

Faglig rapport: "Risikovurdering av komplekse blandinger av plantevernmidler i miljøet med fokus på norske forhold (Agros 16517)"

Forfatter: Knut Erik Tollefsen (NIVA)

Samarbeidspartnere: Marianne Stenrød (NIBIO), Jes Rasmussen (NIVA), Viviane Girardin (NIVA), Guri Sogn Andersen (NIVA), Benno Dillinger (NIVA), Jens Vedal (NIVA), Kim Leirvik (NIVA), Marit Hauken (NIBIO), Roger Holten (NIBIO), Kathinka Lang (NIBIO).

Bakgrunn

Overvåkingsdata fra JOVA-programmet (1995–2019) viser at plantevernmidler og deres metabolitter ofte forekommer i miljøet i konsentrasjoner som overstiger miljøfareverdier (Bechmann et al, 2021). Flere stoffer opptre samtidig (Stenrød, 2015), noe som kan føre til blandingsgiftighet med ukjent risiko for akvatiske organismer. Slike effekter avhenger av miljøkonsentrasjoner, stoffenes biologiske skadepotensial og lokale forhold som påvirker avrenning, nedbrytning og fortynning.

Laboratoriestudier viser at kombinasjonseffekter av kjemikalier hovedsakelig er additive (88 %), med mindre grad av synergisme (7 %) og antagonisme (Belden and Lydy, 2007). Internasjonale anbefalinger og retningslinjer, inkludert fra EFSA (More et al., 2019), fremhever behovet for gjennomføring av kumulativ risikovurdering av slike blandinger (Beyer et al., 2014, Altenburger et al., 2015, 2018, Faust et al., 2019). I likhet med føringer fra EU har norsk miljøforvaltning også et ønske om å håndtere blandingsgiftighet og kumulativ risiko (Miljødirektoratet, 2016).

Et samarbeid mellom NIVA og NIBIO (2013–2015) utviklet prediksjonsmodeller basert på JOVA-data for å estimere den samlede risikoen for plantevernmiddelblandinger (Petersen et al., 2013; Petersen et al., 2015, Tollefsen et al., 2016). Modellene, basert på konsentrasjonsaddisjon, identifiserte flere lokaliteter hvor blandingen overskred faregrenser. Kontrollerte laboratoriestudier bekreftet modellens pålitelighet, med avvik innen akseptable grenser for følsomhet mellom arter.

NIVA har videreutviklet modellene for bruk i en dedikert database (NIVA Risk Assessment Database (RADb)), som muliggjør risikoprediksjon basert på overvåkingsdata og tilgjengelige grenseverdier (f.eks. akutt miljøfare ((AMF), kronisk miljøfare (MF)), konkrete effektverdier fra ulike artsgrupper (fra økotoksikologiske tester). Arbeidet med JOVA-data har avdekket at det er behov for mer standardisert håndtering av data, utvikling av databasefunksjonalitet og analyser og tilrettelegging av resulterende data for ulike sluttbrukergrupper (forskning, næring, forvaltning).

Målsetting

De overordnede målene for prosjektene var:

1. Videreutvikle risikovurderingsverktøy som NIVA RAdb for å analysere kumulativ risiko og identifisere risikodrivere.
2. Identifisere risikoen plantevernmidler utgjør for akvatiske miljøer, spesielt når de opptrer i komplekse blandinger.
3. Tilrettelegge for kunnskap og verktøy som støtter opp under bærekraftig bruk av plantevernmidler i norsk landbruk.
4. Gi grunnlag for praktiske anbefalinger for fremtidig overvåking og tiltaksutforming basert på solide vitenskapelige metoder.

Metodikk

For å oppnå målene ble det benyttet en omfattende tilnærming som inkluderte:

1. Datainnhenting og organisering av miljøeksponeringsdata: Overvåkingsdata fra JOVA-programmet i perioden 2011-2018 ble innhentet ved hjelp av nyutviklede importfilter for å sikre standardisert og reproduserbar datahåndtering av målte miljøkonsentrasjoner av plantevernmidler og deres metabolitter i ulike JOVA felt (Timebekken (TIME), Hotran (HOTRAN), Heiabekken (HEIA), Vasshaglona (VASSHAGLONA), Mørdre (MØRDRE), Skuterudbekken (SKUTERUD)).

2. Data-innhenting og organisering av økotoksikologiske toksisitetsdata: Grenseverdier for økotoksikologisk effekt ble innhentet fra NIBIO (AMF og MF verdier), toksisitetsdata for ulike vannlevende organismegrupper ble hentet fra USEPA ECOTOXicology Knowledgebase (<https://cfpub.epa.gov/ecotox/>) og Pesticide Property Database, PPDB (<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/>) og tilrettelagt for bruk i risikovurdering.

3. Utvikling av risikovurderingsverktøy: NIVA RAdb ble oppgradert for å muliggjøre beregninger av kumulativ akvatisk miljørisiko basert på ett oppdatert og utvidet sett med eksponering og økotoksikologiske data (se pkt. 1 og 2, over). Herunder ble det utviklet analyse og visualiseringsverktøy for spatial og temporal eksponering, heterogene toksisitetsdata og risikoprediksjoner gjennom NIVA RAdb og programmerings- og programvareplattformen R. Analysetilnærminger for multivariat analyse, Bayesisk sannsynlighetsvurderinger og Bayesiske nettverk (BN) ble testet for potensiell fremtidig inkludering som analyseverktøy tilknyttet NIVA RAdb.

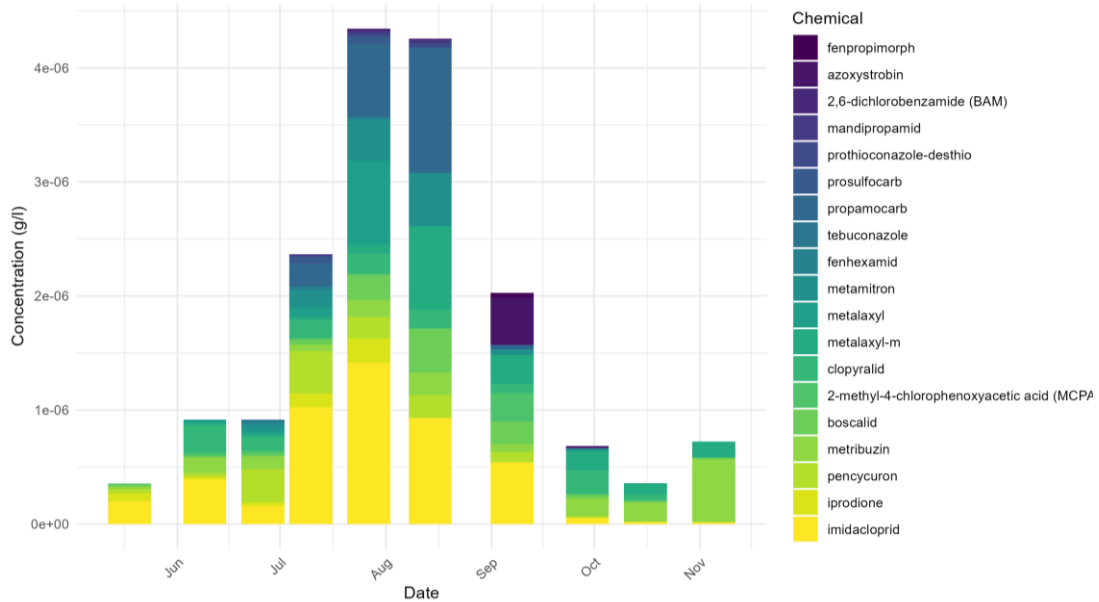
4. Nettbasert brukergrensesnitt: Et nettbasert brukergrensesnitt for visualisering av eksponering og kumulativ risiko er utviklet med fokus på brukervennlighet og effektiv datahåndtering. Verktøyet er implementert i Shiny og presenteres gjennom et nettbasert grensesnitt STOP-JOVA (<https://stop-jova.t.niva.no/>). Løsningen er teknisk støttet av en Docker Container-basert tilkobling som knytter NIVA RAdb (Oracle-database) til en lokal SQLite-database. Kobling mellom databasene administreres vha. Kubernetes Cluster og driftes på en Google Cloud-plattform, noe som sikrer skalerbarhet, pålitelighet og fleksibilitet i datahåndteringen.

5. Analyse av kumulative risiko for JOVA data fra perioden 2011-2018: Eksponeringsdata fra JOVA-programmet i perioden 2011-2018 og toksisitetsdata fra ulike databaser er benyttet til å predikere overskridelser av grenseverdier (risikoekvivalent (RQ) = vannkonsentrasjon av aktivt stoff/grenseverdi for toksikologiske effekter) for økosystemet (grenseverdi: AMF, MF) og for ulike artsgrupper (grenseverdi: NOEC, ECx for ulike artsgrupper) samt kumulativ risiko (sum av risikoekvivalenter) for økosystemet og spesifikke artsgrupper.

Hovedresultater

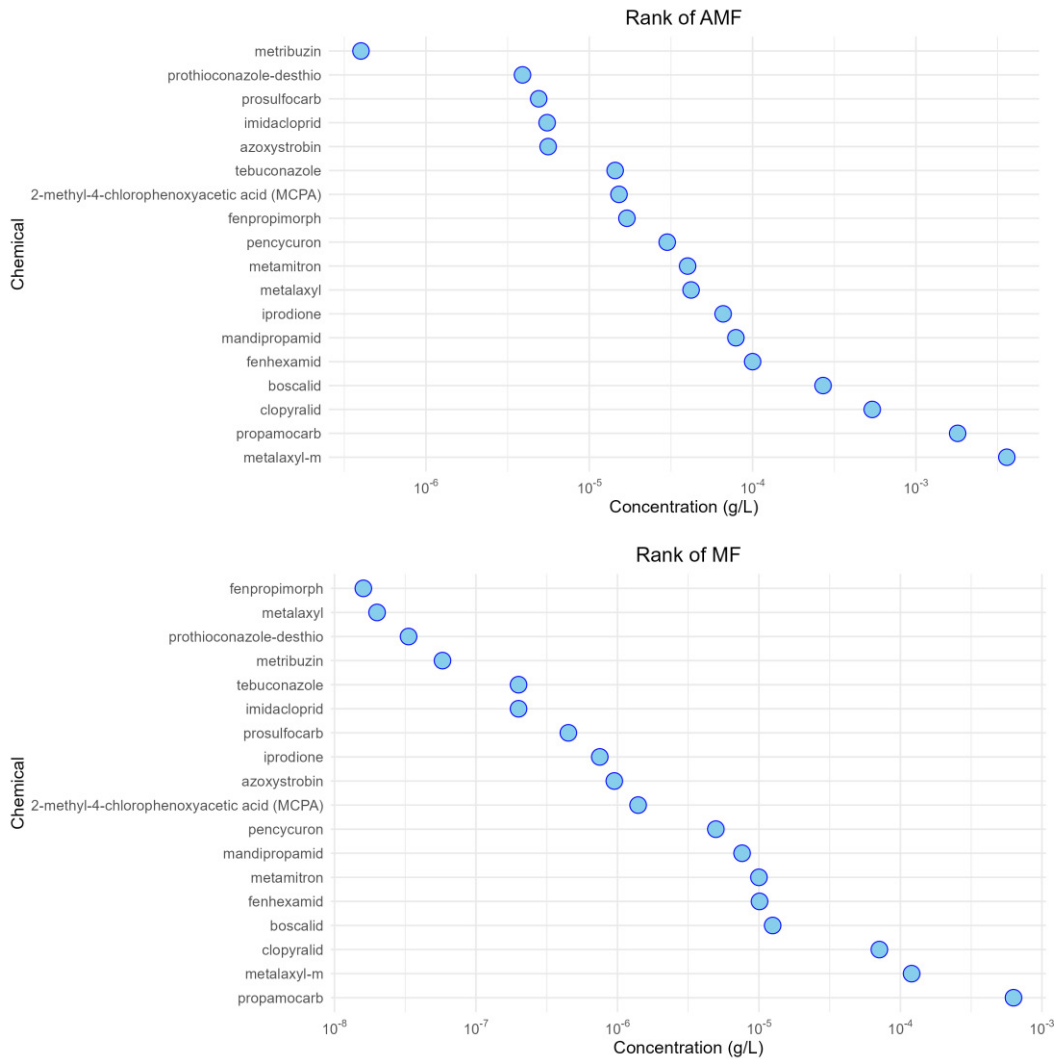
Arbeidet i prosjektet har medført videreutvikling av tekniske løsninger for datahåndtering, konkrete analyser og visualisering av data for eksponering, toksikologiske grenseverdier og akvatiske miljørisiko. Prosjektet har også bidratt til årlig vurdering av risiko for plantevernmidler i det akvatiske miljøet (JOVA-programmets årlige møter), presentert i ulike vitenskapelige fora og bidrag til rapporter (se sluttrapport for detaljer). Et utdrag av tekniske løsninger er illustrert i denne rapporten med data fra Heiabekken (HEIA) fra året 2015. Fremtidig bidrag til JOVA er forventet å gi bedre innsikt i mer detaljerte data og risikovurderinger.

1) **Eksponeringsdata:** Data fra JOVA-programmet i perioden 2011-2018 er importert og organisert i NIVA RAdb for å muliggjøre analyser av geografisk og tidsmessig variasjon av konsentrasjon av plantevernmidler (aktive stoffer og/eller metabolitter). Dette er eksemplifisert ved data fra HEIA i 2015 (figur 1) der data klart viser stor forskjell i konsentrasjoner av enkeltstoffer målt over kvantifiseringsgrensen (LOQ) gjennom sesongen. Totalbelastning varierer også betydelig gjennom sesongen.



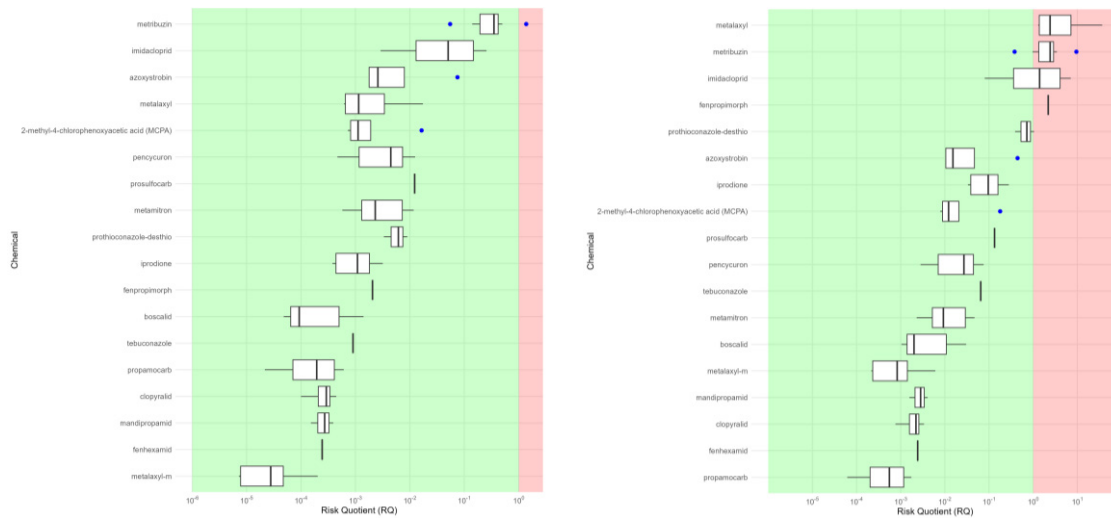
Figur 1. Målte konsentrasjoner av ulike plantevernmidler i Heiabekken (HEIA) i løpet av 2015.

2) **Toksikologiske grenseverdier:** Giftigheten til ulike plantevernmidler (aktive stoffer og/eller metabolitter) er ofte testet i økotoksikologiske tester med organismer som fisk, krepsdyr, alger, amfibier etc. og der grenseverdier (konsentrasjoner) for giftighet kan utledes. Disse verdiene kan enten utledes for enkeltgrupper av organismer (f.eks. NOEC, ECx) eller for de mest følsomme organismer (f.eks. PNEC). NIBIO og samarbeidspartnere har utviklet såkalte Akutte (AMF) og kroniske Miljøfarlighetsverdier (MF) som kan gi et mål på giftighet for kortvarige (akutt) eksponering (AMF) eller mer langsiktig (kronisk) eksponering (MF). Disse verdiene er ofte beregnet av data fra ulike kilder, hensyntatt usikkerhet i datagrunnlaget, og kan variere betydelig. AMF- og MF-verdier for plantevernmidler målt i Heiabekken i perioden 2015 viser store ulikheter i disse verdiene (figur 2).



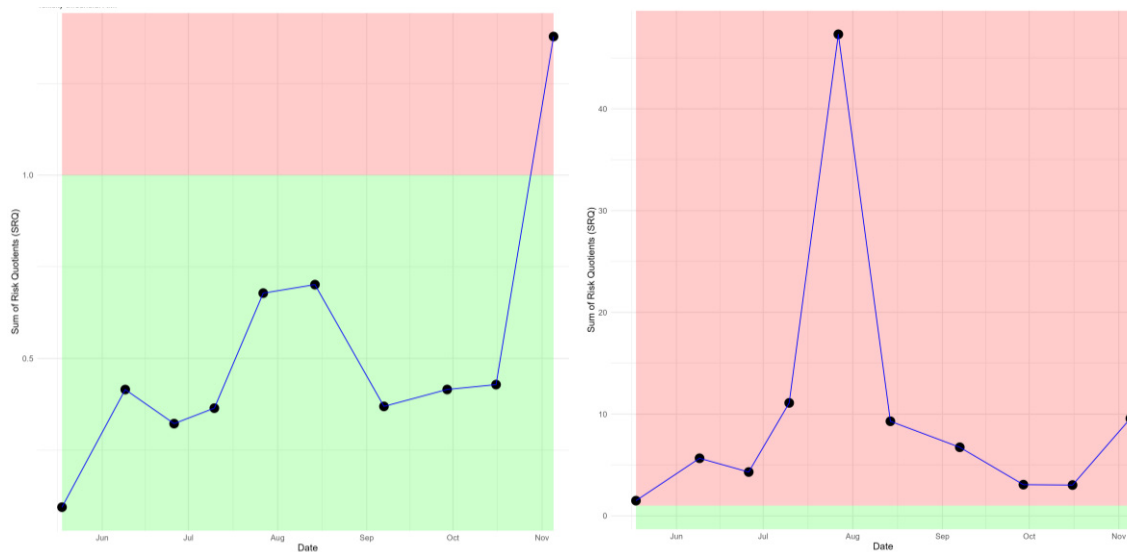
Figur 2. Rangering av akutt (AMF, øvre panel) og kronisk (MF, nedre panel) miljøfarlighetsverdier for plantevernmidler målt i Heiabekken (HEIA) en eller flere ganger i løpet av 2015.

3) **Overskridelse av toksikologiske grenseverdier:** Målte eksponeringskonsentrasjoner av plantevernmidler overskridelse av toksikologiske grenseverdier som AMF, MF og artsgruppe-spesifikke grenseverdier (f.eks. NOEC) kan angis som mål på miljørisiko for enkeltstoffer. Slike overskridelser måles som en risikokvotient (RQ) som kan variere betydelig i størrelse mellom stoffer og over tid. Figur 3 viser hvordan risikokvotienten i Heiabekken varierer gjennom året 2015 og hvordan enkeltstoffer kan identifiseres som risikodrivere i løpet av måleperioden.



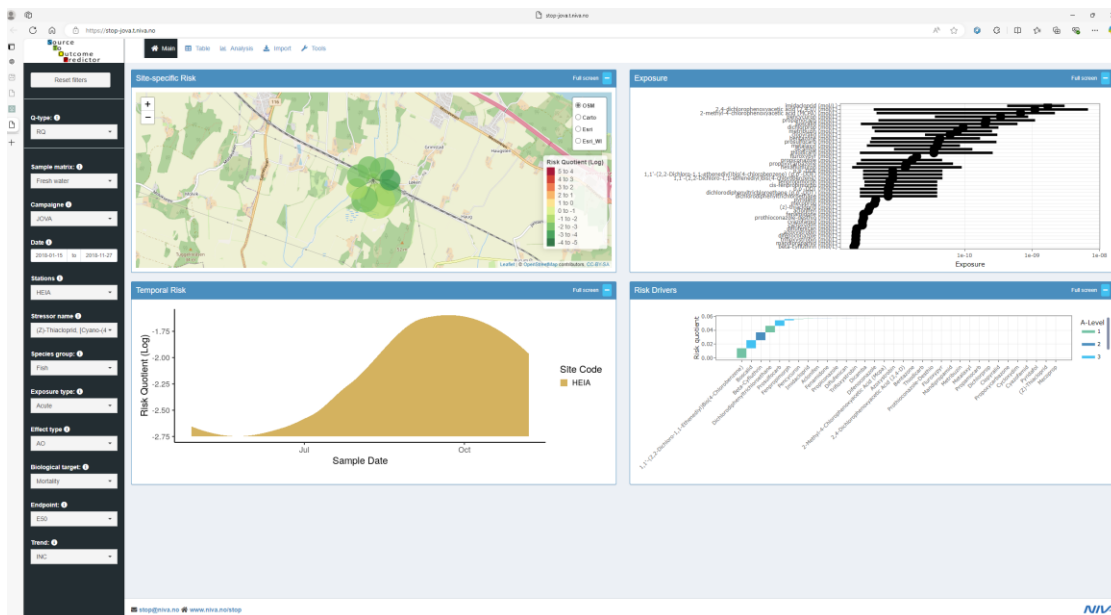
Figur 3. Risikokvotienter (RQ) for akutt (AMF, venstre panel) og kronisk (MF, høyre panel) for plantevernmidler målt i Heiabekken (HEIA) i løpet av 2015. Data viser median (vertikal linje), 25-75% kvartiler (boks), hovedspredning av data (horisontal linje) og ekstremdata (blå punkter). RQ-verdier angitt i grønt (RQ<1) anses som lav risiko, mens RQ-verdier >1 angitt i rødt anses som risiko.

4) **Kumulativ miljørisiko:** Sum av risikokvotienter kan benyttes som mål på samvirkeeffekten av plantevernmidler under antagelse av at stoffene virker på en additiv måte. Bruk av AMF og MF i en slik vurdering vil gi en innledende, men konservativt bilde på den samlede miljøpåvirkningen, og kan komplementeres med mer detaljert vurdering i form av artsgruppe-spesifikk RQ-beregning dersom grenseverdi (RQ=1) er overskredet. Data fra Heiabekken i 2015 viser at forventet overskridelse av miljøfareverdier for AMF og MF er betydelig, og mer detaljert analyser er nødvendig (figur 4).



Figur 4. Sum av risikokvotienter (RQ) for akutt (AMF, venstre panel) og kronisk (MF, høyre panel) for plantevernmidler målt i Heiabekken (HEIA) i løpet av 2015. RQ-verdier i grønt område ($RQ < 1$) anses å ha lav risiko, mens RQ-verdier > 1 angitt i rødt område anses å representere risiko.

5) **Tilrettelegging av data for sluttbruker:** En demoversjon av et nettbasert brukergrensesnitt kalt STOP-JOVA (<https://stop-jova.t.niva.no/>) er utviklet og har til hensikt å visualisere analyser gjennomført på JOVA data. Brukergrensesnittet oppsummerer eksponeringsdata, sum av risikoekvivalenter for ulike JOVA-felt og over tid, og kan identifisere de plantevernmidler som representerer største miljørisiko for vannlevende organismer. Brukergrensesnittet vil når videreutviklet også kunne tilrettelegge for presentasjon av mer komplekse datasett enn det som nå er benyttet i prosjektet.



Figur 5. Skjermdump av brukergrensesnittet STOP-JOVA (<https://stop-jova.t.niva.no/>) med visualisering av eksponeringsdata, risikokvotienter for ulike felt og tidsperioder og identifisering av risikodrivere. Et menybasert seleksjonspanel skal sikre at brukere kan spesifisere data som er av relevans.

Diskusjon og anbefalinger

Prosjektet har utviklet ett sett med datahåndteringsverktøy, analyse og visualiseringer for å beregne og tilrettelegge eksponeringsdata og kumulative risikoberegninger fra JOVA-programmet. Analysene viser at eksponeringsverdier varierer betraktelig mellom lokaliteter (resultater ikke vist) og over tid (fig. 1), og at resulterende risikoprediksjoner (fig. 3) basert på AMF og MF verdier (fig. 2) indikerer at flere plantevernmidler er over grenseverdi for miljørisiko (Risikokvotient >1). Samlet (kumulativ) risikoberegninger (fig. 4) viser at grenseverdier for miljørisiko er overskredet for kronisk eksponering (basert på MF), og i mindre grad når basert på akutt eksponering (AMF). Da JOVA-programmet i stor grad baseres på blandprøvetakere, vil vurderinger basert på kronisk eksponering (MF-verdier) være mest relevant for vurdering av miljørisiko. Ettersom AMF og MF grenseverdier er basert på den mest følsomme art og artsgruppe av akvatiske organismer og derfor er konservativ, vil imidlertid en kumulativ risikovurdering basert på disse verdier potensielt over-prediktere miljørisiko. Arbeid pågår for å inkludere arts- og artsgruppe-relevante data, både i analyser og i det web-baserte grensesnittet (fig. 5) utviklet, slik at risikoprediksjon av enkeltstoffer og blandinger av disse blir mer nøyaktige. Dette vil sammen med en forbedring av brukergrensesnittet, konsultasjon med ulike sluttbrukergrupper nasjonalt og internasjonalt og videreutvikling av nye tilnærminger for miljørisikoanalyse representere et verdifullt bidrag til en helhetlig vurdering av miljøgiftbelastning av plantevernmidler i blandinger. Et slikt arbeide kan med fordel videreføres og knyttes opp mot andre Europeiske forskningsinitiativ som f.eks Horizon Europe prosjektet "PARC- Partnership for the

Assessment of Risks from Chemicals" (<https://www.eu-parc.eu/>) for å sikre nytteverdi i felles satsninger og bedre harmonisering av risikovurdering av plantevernmidler og blandinger av disse.

Konklusjon

Overvåkingsdata fra JOVA-programmet representerer et godt datamateriale for vurdering av miljøpåvirkning gjennom bruk av ulike risikoanalyser basert på blandingsgiftighet. Denne rapporten har presentert noen av de analyser, tilnærminger og verktøy som har blitt utviklet i prosjektet. Gjennomføring av prosjektet har gitt essensiell kunnskap og teknisk videreutvikling av kompetanse som muliggjør utvikling av verktøy som kan brukes til å beregne miljørisiko av enkeltstoffer og komplekse blandinger av plantevernmidler. Denne kompetansen og de analyser og verktøy som er utviklet vil kunne bidra til å gi praktiske anbefalinger for fremtidig miljøovervåking og vurdere effekten av ulike risikoreducerende tiltak.

Referanser

- Altenburger, R., Scholze, M., Busch, W., Escher, B.I., Jakobs, G., Krauss, M., Krüger, J., Neale, P., Ait-Aissa, S., Almeida, A.C., Seiler, T.B., Brion, F., Hilscherova, K., Hollert, H., Novak, J., Schlichting, R., Serra, H., Shao, Y., Tindall, A., Tollefsen, K.E., Umbuzeiro, G., Williams, T., Kortenkamp, A. (2018). Mixture effects in samples of multiple contaminants – An inter-laboratory study with manifold bioassays. *Environment International*. 114: 95-106.
- Altenburger, R., Ait-Aissa, S., Antczak, P., Backhaus, T., Barceló, D., Seiler, T-B; Brion, F., Busch, W., Chipman, K., López de Alda, M., de Aragão Umbuzeiro, G., Escher, B.I., Falciani, F., Faust, M., Focks, A., Hilscherova, K., Hollender, J., Hollert, H., Jäger, F., Jahnke, A., Kortenkamp, A., Krauss, M., Lemkine, G.F., Munthe, J. Neumann, S., Schymanski, E.L., Scrimshaw, M., Segner, H., Slobodnik, J., Smedes, F., Subramaniam, K., Teodorovic, I., Tindall, A.J., Tollefsen, K.E., Walz, K-H. Williams, T.D., Van den Brink, P.J., van Gils, J., Vrana, B, Zhang, X. (2015). Future water quality monitoring - Adapting tools to deal with mixtures of pollutants in water resource management. *Sci. Total Environ*. 512-513: 540-551. ISBN: 1879-1026.
- Bechmann, M., Stenrød, M., Kværnø, S.H., Eggestad, H.O., (2021). Erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruksdominerte nedbørfelt – Sammendragsrapport fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992-2019. NIBIO rapport, 7 (135).
- Belden, J.B., Gilliom, R.J., Lydy, M.J. (2007). How well can we predict the toxicity of pesticide mixtures to aquatic life? *Integr. Environ. Assess. Manag.* 3, 364–372.
- Beyer, J., Petersen, K., Song, Y., Ruus, A., Grung, M. Bakke, T., Tollefsen, K.E. (2014). Environmental risk assessment of combined effects in aquatic ecotoxicology: a discussion paper. *Mar. Environ. Res.* 96: 81-91
- Cedergreen, N. (2014). Quantifying Synergy: A Systematic Review of Mixture Toxicity Studies within Environmental Toxicology. *PLoS One* 9, e96580. doi:10.1371/journal.pone.0096580
- More, S.J., Bampidis, V., Benford, D., Bennekou, S.H., Bragard, C., Halldorsson, T.I., Hernández-Jerez, A.F., Koutsoumanis, K., Naegeli, H., Schlatter, J.R., Silano, V., Nielsen, S.S., Schrenk, D., Turck, D., Younes, M., Benfenati, E., Castle, L., Cedergreen, N., Hardy, A., Laskowski, R., Leblanc, J.C., Kortenkamp, A., Ragas, A., Posthuma, L., Svendsen, C., Solecki, R., Testai, E., Dujardin, B., Kass, G.E., Manini, P., Jeddi, M.Z., Dorne, J.C., Hogstrand, C. (2019). Guidance on harmonised methodologies for human health, animal health and ecological risk assessment of combined exposure to multiple chemicals. *EFSA J.* 17. doi:10.2903/j.efsa.2019.5634
- Miljødirektoratet (2016). Miljødirektoratets prioriterte forskningsbehov 2016 -2021. Innspill til Klima-og miljødepartementet. Miljødirektoratet, rapport M-591.
- Petersen, K., Stenrød, M., and Tollefsen, K.E. (2013). Initial environmental risk assessment of combined effects of plant protection products in six different areas in Norway. *NIVA report* 6588-2013.
- Petersen, K., Stenrød, M., Odenmarck, S.R., Fredriksen, L. Gomes, T., Backhaus, T., Tollefsen, K.E. (2015). Exposure and toxicity of mixtures of plant protection products (PPPs) in the environment under Norwegian conditions. Evaluation of a cumulative environmental risk assessment of PPPs, *Norsk institutt for vannforskning*. ISBN 978-82-577-6565-1. No 6830.
- Stenrød, M. (2015). Long term trends of pesticides in Norwegian agricultural streams and potential future challenges in northern climate. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science* 65:Sup 2: 199-216.
- Tollefsen, K.E., Bæk, K., Almeida, A.K., Haug, L.A., Norli, H.R., Odenmarck, S.R., Stenrød, M. (2016). Evaluation of the combined toxicity assessment and cumulative risk assessment of ecologically relevant mixtures of plant protection products (PPPs) under Norwegian conditions. *NIVA report no.* 7030-2016.