også arrangert et 2-dagers arbeidsmøte på Ås for prosjektgruppen, modellutvikler Rafael Muñoz-Carpena fra Universitetet i Florida og Stefan Reichenberger fra Dr. Knoell Consult GmbH. Dette ble gjort for å få bedre kunnskap og forståelse av både modellen og resultatene. Det har vært et tett og godt samarbeid med disse både før og etter dette møtet.

3. Formidling av resultater

Resultater fra prosjektet er formidlet via årlige rapporter til Landbruksdirektoratet og via prosjektinformasjon på Landbruksdirektoratets nettsider. Øvrige planlagte formidlingsaktiviteter har ikke latt seg gjennomføre innenfor prosjektperioden på grunn av forsinkelsene i prosjektet, samt at aktuelle konferanser/møter er blitt utsatt. Resultater fra dette prosjektet er planlagt presentert på en Nordisk-Baltisk workshop som skal arrangeres neste år. Det planlegges også å sammenfatte både dette prosjektet og resultatene fra det nye vegetasjonssoneprosjektet i en større NIBIO-rapport i 2021.



Marianne Stenrød,
Avdelingsleder

Roger Holten,
Prosjektleder

Litteratur

- ARORA, K., MICKELSON, S. K., HELMERS, M. J. & BAKER, J. L. 2010. Review of Pesticide Retention Processes Occurring in Buffer Strips Receiving Agricultural Runoff1. *Journal of the American Water Resources Association*, 46, 618-647.
- BLANKENBERG, A.-G. B., SKARBØVIK, E. & KVÆRNØ, S. 2017. Effekt av buffersoner - på vannmiljø og andre økosystemtjenester. *NIBIO Rapport*. NIBIO.
- BOYE, K., JARVIS, N., MOYES, J., GÖNCZI, M. & KREUGER, J. 2012. Pesticide Run-off to Swedish Surface Waters and Appropriate Mitigation Strategies – a review of the knowledge focusing on vegetated buffer strips. *CKB Report 2012:4*. Uppsala: Centre for Chemical Pesticides, Swedish University of Agricultural Sciences.
- CATALOGNE C, LAUVERNET C, CARLUER N & LEBLOIS E 2016. BUVARD online: a webtool using the R language (Shiny) to help end-users sizing their vegetative filter strips. *5th international EcoSummit Aug 2016*. Montpellier, France.
- KRZEMINSKA, D., BLANKENBERG, A.-G. B., BØE, F. N., NEMES, A. & SKARBØVIK, E. 2020. Renseeffekt og kanterosjon i kantsoner med forskjellig vegetasjonstype. *NIBIO Rapport*.
- LEWIS, K. A., TZILIVAKIS, J., WARNER, D. J. & GREEN, A. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22, 1050-1064.
- NIBIO. 2020. *Smartcrop* [Online]. Available: <https://www.nibio.no/prosjekter/smartcrop> [Accessed 02.06.2020].
- NORSK KLIMASERVICESENTER. 2020. *Nedbørintensitet og returverdier* [Online]. Available: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml#chartTag> [Accessed 27.05.2020].
- PARSONS, J. E. & MUÑOZ-CARPENA, R. VFSMOD-W a graphical Windows system for the evaluation and design of vegetative filter strips for sediment trapping. Pp. 532-535 in Total Maximum Daily Load (TMDL) Environmental Regulations: Proceedings of the March 11-13, 2002 Conference, (Fort Worth, Texas, USA), 2002 St. Joseph, MI. ASABE.
- PATTY, L., RÉAL, B. & JOËL GRIL, J. 1997. The Use of Grassed Buffer Strips to Remove Pesticides, Nitrate and Soluble Phosphorus Compounds from Runoff Water. *Pesticide Science*, 49, 243-251.
- PROSSER, R. S., HOEKSTRA, P. F., GENE, S., TRUMAN, C., WHITE, M. & HANSON, M. L. 2020. A review of the effectiveness of vegetated buffers to mitigate pesticide and nutrient transport into surface waters from agricultural areas. *J Environ Manage*, 261, 110210.
- REICHENBERGER, S., BACH, M., DANIELS, B., GROSSMANN, D., GUERNICHE, D., HOMMEN, U., KAISER, M., KLEIN, M., KUBIAK, R., MULLER, A., PIRES, J., PREUSS, T. G., THOMAS, K. & TRAPP, M.

2014. GERDA – A new software tool for pesticide exposure assessment for surface waters in Germany.
- REICHENBERGER, S., BACH, M., SKITSCHAK, A. & FREDE, H.-G. 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. *Science of The Total Environment*, 384, 1-35.
- REICHENBERGER, S., SUR, R., KLEY, C., SITTIG, S. & MULTSCH, S. 2019. Recalibration and cross-validation of pesticide trapping equations for vegetative filter strips (VFS) using additional experimental data. *Science of The Total Environment*, 647, 534-550.
- RESSELER, V. H., SCHÄFER, H., GAMPP, H., GÖRLITZ, G., KLEIN, M., KLOSKOWSKI, R., MANI, J., MOEDE, J. & MÜLLER, M. 1996. Recommendations to conduct and assess model calculations for the validation of simulation models. *Institute for Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 500, 57377.
- SABBAGH, G. J., FOX, G. A., KAMANZI, A., ROEPKE, B. & TANG, J.-Z. 2009. Effectiveness of Vegetative Filter Strips in Reducing Pesticide Loading: Quantifying Pesticide Trapping Efficiency. *Journal of Environmental Quality*, 38, 762-771.
- STRASSEMAYER, J., DAEHMLOW, D., DOMINIC, A. R., LORENZ, S. & GOLLA, B. 2017. SYNOPSIS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. *Crop Protection*, 97, 28-44.
- SYVERSEN, N. 2002. Effect of a cold-climate buffer zone on minimising diffuse pollution from agriculture. *Water Science and Technology*, 45, 69-76.
- SYVERSEN, N. 2005. Cold-climate vegetative buffer zones as pesticide-filters for surface runoff. *Water Science and Technology*, 51, 63-71.
- SYVERSEN, N. & BECHMANN, M. 2003. Vegetative buffer zones as pesticide-filters for simulated surface runoff. Pesticide in Air. *Plant, Soil & Water System*, 587-597.
- SØVIK, A. K., SYVERSEN, N. & MÆHLUM, T. 2008. Vegetasjonssoner som rensefilter for overflateavrenning - effekt av ulike vegetasjon og variasjon i renseeffekt over tid. *BioforskFOKUS Vol. 3 Nr. 6*.
- WIKIPEDIA. 2020. *Runoff curve number* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Runoff_curve_number [Accessed 04.06.2020].
- ZHANG, X., LIU, X., ZHANG, M., DAHLGREN, R. A. & EITZEL, M. 2010. A Review of Vegetated Buffers and a Meta-analysis of Their Mitigation Efficacy in Reducing Nonpoint Source Pollution. *Journal of Environmental Quality*, 39, 76-84.