



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

FORSKNING/STUDIE

Tillsatsmedel för skogsbränder

Påverkan på människors
hälsa och miljön



Tillsatsmedel för skogsbränder – Påverkan på människors hälsa och miljö

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Enhet: Brand och räddning RO-BR

Foto omslag: Ramboll Sweden AB

Text: Ramboll Sweden AB: Nina Wennström, Eva Magnusson, Jon Höglund
och Sara Grundén. Granskare: Daniel Nilsson. Underkonsult Krister Palmkvist

Tryck: DanagårdLiTHO

Produktion: Advant

Publikationsnummer: MSB1786 - november 2022

ISBN: 978-91-7927-160-2

Förord

Skogsbränder kan medföra positiva effekter för miljön genom att den biologiska mångfalden gynnas och gör växt- och djursamhällena mer motståndskraftiga mot olika typer av störningar. För att skydda liv och egendom kan det dock vara nödvändigt att begränsa brandens utbredning. Till följd av pågående klimatförändringar förväntas skogsbränder, världen över, att öka och att enbart använda vatten vid en släckinsats är inte alltid tillräckligt effektivt för att begränsa skogsbrandens omfattning. Detta innebär att användning av tillsatsmedel kan vara nödvändigt för att kunna släcka skogsbränder och minska brandens effekter.

De metoder och släckmedel som används ska uppfylla de allmänna hänsynsreglerna i miljöbalken, det vill säga bästa möjliga teknik ska användas och den minst skadliga produkten ska väljas enligt produktvalsprincipen.

Under 2019 genomfördes ett projekt för att undersöka och klarlägga innehåll och rådande kunskap om miljöpåverkan för de brandretardenter (long-term fire retardants, en sorts tillsatsmedel) som används i Sydeuropa, Nordamerika och Australien för bekämpning av skogsbränder. Projektet genomfördes av Örebro universitet där Ramboll upprättade en rapport baserad på vetenskapliga studier avseende miljöpåverkan från dessa brandretardenter. Det visade sig att de utvärderade tillsatsmedlen som används i Sydeuropa innehåller cyanid, som ger betydligt högre toxicitet än liknande produkter utan cyanid innehåll.

Syftet med denna studie var att utvärdera tillsatsmedel tillgängliga på den svenska marknaden för användningsområdet skogsbrandsbekämpning och som kan användas istället för de brandretardenter som utvärderades 2019. Tillsatsmedlen utvärderades med avseende på påverkan på människors hälsa och miljön.

Karlstad, 2022-11-09

Cecilia Looström
Avdelningschef, Avdelningen för räddningstjänst och olycksförebyggande (RO)

Sammanfattning

Under 2020 inledde Ramboll och MSB ett gemensamt projekt i syfte att utvärdera de tillsatsmedel som fanns tillgängliga på den svenska marknaden under 2020 för användningsområdet skogsbrandsbekämpning och som kan användas istället för de brandretardenter som utvärderades 2019. Tillsatsmedlen utvärderades av Ramboll med avseende på påverkan på människors hälsa och miljön vilket denna rapport utvärderar. Frågor kopplade till produkternas släckeffektivitet och hur man kan använda dessa typer av tillsatsmedel för att effektivisera släckningen och begränsa skogsbrändernas omfattning hanterades inledningsvis av MSB inom ramen för denna studie. Men dessa frågor beskrivs nu istället i huvudsak i MSB:s uppdaterade vägledning för skogsbrandsläckning.

För att välja ut tillsatsmedel för skogbrandsbekämpning för studien gjordes ett metodiskt urval med följande kravspecifikation:

- Produkten ska vara ett tillsatsmedel men utesluter i denna studie skumvätska.
- Produkterna ska vara avsedda för att släcka skogsbränder, dvs. marknadsföras för detta ändamål.
- Produkterna ska finnas tillgängliga på den svenska marknaden under 2020.

Två produkter uppfyllde kraven och har ingått i utvärderingen: X-fog och FSI-Defend. En rad aspekter har beaktats för att bedöma påverkan på människors hälsa och miljön; bland annat egenskaper hos ingående kända ämnen, nedbrytbarhet, förmåga att bioackumulera, ekotoxicitet och humantoxicitet. Inom ramen för studien har mer uppgifter än de som framgår av produkternas säkerhetsdatablad erhållits. Men eftersom det fullständiga innehållet i respektive produkt inte har lämnats ut går det inte att fullt ut bedöma miljöpåverkan som användningen av dessa produkter kan orsaka.

Med tillsatsmedel avses ett ämne eller en kemisk produkt som tillsätts i brandvattnet för att förbättra en eller flera av följande effekter; släckeffektiviteten, återantändningsskyddet eller kyleffekten. Det finns en rad olika tillsatsmedel och ingående ämnen kan skilja sig mycket åt. Det innebär också att alla typer av tillsatsmedel inte ger samma miljöeffekter. De utvärderade tillsatsmedlen är ammoniumfosfatbaserade.

De utvärderade tillsatsmedlen X-Fog och FSI-Defend bedöms inte kunna medföra några allvarliga hälsorisker för människor som kommer i kontakt med produkterna. Eventuella effekter bedöms vara begränsade till hud- och ögonirritation och sådana effekter bedöms endast uppstå vid direktkontakt med koncentrerad produkt.

En brand i sig innebär en enorm akut effekt på ekosystem med exempelvis habitatförlust, uttorkning av vattendrag, övergödning, frisättning av metaller och försurning. De granskade produkterna vittnar inte om innehåll av svårnedbrytbara eller bioackumulerande ämnen och uppvisar tämligen låg ekotoxicitet samt humantoxicitet. Med anledning av detta finns det skäl till att tolerera en viss negativ lokal effekt vid användning av såväl X-fog som FSI-Defend på den plats där de används eftersom tillsatsmedlen totalt sett för ett större område kan förhindra att branden sprider sig vidare, förhindra återantändning, minska vattenåtgången i släckningsarbetet och minska miljöeffekterna av branden. Användningen kan därmed totalt sett resultera i mindre miljöeffekter än om enbart vatten används för släckningen eller om branden inte släcks alls i ett visst område. För att minimera de lokala effekterna i miljön som skulle kunna uppkomma är det av vikt att vidta de skyddsåtgärder och följa de rekommendationer som beskrivs i denna rapport vid användande av tillsatsmedel.

Innehåll

1. Bakgrund	8
2. Rapportens syfte	9
3. Definitioner och förkortningar	10
4. De allmänna hänsynsreglerna och produktvalsprincipen	11
5. Metodik för val av produkter till studien	12
6. Tillsatsmedel och funktion	13
6.1 Vad är ett tillsatsmedel	13
6.2 Brandretardenter, en sorts tillsatsmedel	13
6.3 Användning av ammoniumfosfat-baserade tillsatsmedel	14
7. Allmänna miljöeffekter av skogsbrand	15
7.1 Miljöeffekter av branden i sig	15
7.2 Allmänt om miljöeffekter vid släckning	16
8. De granskade tillsatsmedlens funktion och innehåll	18
8.1 Tillhandahållna uppgifter	18
8.2 Svårighet att bedöma hälso- och miljöpåverkan enbart baserat på säkerhetsdatablad	18
8.3 Utvalda produkter	20
8.3.1 Översikt över bedömda produkters innehåll	20
8.3.2 X-fog	21
8.3.3 FSI-Defend	22
9. Konceptuell spridning och exponeringsvägar	25
9.1 Grundförutsättningar	25
9.2 Primära spridningsvägar	25
9.3 Primära exponeringsvägar	28
9.4 Sekundära spridningsvägar	28
10. Granskade produkters bedömda påverkan på miljö och hälsa	29
10.1 Exponering	29
10.2 Förändringar med avseende på pH	30
10.3 Nedbrytning och bioackumulation	30
10.3.1 X-Fog	30
10.3.2 FSI-Defend	30
10.4 Ekotoxicitet	31
10.4.1 pH-påverkan på ekotoxicitet	33
10.5 Övergödning	33
10.6 Utsläpp till luft	34
10.7 Påverkan på människors hälsa	34
10.7.1 X-fog	35
10.7.2 FSI-Defend	35
10.7.3 Övrig information om brandretardenter från litteratur	36

11. Appliceringens betydelse för tillsatsmedlens miljöeffekter	37
11.1 Applicering av tillsatsmedel	37
11.2 Rekommendationer avseende användning från luften	39
12. Samlad bedömning och rekommendationer	40
12.1 Tillsatsmedlens påverkan på miljön	40
12.1.1 Allmänna reflektioner angående inköp av tillsatsmedel	40
12.1.2 De granskade tillsatsmedlens påverkan på hälsa	41
12.1.3 De granskade tillsatsmedlens påverkan på miljön	41
12.1.4 Planera för användning - skyddsåtgärder	42
12.1.5 Vid insats	43
12.1.6 Efter insats	44
12.2 Slutsatser	44
13. Referenser	45

1. Bakgrund

Till följd av pågående klimatförändringar förväntas skogsbränder världen över att öka. Att enbart använda vatten som släckmedel vid en släckningsinsats är inte alltid tillräckligt effektivt för att begränsa skogsbränders omfattning.

Under 2019, med revidering 2021, genomfördes ett projekt för att undersöka och klarlägga innehåll och rådande kunskap om miljöpåverkan för de brandretardenter (long-term fire retardants, en sorts tillsatsmedel) som används i Sydeuropa, Nordamerika och Australien för bekämpning av skogsbränder. Anledningen till att projektet genomfördes var att MSB ville ha kunskap om brandretardenternas förväntade miljöpåverkan om framställan skulle ske från de hjälpstödande länderna om att få använda brandretardenterna i samband med en skogsbrand i Sverige. Projektet genomfördes av Örebro universitet där Ramboll upprättade en rapport baserad på vetenskapliga studier avseende miljöpåverkan från dessa brandretardenter. Örebro universitets övergripande rapport kallas ”Miljöeffekter av long-term fire retardants – brandretardenter” (Örebro universitet, 2021). Bilaga 1 till rapporten var Rambolls rapport kallad ”Kunskapssammanställning. Miljöpåverkan från long-term fire retardants – brandretardenter” (Ramboll Sweden AB, 2020).

Inom ramen för projektet genomförde Örebro Universitet analyser av de brandretardenter (tillsatsmedel) som används i Sydeuropa. Resultatet visar att Fire-Trol 936 och 934, som sprids från marken, innehöll cyanid. Även Fire-Trol 931 som sprids från luften innehöll cyanid, dock i betydligt lägre koncentration (Örebro universitet, 2021).

Cyanid innehållande ämnen (normalt natriumferrocyanid när det gäller brandretardenter) har visats sig vara problematiska då de är toxiska för exempelvis fiskar och grodor. Toxiciteten ökar dessutom vid exponering för UV-ljus (sol-ljus) eftersom fri cyanid frigörs via fotolys. Toxiciteten är betydligt högre än för liknande produkter utan cyanid innehåll (Little et al, 2002).

På grund av att de utvärderade tillsatsmedlen som används i Sydeuropa innehåller cyanid var MSB angelägen att få kunskap om det finns bättre alternativ, tillgängliga på den svenska marknaden, som kan användas vid bekämpning av skogsbränder i Sverige.

2. Rapportens syfte

Under 2020 inledde Ramboll och MSB ett gemensamt projekt i syfte att utvärdera de tillsatsmedel som fanns tillgängliga på den svenska marknaden under 2020 för användningsområdet skogsbrandsbekämpning och som kan användas istället för de brandretardenter som utvärderades 2019. Tillsatsmedlen utvärderades av Ramboll med avseende på påverkan på människors hälsa och miljön. Frågor kopplade till produkternas släckeffektivitet och hur man kan använda dessa typer av tillsatsmedel för att effektivisera släckningen och begränsa skogsbrändernas omfattning hanterades inledningsvis av MSB inom ramen för denna studie. Men dessa frågor beskrivs nu istället i huvudsak i MSB:s uppdaterade Vägledning i skogsbrandsläckning (ISBN 978-91-7927-038-4).

3. Definitioner och förkortningar

Rapporten använder följande definitioner och förkortningar.

Tabell 1. Definitioner som inte används i vardaglig skrift samt förkortningar, som finns med i rapporten

Begrepp	Förklaring
Ammoniumfosfatbaserade tillsatsmedel	Tillsatsmedel som innehåller ammoniumfosfater eller ammoniumpolyfosfat.
Brandretardent	På engelska kallad long-term fire retardants. En typ av tillsatsmedel vars funktion går ut på att förhindra förbränningsreaktioner, minska brandintensiteten och göra brandens framfart långsammare. Brandretardenten fungerar även efter att vattnet har förångats.
LSO	Lag (2003:778) om skydd mot olyckor.
Släckmedel	Ämnen eller kemiska produkter som används för att släcka en brand. Det kan exempelvis vara vatten, gasformiga ämnen, pulver samt produkter som tillsätts i vattnet såsom skumvätska och tillsatsmedel.
Kontaminerat släckvatten	Det förorenade vatten som uppkommer vid en släckningsinsats.
Tillsatsmedel	Kemisk produkt eller ämne som används för att förbättra någon eller några av följande effekter; släckeffektiviteten, återantändningsskyddet eller kyleffekten.

4. De allmänna hänsynsreglerna och produktvalsprincipen

Miljöbalken samt lagen om skydd mot olyckor (LSO) gäller parallellt. Det innebär att man vid en släckningsinsats ska ta hänsyn till miljöbalken. I 2 kapitlet miljöbalken finns flera grundläggande miljörättsliga principer som ska följas. Flera av principerna bygger på internationellt etablerade principer och har gjorts rättsligt bindande i Sverige genom miljöbalken, exempelvis försiktighetsprincipen och produktvalsprincipen.

Försiktighetsprincipen innebär att den som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd ska vidta de försiktighetsåtgärder som krävs för att förebygga, hindra eller motverka att verksamheten eller åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. I samma syfte ska bästa möjliga teknik användas i yrkesmässig verksamhet.

Produktvalsprincipen innebär att man ska undvika att sälja eller använda kemiska produkter eller varor som kan vara skadliga för människor eller miljön om de kemiska produkterna eller varorna kan ersättas med sådana som är mindre farliga.

För räddningstjänsten innebär det att vid släckning eller begränsning av en brand bör man använda den minst skadliga metoden och det minst skadliga släckmedlet. Räddningstjänsten bör också ha skaffat sig den kunskap som krävs för de åtgärder som vidtas och vidta de skyddsåtgärder som krävs för att minimera effekterna på människors hälsa och miljön. I vissa situationer kan det också innebära att det är bäst ur miljösynpunkt att inte släcka alls. Vid bedömning enligt produktvalsprincipen bör räddningstjänsten bedöma miljöeffekterna vid användning av ett släckmedel i jämförelse med att bara använda vatten.

I MSB:s rätts-PM ”Lagen om skydd mot olyckor och miljöbalken” (MSB, 2020) beskrivs förhållandet mellan LSO och miljöbalken samt vilket ansvar enligt miljöbalken som räddningstjänsten har som verksamhetsutövare.

5. Metodik för val av produkter till studien

För att välja ut tillsatsmedel för skogsbrandsbekämpning för studien gjordes ett metodiskt urval med följande kravspecifikation:

- Produkterna ska vara tillsatsmedel, men utesluter i denna studie skumvätska.
- Produkterna ska vara avsedda för att släcka skogsbränder, dvs. marknadsföras för detta ändamål.
- Produkterna ska finnas tillgängliga på den svenska marknaden under 2020.

Vid projektstart kände Ramboll och MSB till tre leverantörer i Sverige för tillsatsmedel; Dafo Brand AB, X-Fire AB och Flame Security International Europe AB.

För att inte missa andra aktörer på den svenska marknaden gjordes en inledande internetsökning. Utöver det kontaktade MSB några utvalda räddningstjänster samt Research Institutes of Sweden (RISE) och frågade efter vilka tillsatsmedel de kände till. Samma fråga ställdes från Ramboll till nyckelpersoner på Swedavia, Försvarsmakten och Fortifikationsverket. Dessa tre verksamhetsutövare hade inga tips på tillsatsmedel som skulle kunna ingå i studien. Av de tips som framkom från RISE, kontaktpersoner på MSB och en rapport om tillsatsmedel gjordes en kontroll om produkterna uppfyllde kriterierna ovan. Efter detta skede fanns totalt sju produkter från fem leverantörer som var intressanta för vidare granskning. Samtliga fem leverantörer kontaktades för intervjuer. Dafo meddelade att de inte marknadsför något tillsatsmedel för bekämpning av skogsbränder, varför bolagets tillsatsmedel föll bort från studien. Tre produkter (från två olika leverantörer) var utvecklingsprodukter och inte tillgängliga på den svenska marknaden.

Kvarvarande produkter för utredningen blev X-fog från X-Fire AB och FSI-Attack samt FSI-Defend från Flame Security International. När utredningen påbörjades, våren 2020, och sedermera under hösten 2020 uppgav Flame Security International att deras produkter skulle finnas tillgängliga på den svenska marknaden under 2020. FSI-Attack bedömdes dock inte vara en färdig produkt då en ingående ingrediens inte var färdigutredd. FSI Attack ströks därför från utredningen. När projektet för föreliggande rapport fortskred stod det mycket sent in i projektet klart att inte heller FSI-Defend skulle finnas tillgänglig på den svenska marknaden under 2020 utan snarare under 2021. Eftersom omfattande utredningsarbete har gjorts inom ramen för projektet för denna produkt har dock produkten ändå fått vara kvar i rapporten.

De tillsatsmedel som har utvärderats är alltså sammanfattningsvis X-fog från X-Fire AB och FSI-Defend från Flame Security International.

6. Tillsatsmedel och funktion

6.1 Vad är ett tillsatsmedel

Med tillsatsmedel avses ett ämne eller en kemisk produkt som tillsätts i vattnet för att förbättra en eller flera av följande effekter; släckeffektiviteten, återantändningsskyddet eller kyleffekten.

Det finns en rad olika tillsatsmedel och ingående ämnen kan skilja sig åt. Det innebär också att alla typer av tillsatsmedel inte ger samma miljöeffekter. Det är vanligast att tillsatsmedlen innehåller olika typer av salter och andra funktionskemikalier. Vissa tillsatsmedel innehåller också låga halter tensider. Det förekommer också tillsatsmedel med polymerer som ska göra vattnet mer trögflytande och därmed träffa branden bättre vid påföring från flygplan eller helikopter.

6.2 Brandretardenter, en sorts tillsatsmedel

I den här studien innehåller båda de utvärderade tillsatsmedlen ämnen som är verksamma beståndsdelar i så kallade long-term fire retardants, hädanefter kallade brandretardenter. Brandretardenter är kemiska produkter som ska förhindra förbränningsreaktioner, minska brandintensiteten och göra brandens framfart långsammare. De fungerar även efter att vattnet har förångats (USFS, 2017). De är främst tänkta att appliceras på ett område beläget utanför den aktiva branden för att förhindra att branden sprider sig över området, dvs. för att förhindra brandens utbredning. Det finns brandretardenter som ska användas från marken och från luften (med flyg eller helikopter).

Brandretardenterna är gjorda för att bindas till vegetation och vara effektiva i veckor, tills dess att de tvättas bort av nederbörd och sprids vidare till jord och vattendrag.

Den aktiva ingrediensen i brandretardenterna är i de flesta fall ammoniumsalter, såsom ammoniumfosfat, ammoniumpolyfosfat och ammoniumsulfat. En vanligt förekommande aktiv ingrediens är diammoniumfosfat, som även används som gödningsmedel i jordbruk. Dessa salter förändrar förbränningen genom att främja bildandet av vatten, koldioxid och aska och minska andelen lättantändliga gaser (Liodakis, Katsigiannis, & Lympelopoulou, 2007). Den kemiska reaktion som uppstår minskar både upphovet till branden samt brandens intensitet (Bell, 2003).

Några fördelar när brandretardenter används från luften för att bekämpa skogsbränder är att de kan appliceras snabbt över stora områden, små och avlägsna bränder som kan vara svåra att lokalisera från marken kan släckas, man får ökad säkerhet för brandpersonal eftersom bränder bekämpas från luften, och de går att använda i ojämn och stenig terräng där begränsningslinjer annars är farliga att upprätta (Gould, 2000).

Brandretardenterna/tillsatsmedlen släcker bränder på ett helt annat sätt än vad enbart vatten eller skumvätskor gör. Brandretardenter som applicerats i terrängavsnitt framför branden kan ha en bromsande effekt på brandspridningen mer än 18 timmar efter applicering (Gould, 2000). Detta skiljer sig mot att använda enbart vatten eller brandskum där man har betydligt kortare tidsspann då dessa är effektiva eftersom släckeeffektiviteten försvinner när väl vattnet har avdunstat.

Några egenskaper som skiljer tillsatsmedlen från brandskummen åt är att de främst (eller helt) innehåller oorganiska ämnen medan A-skummen innehåller tensider som är organiska ämnen. Tensiderna kan ha olika nedbrytbarhet i miljön. De utvärderade tillsatsmedlen innehåller inte tensider och förväntas inte heller i samma utsträckning som brandskum kunna tvätta ned föroreningar i släckvattnet. Eftersom studerade tillsatsmedlen inte innehåller tensider så kommer dessa inte heller kunna bidra till ökad spridning av föroreningar i mark och i vattenmiljön, vilket kan vara ett problem med brandskum.

6.3 Användning av ammoniumfosfatbaserade tillsatsmedel

Som har beskrivits i kapitel 6.2 är de båda utvärderade tillsatsmedlen i denna rapport ammoniumfosfatbaserade (innehåller ammoniumfosfater eller ammoniumpolyfosfater) och har således sådana egenskaper som beskrivs i kapitel 6.2 och fungerar som brandretardenter. De kan dels användas för att öka effekten vid direkt släckning med tillsatsmedel, dels användas för att skapa begränsningslinjer som branden inte får sprida sig förbi och dels kan de minska risken för att glödbränder flamar upp på nytt.

7. Allmänna miljöeffekter av skogsbrand

7.1 Miljöeffekter av branden i sig

Användning av kemiska tillsatsmedel för skogsbrandsbekämpning kan ha negativ påverkan på miljö och människa som exponeras för tillsatsmedlen. Sådana eventuella effekter behöver dock ställas i relation till effekterna av själva branden, då effekterna av branden kan begränsas genom effektiv brandbekämpning.

Storskaliga skogsbränder bidrar till en betydande andel av den globala luftföroreningen som ger negativ miljöpåverkan. Detta beror på att rökplymen kan färdas långa sträckor. Brandrök innehåller en komplex blandning av fasta ämnen, vätskor och gaser. Röken innehåller bland annat vattenånga, koloxider, kväveoxider, flyktiga organiska kolväten (VOC:er), semivolatila kolväten (SVOC:er) såsom polycykliska aromatiska kolväten (PAH:er), och partikulärt material. Det partikulära materialet består normalt av absorberade eller kondenserade organiska och oorganiska ämnen (Izamtakis, Karma, Pappa, & Statheropoulos, 2006). Vid skogsbränder frisätts också dioxiner och furaner.

Vid en brand uppstår mycket akuta effekter som höga temperaturer och uttorkning av vattendrag. För vattendragens organismer kan en brands effekt beskrivas som en häftig och pulsartad störning av livsmiljön orsakad av nedfall av aska och ökad sediment- och näringstransport. Direkt efter branden uppstår ofta surstötter eftersom förbränning leder till frisättning av svavelsyra via oxidation av organiskt bundet svavel. Askan som bildas är dock basisk, och förhållande mellan aska och svavelsyra är viktigt för vilket pH som uppkommer i sjöar och vattendrag. Metaller som innan brand varit bundna till mark och vegetation kan frisättas, speciellt i de fall som brackvatten används som släckmedel. Både fosfor och kväve (ammoniak) frigörs från mark och växter under branden. Eftersom en brand frigör fosfor och kväve från mark och växter så ökar näringsbelastningen i vattendrag vilket kan leda till syrebrist. Bottenfauna, i vattenmiljöer, som har påverkats av direkta effekter från bränder kan visa sig återhämta sig snabbt. Den största påverkan av bränder på vattenlevande organismer i sjöar kan istället vara av mer indirekt karaktär och komma senare i tid, dvs. påverkan från mer bestående morfologiska förändringar som erosion eller en ökad sedimenttransport och deposition, med en betydligt längre återhämtningstid (Köhler et al., 2018).

Brandskadade träd kan i vissa fall tjäna som yngelmaterial för skadeinsekter (Skogsstyrelsen, 2021).

Skogsbränder medför inte enbart negativa effekter på miljön. De kan också bidra positivt till den biologiska mångfalden. Störningar från brand, insektsangrepp och vind har format de boreala skogarnas biologiska mångfald genom årtusenden. Bränderna har skapat ett växt- och djursamhälle med stor variation

i landskapet och med arter som är extra tåliga mot fragmentering och förändringar i habitat (Bremer E., 2018). Skogsbränder skapar områden med tidiga successionsstadier med stora mängder lövträd, döda träd och nybildad död ved. Dessa livsmiljöer saknas till stor del i dagens skogslandskap (Fredriksson E., 2021). Fram tills för 150 år sedan brann i genomsnitt 1 % av den svenska skogsarealen årligen. Idag brinner endast ca 0,016 % av skogen. Upp till 1000 arter riskerar att försvinna från den svenska skogen just på grund av bristen på döda träd och ved (Naturvårdsverket, 2019). Det finns omkring 2000 arter i Sverige som på något sätt gynnas av brand. De kan gynnas av en eller flera förändringar som sker i skogen under och efter brand till exempel minskad konkurrens eller ökad tillgång på näring, blottad mineraljord eller död ved. Av de brandgynnade arterna är cirka 100 direkt beroende av brand, så kallade pyrofiler. De mest artrika pyrofila grupperna är svampar och insekter (Bremer E., 2018).

7.2 Allmänt om miljöeffekter vid släckning

Vilka och hur stora effekter som uppstår i miljön av branden i sig respektive vid släckning med enbart vatten är väldigt komplex och beror på en rad olika faktorer såsom brandtemperatur och brandtemperaturvariationer, brandens varaktighet, vilken typ av skog som brinner, jordmån och spridningsförutsättningar i mark, markens och vattendrags buffertförmåga för pH-störningar, näringssammansättning, artinnehåll och artdiversitet. Effekten av branden på vattenkemin i sjöar och vattendrag beror framförallt på sjöns och avrinningsområdets storlek. Små vattendrag med låga flöden är mer känsliga än sådana med större flöden. Årstid samt luft- och vattentemperatur avgör också vilka effekter som uppkommer då de t.ex. påverkar strömningsförhållanden, nederbördsfrekvens och förekomst av växtlighet som kan ta upp näringsämnen som frisätts.

Utan släckning kan det antas att fler föroreningar avgår med luftemissioner än om släckning sker med vatten. Det kan i vissa sammanhang vara en miljöfördel eftersom det kan vara att föredra att få en utspädning av föroreningar och nedfall på ett stort område i miljön snarare än mer koncentrerad påverkan på en plats. Vattenmiljöer är känsliga och vid släckning med vatten kan mer föroreningar hamna i marken och spridas vidare till sjöar och vattendrag. En ineffektiv släckning med vatten kan också resultera i mer utsläpp av ammoniumkväve till sjöar och vattendrag. I Köhler et al. (2018), kunde ett samband ses mellan halterna av ammonium och brandhårdheten i vattendragens avrinningsområden. Halterna av ammonium var lägre i de vattendrag där andelen hårt bränd skogsmark i avrinningsområdet var hög. Anledningen till detta kan vara att en större andel av kvävet avgår till luften när det brinner kraftigt. Däremot ökade halterna ammonium i vattendragen där andelen bränd våtmark var hög. I den brända torvmarken brann det mestadels på ytan och mycket av kvävet som frigjordes vid branden kan ha stannat kvar i torven och sedan läckt ut till vattendragen under episoder av högre flöde.

Släckmedlets effektivitet i att sänka temperaturen är avgörande för att minska bildningen av farliga biprodukter. En annan viktig parameter är hur släckmedlet påförs och fördelas i brandområdet. Generellt gäller att en intensiv och långvarig vattenbegjutning resulterar i lägre temperatur under längre tid och därmed

en mer ofullständig förbränning (Lönnermark et al., 2007). Detta resulterar i att fler komplexa ämnen bildas såsom dioxiner och Polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Generellt sker dioxinbildning genom två olika typer av reaktioner, antingen genom en heterogen reaktion som sker med gasfas och fast form och i temperaturer mellan 200-400 °C eller genom en homogen reaktion som sker i gasfas i temperaturer mellan 500-800 °C (Mengmei, Bueckens, & Li, 2016).

8. De granskade tillsatsmedlens funktion och innehåll

8.1 Tillhandahållna uppgifter

För de produkter som valts ut för bedömning i aktuell rapport har Ramboll efterfrågat säkerhetsdatablad, produktbeskrivningar, användningsbeskrivningar, fullständigt produktinnehåll, dokumentation rörande släckeeffektivitet, dokumentation rörande nedbrytningsprodukter som kan bildas vid användande, om skadliga ämnen kan skapas vid framställning av produkten, samt resultat av ekotoxikologiska tester om sådana utförts.

För båda produkterna har säkerhetsdatablad, produktbeskrivningar och användningsbeskrivningar erhållits från leverantörerna. För X-Fog har resultat från ekotoxikologiska tester och kemikalieanalyser erhållits från Örebro Universitet som tidigare undersökt produkten, se (Kärrman, et al., 2016).

För FSI-Defend har det saknats underlag som stöd för bedömningen av produktens ekotoxicitet eftersom tester inte har gjorts på de halter som förekommer i brukslösning av produkten utan enbart i den halt som krävs för klassificering av produkten enligt den europeiska kemikalielagstiftningen.

Ingen av leverantörerna till de tillsatsmedel som undersökts har varit villiga att tillhandahålla det fullständiga receptet för respektive produkt, inte ens med påskrivna sekretessavtal. Detta gäller även för de som kontaktats tidigt i utredningen, men vars produkter inte bedömdes uppfylla de kriterier som listas i kapitel 5. Däremot har delar av innehållen redovisats i produkternas säkerhetsdatablad och ytterligare information om produkternas innehåll har lämnats till Ramboll efter förfrågan.

8.2 Svårighet att bedöma hälso- och miljöpåverkan enbart baserat på säkerhetsdatablad

Säkerhetsdatablad redovisar inte en kemisk produkts fullständiga innehåll. Det redovisar normalt bara det som krävs enligt lagstiftningen eftersom den fullständiga sammansättningen av ämnen betraktas som en affärshemlighet av producenterna/leverantörerna. Ett säkerhetsdatablad ska finnas för:

- kemiska ämnen och blandningar som är klassificerade som farliga
- blandningar som innehåller minst 1 % hälso- eller miljöfarliga ämnen, om produkten är en gas gäller gränsen 0,2 %

- blandningar som innehåller ett ämne som har ett yrkeshygieniskt gränsvärde på EU-nivå
- långlivade, bioackumulerande och toxiska ämnen
- blandningar som i en halt över 0,1 % innehåller särskilt farliga ämnen, bland annat cancerogena, reproduktionstoxiska, mutagena och allergiframkallande ämnen.

I EU är det, för de flesta kemiska ämnen, tillverkare, importör eller nedströmsanvändare av kemiska ämnen som skall göra klassificeringen för de kemiska ämnen de placerar på marknaden. För att kunna göra en sådan klassificering, krävs kunskap om ämnet. Den kunskapen fås genom att utföra tester på fysikaliskt kemiska egenskaper såväl som undersökningar om humantoxicitet och ekotoxicitet. Därför ställer europeisk kemikalielagstiftning krav på att kemiska ämnen som tillverkas, formuleras och används inom EU skall testas för sina egenskaper. Det är omfattande tester, och kostnader för testerna uppgår till tiotals miljoner kr för ämnen som tillverkas/importeras/används i stora volymer (REACH, 2006).

Historiskt har det ofta visats att ämnen som betraktas som fullt ofarliga har miljö- eller hälsofarliga egenskaper i takt med att fler tester utförs på respektive ämne. Kunskapen om kemiska ämnens egenskaper höjs därför när lagstiftningarna om tester stärks. I EU finns det ämnesgrupper som inte omfattas av krav på testning. Detta gäller t.ex. ämnen som finns naturligt i miljön (naturgas, råolja mm), polymeriska kemiska ämnen (ämnen som innehåller flera repetitiva enheter) samt ett antal andra typer av ämnesgrupper. Eftersom det är kostsamt att utföra tester, kommer en tillverkare, leverantör eller importör sällan generera data för att kunna klassificera sin kemiska substans om de faller under undantagen som nämnts. Då man inte vet om (undersökt) egenskaperna, tenderar dessa substanser att betraktas som oklassade, medan verkligheten istället är att effekterna på miljö och hälsa är okända. Dessa ämnen redovisas inte på säkerhetsdatabladet.

I sammanhanget för denna utredning är det också värt att poängtera att ett kemiskt ämne klassificeras som miljöfarligt baserat på ekotoxikologiska effekter. Ämnen som ingår i tillsatsmedel för skogsbrandbekämpning är ofta övergödande och kan därmed ha en negativ inverkan på miljön. En övergödande effekt kommer inte ge respons i de tester som utförs, varav en sådan substans inte kommer märkas som miljöfarlig, trots att övergödning till omkringliggande miljö kan utgöra ett miljöproblem.

Det finns ingen anledning att misstro de leverantörer som är med i studien och som har goda ambitioner om att bidra till gröna produkter inom brandbekämpningen. Men då innehållen inte redovisats fullt ut, går det inte att avgöra om anledningen till att ämnena inte listas på säkerhetsdatabladet är beroende på att de är testade och bevisade ofarliga eller om det inte är testade och antagna ofarliga. Tillverkarna av produkterna kan i sin tur inte ha fått reda på denna information av leverantörerna av de ingående ämnena.

8.3 Utvalda produkter

8.3.1 Översikt över bedömda produkters innehåll

I Tabell 2 är granskade produkters innehåll sammanställt utifrån säkerhetsdatablad och uppgifter från leverantörerna.

Tabell 2. Kemisk information om tillsatsmedlen.

Namn på produkt	Innehåll	Viktprocent
X-Fog	Ammoniumklorid	1-3 %
X-Fog	Ammoniumpolyfosfat	30-60 %
X-Fog	Funktionskemikalier (företagshemlighet)	Okänt
FSI-Defend	Ammoniumpolyfosfat	50-70 %
FSI-Defend	Funktionskemikalier (företagshemlighet)	<2 %
FSI-Defend	Järnoxid	1 %
FSI-Defend	Övriga ingredienser (företagshemlighet) inklusive vatten	Resterande

Tabell 3. Övrig information om tillsatsmedlen gällande sammansättning, ekologisk information samt toxicitetdata.

Namn på produkt	Den sammansatta produktens klassificering	Ekologisk information enligt säkerhetsdatablad	Toxicitetsdata enligt säkerhetsdatablad
X-Fog	Ej märkningspliktig	Produkten är inte klassificerad som miljöfarlig (baserad på toxicitetstester och innehåll). Produkten eller ingredienserna bioackumulerar inte. Förhindra större utsläpp i mark, vatten och avlopp.	Kan avfetta huden och orsaka ögonirritation samt irritation av munhåla och svalg vid direktkontakt. Produkten är inte klassificerad som akuttoxisk.
FSI-Defend	Ej märkningspliktig	Ingen ekologisk information finns tillgänglig för produkten. Spridning till vattendrag bör undvikas.	Kan irritera ögon och hud hos känsliga individer. Irriterar andningsorganen.

8.3.2 X-fog

8.3.2.1 Funktion

X-fog är ett tillsatsmedel som tillhandahålls från X-Fire AB. X-fog har tidigare använts för bekämpning av skogsbränder från marken vid flera tillfällen i Sverige. Tillsatsmedlet innehåller enligt produktens säkerhetsdatablad (X-Fire AB, 2021) ammoniumklorid och används primärt för A-bränder (för mer information se företagets hemsida).

X-fog innehåller ämnen som fungerar som en brandretardent (ammoniumfosfater) och ger därmed också återantändningsskydd. Till skillnad från FSI-Defend och brandretardenter (såsom Fire-Trol och Phos-Check) har X-fog också en starkt kylande funktion. Exempelvis kan kylning från 700 °C till ca 40 °C ske på några sekunder. Produkten fungerar ytspänningsnedsättande och minskar droppstorleken på vatten med ca 36 % enligt en rapport från SP, Spray characterization of the cutting extinguisher (Qvarfell X-Fire AB, muntligt). Det gör att produkten kan tränga in i material och kyla större ytor än normalstora vattendroppar (X-fire AB, 2018). Flera olika delar i formuleringen, bland annat andra funktionskemikalier, bidrar till att produkten ger en kylande effekt och en endoterm process (värme tas upp) (Ludt JLS Consulting AS, muntligt).

Inblandning av X-fog sker i olika koncentrationer beroende på användningsområde. Rekommenderad inblandning för att släcka bränder är 1 %. Vid påförande på begränsningslinjer rekommenderas 3 % inblandning (Qvarfell X-Fire AB, muntligt).

När X-fog användes vid skogsbranden i Hammarstrand 2018 var inblandning för offensiv brandbekämpning 1-2 % och för släckning av glödbränder 2-4 % (Lindgren, Palmkvist, & Bergh, 2018).

8.3.2.2 Uppgift om innehåll

Produkten har analyserats 2014 i en studie bekostad av Kemikalieinspektionen och MSB. I studien ingick flera brandskum och X-fog som enda tillsatsmedel (Kärrman, et al., 2016).

En kemisk analys gjordes med screening med hjälp av vätskekromatografi tillsammans med masspektrometri. Riktad analys av fluorerade ämnen genomfördes också med hjälp av vätskekromatografi och gaskromatografi tillsammans med masspektrometri. Inga joniserbara organiska ämnen påvisades (och alltså heller inga PFAS-ämnen).

Ytterligare analyser av grundämnen gjordes med hjälp av två olika kemiska metoder, ICP-MS och CE. Analyserna visade höga koncentrationer av natrium, kalcium, klorid, acetat och ammonium (Kärrman, et al., 2016). I rapporten uttrycks inga halter och inom ramen för denna utredning har analysdata efterfrågats. För CE-analysen var det svårt att kvantifiera ämnen. Det var mycket interferenter vilket medförde att det var svårt att avgöra vad som var högt och lågt i koncentrationer (Kärrman, muntligt). Produktens sammansättning av oorganiska ämnen har därmed inte kunnat fastställas med hjälp av kemisk analys.

I Tabell 2 sammanställs information om produktens innehåll utifrån information i säkerhetsdatablad och de uppgifter som X-Fire och producenten JLS Consulting AS har lämnat utöver det som syns i säkerhetsdatabladen. I tillverkningen tillsätts livsmedelsgodkända, ätbara, ämnen i låga halter. Dessa ”neutraliseras” i tillverkningsprocessen. Tillverkaren har uppgett att produkten inte innehåller några halogenerade brandretardenter eller organofosfor (Ludt JLS Consulting AS, muntligt).

Örebro Universitet har i samband med studien ”Miljöeffekter av long term fire retardants – brandretardenter” på uppdrag av MSB låtit analysera X-fog med avseende på cyanid. Ingen cyanid kunde påvisas i X-fog med analysens detektionsgräns (detektionsgränsen var 0,01 mg/l) (Eurofins, 2019).

8.3.2.3 Bildade ämnen av produkten vid kontakt med brand

Enligt säkerhetsdatablad för produkten på norska och engelska, reagerar produkten med alkalier och frigör ammoniak (Thors Kemiska Fabriker AS, 2018), (Thor’s Kemiske Fabriker AS, 2017). Produkten frigör också ammoniak vid brand. Detta framgår inte av senaste säkerhetsdatabladet på svenska men är fortfarande gällande då innehållet är detsamma som när säkerhetsdatabladen på norska och engelska upprättades.

Örebro universitet har kontrollerat om kloridinnehållet i produkten skulle kunna alstra dioxiner i brand (Kärrman, et al., 2016). En serie brandsläckningstester i containers utfördes för att studera olika släckmedel och brandsläckningsteknikers bidrag till bildningen av farliga biprodukter. Slutsatsen blev att X-fog inte förefaller bilda oönskade biprodukter såsom exempelvis dioxiner.

8.3.2.4 Oavsiktligt bildade ämnen av produkten vid tillverkning

Tillverkaren av produkten uppger att inga miljöskadliga oavsiktligt bildade ämnen finns i produkten (Ludt JLS Consulting, muntligt).

8.3.3 FSI-Defend

8.3.3.1 Funktion

FSI-Defend är ett flytande koncentrat som tillhandahålls av Flame Security International och är en brandretardent som är tänkt att användas för att bekämpa skogsbränder. Produkten kan appliceras från luften eller från marken för att skapa begränsningslinjer som förhindrar spridning av skogsbränder. Produkten är tänkt att motverka att vegetation antänds så att spridning avtar genom att produkten skapar ett isolerande förkolnat lager på vegetationsytan, produkten kan sedan tas upp av vegetationen eller brytas ner naturligt (Flame Security International, 2020a).

Produkten är främst avsedd för att användas för att skapa begränsningslinjer men kan även användas för direkt applicering på skogsbranden (direkt angrepp), (Overstead, Flame Security International, muntligt).

FSI-Defend innehåller ammoniumpolyfosfat med ett elektrolytkomplex. Brandsläckningsförmågan är som mest effektiv när det appliceras på organiskt material (timmer och trä). När den värms upp (i kontakt med branden eller

intensiv hetta) sönderdelas ammoniumpolyfosfat och det bildas fosforsyra som främjar bildandet av förkolnat material. Den andra delen av ammoniumpolyfosfaten med elektrolytkomplex bildar koldioxid, vattenånga, ammoniak och kväveoxider som gör att kollagret expanderar på grund av bildande av luftfickor. Det expanderade kollagret ger en värmeisolering mot det brännbara materialet under och stoppar effektivt brandens framfart samt stoppar återantändning. Funktionen kvarstår så länge som brandretardenten är kvar på det material som ska skyddas (i det här fallet vegetationen), även efter att vattnet har förångats.

Interaktionen mellan ammoniumpolyfosfat och den valda elektrolyten skapar en synergistisk effekt som gör att FSI-Defend kan förbli relativt viskös och fästa väl på vegetationen även i brukslösning.

Både sötvatten och saltvatten kan användas för att blanda brukslösningen (Flame Security International, 2020a).

8.3.3.2 Uppgifter om innehåll

FSI-Defend består liksom många andra kommersiella brandretardenter i huvudsak av ammoniumpolyfosfat (50-70 %), men innehåller enligt FSI (2020a) en lägre halt jämfört med konkurrerande kommersiella produkter. Övriga beståndsdelar utgörs av funktionshöjande kemikalier samt andra ingredienser som inte anges i säkerhetsdatabladet och som heller inte har redovisats av Flame Security efter förfrågan om fullständigt innehåll. Föreslagen inblandning är enligt FSI, en del produkt per sex delar vatten (1:6 dvs 16,7 % inblandning), men inblandningen kan anpassas beroende på situation, till exempel beroende av vegetationstäthet. Då produkten är tänkt att fastna på vegetationsytan kan en tät vegetation förhindra att produkten når marken vid applicering från flyg, och då kan en lägre inblandning bli nödvändig. Brandretardentkomplexet gör att lösningen är relativt viskös utan behov av tillsats av förtjockningsmedel. Produkten kan därmed fästa bra på vegetationen.

Ett färgämne, järnoxid, ingår i lösningen för att möjliggöra att man bättre kan se var brandretardenten är påförd (Flame Security International, 2020a).

I Tabell 2 sammanställs information om produktens innehåll utifrån information i säkerhetsdatablad (för mer information, se företagets hemsida) och de uppgifter som Flame Security International har lämnat utöver det som syns i säkerhetsdatabladet.

FSI-Defend innehåller inga antikorrosionstillsatser som är cyanidbaserade. Det har bekräftats både av tillverkaren av ammoniumpolyfosfaten som Flame Security använder (Overstead, Flame Security International, muntligt) samt av egen analys genomförd av Flame Securitys R & D Team genom Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) och Ultraviolet-Visible Spectroscopy (UV-Vis). Ramboll har tagit del av såväl säkerhetsdatablad för den ingående ammoniumpolyfosfaten (företagshemlighet exakt vilken det är) tillsammans med redovisning av den kemiska analysen (Flame Security International, 2020b).

8.3.3.3 Bildande av ämnen av produkten vid kontakt med brand
Flame Security International har uppgett att mineralsyran som bildas i kontakt med branden används upp för bildandet av det förkolnade materialet. Det förkolnade lagret kan innehålla fosforbaserade ämnen. Gasen som bildas under den termiska omvandlingen av produkten är väldigt vanliga vid förbränning av organiskt material och är icke-toxiskt under normala förhållanden. Därför anser Flame Security att FSI-Defend inte medför några hälsomässiga eller miljömässiga problem (Flame Security International, 2020a).

Produkten kan bilda koloxider, fosforsyra och kväveoxider när den upphettas (Flame Security International, 2020c). Ammoniak kan också bildas.

8.3.3.4 Oavsiktligt bildade ämnen av produkten vid tillverkning
Flame Security International har uppgett att inget organiskt lösningsmedel används i tillverkningsprocessen och att inget avfall eller någon biprodukt med hälso- eller miljöhänsyn genereras under tillverkningsprocessen. Vidare har bolaget uppgett att ingen av ingredienserna kan utgöra ett hälso- eller miljöproblem (Flame Security International, 2020a).

9. Konceptuell spridning och exponeringsvägar

De produkter som utreds i rapporten kan användas för att bekämpa skogsbränder antingen från mark eller från luften med hjälp av flyg, helikopter eller drönare (i framtiden). Potentiell spridning av brandbekämpningsmedlen sker i huvudsak genom utsläpp direkt till naturen, övriga spridningsvägar kan vara från tillverkning (spill, avlopp etc) och vid hantering (spill, olyckor etc) av kemikalier. FSI-Defend och X-Fog kan användas såväl för att skapa så kallade begränsningslinjer som för direkta angrepp på skogsbranden.

För att bättre karakterisera potentiella effekter tillsatsmedlen kan ha på miljön har Ramboll skapat en konceptuell modell över användning, spridningsvägar och exponeringsvägar, se ***Figur 1**.

9.1 Grundförutsättningar

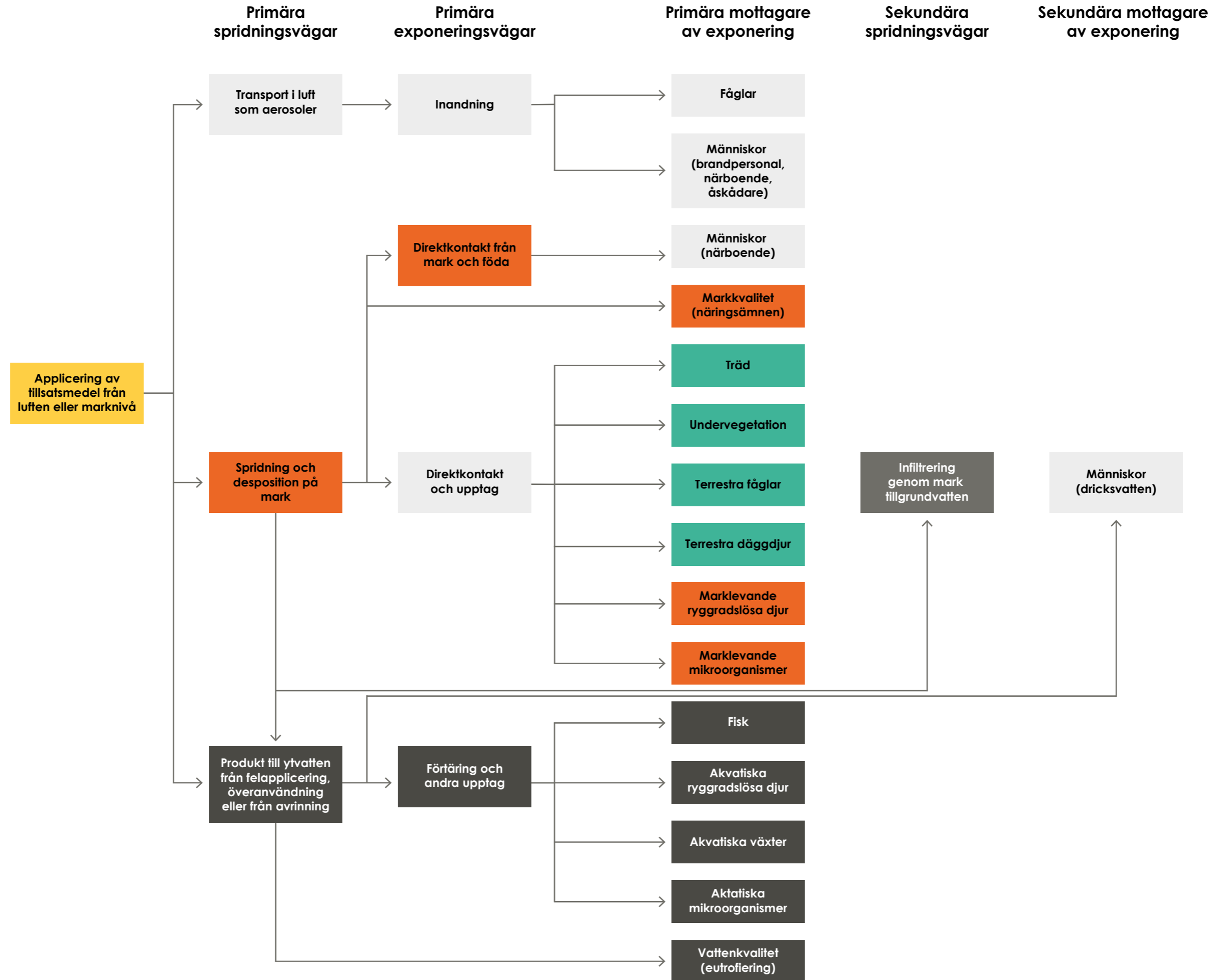
Grundförutsättningarna för den konceptuella modellen är att tillsatsmedlen appliceras i rekommenderade brukslösningar i typiska svenska skogsmiljöer. En typisk skogsmiljö i Sverige består av jordmånen podsol (ca 70 % av Sveriges yta), vilken är naturligt sur med pH ner till 4. Detta medför att även grundvatten och ytvatten i anslutning till sura jordar kan vara sura. Typiska skogsmiljöer kan även vara mer kalkrika områden som kan påträffas i sydöstra Sverige, på Gotland och på Öland. I kalkrika områden kan mark, grundvatten och ytvatten istället förväntas vara neutralt eller basiskt.

Tillsatsmedlen appliceras primärt med hjälp av markfordon eller brandsläckare, men även applicering med flyg, helikopter och drönare beaktas. Parametrar som bör beaktas är t.ex. typ av skog, närvaro av skyddade arter, fornskog eller regenererande skog (finns det någon historik av bränder i skogsmiljön), markkemiska förhållanden (t.ex. organiska ämnen, kväve- och fosforföreningar), närhet till vattenförekomster, närhet till bostäder etc.

Inget kontaminerat släckvatten kommer att kunna samlas upp.

9.2 Primära spridningsvägar

Tillsatsmedlen appliceras primärt från marken genom direkt eller indirekt angrepp på skogsbranden eller genom att begränsningslinjer skapas. Vid direkta angrepp förväntas det mesta av vattenlösningarna förångas omedelbart, medan restprodukter från förbränningen antingen sprids med vind eller når mark via deposition. Vid skapandet av begränsningslinjer når tillsatsmedlen miljön direkt vilket gör att exponering kan ske direkt. Applicering från marknivå bedöms generellt orsaka liten spridning med vind.



*Figur 1. Konceptuell modell över användning, spridningsvägar och exponeringsvägar för tillsatsmedel i miljön.

Tillsatsmedel som appliceras med hjälp av flygplan eller helikopter kan i ett första skede spridas med vindar som luftburna partiklar (aerosoler), detta kan resultera i att människor och miljön exponeras direkt via kontakt med aerosolerna, t.ex. via inandning eller direkt hudkontakt. Aerosolerna når dock mark eller vatten relativt snabbt vilket gör spridningsvägen liten och att spridningsvägen inte beaktas vidare i aktuell rapport. Vid applicering med flygplan bedöms risken för okontrollerad spridning vara större än från helikopter.

Tillsatsmedel som direkt når mark, växtlighet eller vattenförekomster är den huvudsakliga primära spridningsvägen till miljön. Beroende på typ av tillsatsmedel kan växtlighet påverkas olika mycket.

Spridning till vattenmiljöer begränsas av försämrade avrinningsförhållanden, förångning av kontaminerat släckvatten eller att tillsatsmedlets får verkan på branden och istället resulterar i främst luftemissioner.

9.3 Primära exponeringsvägar

När tillsatsmedlen når mark (inklusive växtlighet) och vattenförekomster sker primär exponering, detta sker framför allt via direktkontakt, upptag (t.ex. diffusion) eller förtäring. Spridning och exponering kan ske till mark- och vattenlevande djur och mikroorganismer, vegetation, vattenlevande växter men även mark- och vattenkvalitet (avseende t.ex. näringskemi) kan komma att påverkas. Förekomst av ytvatten (sjöar, vattendrag och kustvatten) ökar generellt sett spridningen på grund av att transport av ämnen är större i vatten, särskilt i större vattendrag. Saknas ytvatten inom det område där tillsatsmedlet appliceras sker spridning betydligt långsammare via avrinning av nederbörd eller genom infiltration till grundvatten.

9.4 Sekundära spridningsvägar

Sekundär spridning sker via förtäring av vatten eller organismer som har exponerats för tillsatsmedlen. Omfattningen av sekundär spridning är starkt beroende av föroreningarnas kemiska egenskaper, t.ex. är fettlösliga ämnen mer benägna att spridas via sekundär spridning till andra trofiska nivåer, dvs. nivåer i näringskedjan. För tillsatsmedlen bedöms sekundär spridning vara starkt begränsad och kommer därmed inte att beaktas vidare i rapporten.

10. Granskade produkters bedömda påverkan på miljö och hälsa

I Örebro universitets övergripande rapport kallas ”Miljöeffekter av long-term fire retardants – brandretardenter” (Örebro universitet, 2021) och Bilaga 1 till rapporten ”Kunskapssammanställning. Miljöpåverkan från long-term fire retardants – brandretardenter” (Ramboll Sweden AB, 2020) redovisas känd information om påverkan på människors hälsa och miljön av brandretardenter (ammoniumfosfatbaserade tillsatsmedel). I nedanstående avsnitt sammanfattas information från denna rapport där det anses relevant. För fördjupad information hänvisas läsare till kunskapssammanställningen.

10.1 Exponering

Vid utredning av kemiska miljö- och hälsorisker tas hänsyn till både ämnets farlighet och exponering. I en kemisk riskbedömning utreds vid vilken halt ämnet orsakar negativa effekter, och fastställer utifrån framtagna data gränsvärden för miljö och människa. Därefter undersöks vilka halter som kan uppkomma. För att användningen ska anses säker, måste halten som kan uppstå vid exponering vara lägre än fastställt gränsvärde. Därför är det viktigt att försöka utreda exponeringsgraden.

Doseringen vid användning är beroende av flertalet faktorer, som t.ex. underlaget (skogsstyp och hur tät vegetationen är), vilken brandbelastning man har i området, lutning och vind i området. Den dos som uppkommer beror också på hur väl man kan avgöra var man redan har påfört tillsatsmedlet i det fall det nyttjas för begränsningslinjer. I FSI-Defends fall underlättas den bedömningen av att tillsatsmedlet innehåller ett rött färgämne.

Tillsatsmedlen appliceras på skog och mark som vid tillförsel kommer vara mycket torr. Merparten av det tillsatsmedel som påförs kommer därmed inte att rinna vidare, utan ligga kvar på vegetationen och verka för förbättrad släckeffektivitet. Efter ytterligare vattenpåföring, eller vid nederbörd, kommer produkterna (om de inte förbrukats/dissocierat) efter hand att släppa från vegetationen och följa med släckvattnet eller nederbörden till grundvattnet och för vidare exponering i nedströms vattendrag. Hur stor exponeringen blir beror då inte bara på dosering, om den fått göra verkan, utan även på flöden och storlek på vattendrag. Även tiden mellan brand och nederbörd, samt nederbörds-mängden kommer påverka spridningen och erhållen halt.

Sammanfattat är osäkerheten om både dosering och vidare spridning stor och inom ramarna för utredningen har det inte gått att avgöra vilka halter som kan uppkomma i miljön efter tillsatsmedlens användning. Därför bör räddningstjänsterna, vid eventuell framtida användning, planera för dokumentation av användning samt uppföljning av effekter i områden där tillsatsmedel används och jämföra med områden där de inte används.

10.2 Förändringar med avseende på pH

Som beskrivits ovan ses ofta försurande effekter av en skogsbrand, vilka kan komma att neutraliseras av basisk aska. Det finns även exempel på att väte- och aluminiumjoner frigörs från jorden genom jonbyte, speciellt om brackvatten väljs som släckningsmedel (Naturvårdsverket, 2006). Det är därför viktigt att pH-balansen inte störs ytterligare av tillsatsmedlet. I produkternas säkerhetsdatablad kan man utläsa att pH för FSI-Defend är angivet till 6-7 och för X-fog är pH-värdet angivet till 7,5. Produkterna som har utvärderats kan därför anses som pH-neutrala. Se också vidare kapitel 10.4.1.

10.3 Nedbrytning och bioackumulation

För att undvika negativa miljöeffekter vid användning av tillsatsmedel är det viktigt att de inte innehåller kemiska ämnen som är svårnedbrytbara eller riskerar att bioackumuleras eller biomagnifieras (dvs. anrikas i organismen respektive i näringskedjan).

Det har vid utvärderingen inte framkommit uppgifter om att de granskade produkterna innehåller några svårnedbrytbara organiska ämnen.

10.3.1 X-Fog

Enligt information från tillverkaren innehåller X-fog 1-3 % ammoniumklorid, 30-60 % ammoniumfosfater och en liten del funktionskemikalier.

Ammoniumklorid dissocierar i vatten till ammoniumjoner (NH_4^+) och kloridjoner (Cl^-). Ammonium kommer, i en naturlig miljö, nitrifieras till nitrit (NO_2^- -försurnande) och vidare till nitrat (NO_3^-). Nitrat kan i sin tur denitrifieras och avgå som kvävgas (N_2).

Ammoniumfosfater hydrolysernas till fosfater och ammoniumjoner. Dessa joner är en del av det naturliga kretsloppet, och har inte bioackumulerande effekt.

Då övriga ämnen som ingår i X-fog är okända, kan de inte utvärderas med avseende på nedbrytbarhet och bioackumulering. Dock har inga joniserbara organiska ämnen påvisats vid analys, se kapitel 8.3.2.2.

10.3.2 FSI-Defend

FSI-Defend innehåller ammoniumpolyfosfat, som i vatten löses upp till fosfatjoner och ammoniumjoner vilka är joner i det naturliga kretsloppet och som inte bioackumuleras.

En stor skillnad mellan FSI-Defend och tillsatsmedel/brandretardenter baserade på ammoniumfosfater såsom X-fog är att FSI-Defend dissocieras (löses upp) långsammare i miljön på grund av dess kemiska egenskaper. Detta gör att övergödande ämnen inte blir tillgängliga för upptag i miljön i samma hastighet som de ammoniumfosfatbaserade. Istället gör den långsamma dissociationen att övergödande ämnen blir tillgängliga för upptag under en längre tidsram vilket

t.ex. kan motverka större algblomningar. Om den långsammare dissocieringen även gör att mindre mängd ammoniak bildas initialt är okänt.

Järnoxid är inte ett svårnedbrytbart ämne och bioackumuleras eller biomagnifieras inte.

Då övriga ämnen som ingår i FSI-Defend är okända, kan de inte utvärderas med avseende på nedbrytbarhet och bioackumulering.

10.4 Ekotoxicitet

När man utreder ett ämnes toxiska egenskaper, utförs tester för att kunna fastställa om ett ämne/kemisk produkt ska klassas som miljöfarlig. Resultaten från testerna används även för att beräkna gränsvärden, det vill säga vilken koncentration miljön tål av det testade ämnet utan att negativa effekter uppstår. Dessa gränsvärden fastställs för enskilda kemiska ämnen. Då samtliga ingående ämnen i tillsatsmedlen inte är kända beskrivs i denna rapport istället tillsatsmedlens effekter på en mer generell nivå.

Både X-fog och FSI-Defend har testats för akut akvatisk toxicitet. Testerna är inte helt jämförbara med varandra. X-fog har testats upp till den dos (uttryckt i %) där effekt har kunnat fastställas (Tabell 4). FSI-Defend har testats upp till 100 mg/l (Tabell 5), vilket är en bruklig högsta testkoncentration för de tester som utförs för att bedöma om produkterna uppvisar ekotoxicitet som kräver klassning enligt den europeiska kemikalielagstiftningen REACH. Resultaten från testningen behöver inte betyda att uppmätta effekter av FSI-Defend och X-fog skiljer sig åt, bara att testförfarandet inte varit likadant.

Tabell 4. Sammanställning av resultat från ekotoxikologiska tester av X-fog. Testernas resultat redovisas som EC50 vilket innebär den effekt koncentration samt LC50 som visar på lägsta koncentration i vatten som krävs för att 50 % av testorganismerna ska dö.

Test	Resultat
Akut toxicitet för akvatiska invertebrater (Daphnia magna)	EC50 (48 h): 0,057 %
Tillväxthämning av encelliga alger (Desmodesmus subspicatus)	EC50 (72 h): 0,4 %
Toxicitet för fiskembryo (Danio rerio)	LC50 (48 h): 0,4 %
Toxicitet för bakterier (Vibrio fisheri)	EC50 (15 min): 21 %

Källa: (Kärman, et al., 2016)

X-fog var mest toxiskt för den akvatiska invertebraten *Daphnia magna* (en kräftdjursart), där hälften av organismerna blev immobiliserade (orörliga) vid 0,057 % inblandning. X-fog appliceras i koncentrationer av 1-3 %.

Tabell 5. Sammanställning av resultat från ekotoxikologiska tester av FSI-Defend. Tester-
nas resultat redovisas som EC50 vilket innebär den effekt koncentration samt LC50 som
visar på lägsta koncentration i vatten som krävs för att 50 % av testorganismerna ska dö.

Test	Resultat
Akut toxicitet för akvatiska invertebrater (Daphnia magna)	EC50 (48 h): >100 mg/l
Tillväxthämning av encelliga alger (Desmodesmus subspicatus)	EC50 (72)h: >100 mg/l
Toxicitet för fiskembryo (Danio rerio)	LC50 (48h): >100 mg/l
Toxicitet för bakterier (Vibrio fisheri)	EC50 (15 min): >100 mg/l

Källa: (Eurofins Ecotoxicologie France, 2020a), (Eurofins Ecotoxicologie France, 2020b),
(Vitargent, 2020), (Eurofins Ecotoxicologie France, 2020c)

Testerna för FSI-Defend utfördes med en hösta koncentration på 100 mg/l. Ingen effekt påvisades. Aktuell brukslösning bedöms dock vara betydligt större än 100 mg/l. FSI jämför sin produkt med en motsvarande produkt från Phos-Chek (innehållet är väldigt likt, se vidare rapporten från Ramboll 2020). Phos-Chek LC-95A har en rekommenderad brukslösning på 18 % inblandning, vilket motsvarar en koncentration av tillsatsmedlet på 226 590 mg/l (Dietrich, Myers, Strickland, Gaest, & Arkoosh, 2013). Vid 16 % inblandning (rekommenderad brukslösning) av FSI-Defend skulle koncentrationen av tillsatsmedlet motsvara ca 200 000 mg/l, vilket är 2 000 gånger större än den testade koncentrationen. Det är rimligt att anta att toxiciteten FSI-Defend är i ungefär samma storleksordning som Phos-Chek LC-95A (som inte innehåller någon cyanid). Dietrich et al. (2013) har undersökt den med avseende på akut ekotoxicitet på kungslaxyngel. I undersökningen uppmättes LC50 till 0,15 % av brukskoncentration för kungslaxyngel. Det motsvarar 340 mg/l i koncentration. I säkerhetsdatablad för Phos-Chek LC-95A (Perimeter solutions, 2015) finns dessutom angivet att LC50 för regnbågslox uppmätts till 435 mg LC-95A/L, vilket motsvarar 0,20 % av brukskoncentrationen för Phos-Chek LC-95A.

Varken X-fog eller FSI-Defend innehåller något cyanid innehållande antikorrosionsmedel som kan bli toxiskt vid kontakt med UV-ljus (fri cyanid bildas), se vidare kapitel 8.3.2.2 och 8.3.3.2.

Summerat visar ingen av de testade tillsatsmedlen effekter som ger upphov till klassning för miljöfara enligt den europeiska kemikalielagstiftningen REACH. Däremot skiljer den här typen av användning sig åt mot annan kemikalieanvändning på det sättet att exponeringen i miljön blir hög eftersom tillsatsmedlen släpps rakt ut i miljön. Eftersom brukskoncentrationen av X-fog är högre än de halter när akut toxicitet uppvisas så kan akuta effekter uppkomma i miljön om stora mängder når vattenmiljön. Detsamma bedöms också gälla för FSI-Defend enligt resonemanget ovan. På grund av detta blir det taktiska valen vid applicering för att få hög nytta av tillsatsmedlet och skyddsavstånd viktiga skyddsåtgärder för att motverka att tillsatsmedlen bidrar med akuta effekter i vattenmiljöer. Se vidare i kapitel 11. Då inga organiska svårnedbrytbara ämnen finns i tillsatsmedlen bedöms effekterna vara övergående.

10.4.1 pH-påverkan på ekotoxicitet

Som konstateras i ovanstående stycken så kan oavsiktlig applicering av båda studerade tillsatsmedel till vatten eller genom spridning till vatten orsaka kortsiktiga toxiska effekter för vattenlevande organismer. Det är dock värt att notera att utförda ekotoxicitetstest har genomförts på laboratorium under relativt neutrala pH (pH 6-8). Toxiciteten bedöms främst vara kopplad till frisättning av ammoniak, vilket framför allt sker vid höga pH i basiska miljöer. I Sverige är en majoritet av vattenförekomsterna något sura vilket innebär att frisättning av ammoniak inte förväntas förekomma i hög utsträckning i dessa miljöer (med undantag för kalkrika miljöer). Fosforsyra bildas av tillsatsmedlen vid kontakt med värme. Det är en svag syra som kan bidra till att sänka pH-värdet i marken eller en vattenmiljö. Till följd av skogsbränder bildas däremot stora mängder aska som avrinner med kontaminerat släckvatten eller nederbörd från brandplatsen, detta kan i sin tur medföra att aska sprids till närliggande vatten. Aska är generellt sett basisk vilket kan medföra att närliggande vatten får förhöjda pH, vilket i sin tur kan leda till att mer ammoniak frisätts. Det är därmed inte möjligt att dra någon slutsats om att ammoniak inte frisätts i sura vatten eftersom det även är påverkat av aska från branden, vilket innebär att toxiska effekter på akvatiska miljöer aldrig kan uteslutas om tillsatsmedel appliceras i närhet till vattenförekomster.

10.5 Övergödning

Utöver direkta ekotoxiska effekter kan ammoniumsalter som ingår i X-fog (ammoniumfosfater) och FSI-Defend (ammoniumpolyfosfat) verka övergödande, vilket kan bidra med negativa effekter i mark- och vattenmiljöer. Både ammoniumjonen och fosfatjonen kan bidra med övergödande effekter. I Sverige är normalt fosfor den begränsande faktorn för övergödning (eutrofiering) i sötvatten (SLU, 1998). Men i norra Sverige finns även kvävebegränsade sjöar där kvävet är den begränsande faktorn för övergödning. I haven är kväve normalt den begränsande faktorn (SLU, 2015).

Några effekter från övergödning har inte utretts specifikt för X-fog eller FSI-Defend. De huvudsakliga beståndsdelarna i respektive produkt, ammoniumfosfater och ammoniumpolyfosfat, ingår däremot i flertalet brandretardenter som kartlagts i en kunskaps-sammanställning av (Ramboll Sweden AB, 2020). Av kunskaps-sammanställningen framgick att samtliga ammoniumsalter som används höjer nivån av instabila fosfor- och kväveformer. Markens och vattnets kväveinnehåll återgår inom ett år till normala halter medan fosfathalter i mark kan bestå under flera år. Ett ökat tillskott av kväve och fosfat kan ha en övergödande effekt i mark och i vatten. I mark kan övergödning gynna tillväxt av ogräs och invasiva arter, medan det i vattenmiljöer främst orsakar algblooming. Algblooming kan på grund av sin höga tillväxttakt orsaka syre- eller näringsbrist för befintliga organismer. Störst risk för övergödande effekter bedöms erhållas om tillsatsmedlen släpps direkt över eller sprids till vattendrag med liten utspädning. Faktorer som kan påverka spridning från mark till vatten är t.ex. förekomst av jordar med låg organisk halt, branta lutningar ner mot vattenförekomster och låg permeabilitet i jord (t.ex. lera).

10.6 Utsläpp till luft

I en genomförd studie där emissioner till luft vid brand mättes med nollprov, barr som inte behandlats med brandretardenter och barr som hade behandlats med brandretardenter (Fire-Trol 931 som innehåller ammoniumpolyfosfat) var ammoniakemissionerna från de barr som behandlats med brandretardenter betydligt större än de som inte behandlats med brandretardenter. Detta var förväntat eftersom brandretardenter frisätter ammoniak vid kontakt med brand. Barr som behandlats med brandretardenter gav också större emissioner av aromatiska kolväten, bensen, toluen och fenol, än obehandlade barr. För alla uppmätta ämnen var emissionerna som störst vid 200-450°C (Tzamtakis, Karma, Pappa, & Statheropoulos, 2006).

Liknande effekter rörande större emissioner till luft av ammoniak kan förväntas vid användning av såväl X-fog som FSI-Defend. För FSI-Defend kan det antas att liknande effekter även gäller för emissioner av aromatiska kolväten med tanke på produktens likhet med Fire-Trol.

För X-fog går det utifrån tillgängliga studier inte att dra slutsatser om större emissioner av aromatiska kolväten uppkommer vid användandet då produktinnehållet och funktionen skiljer sig mer åt från Fire-Trol än vad FSI-Defend gör. Som tidigare har nämnts i denna rapport gäller generellt att det bildas mindre farliga biprodukter vid höga temperaturer medan ett släckförlopp där temperaturen sjunker långsamt ger en ofullständig förbränning och ökad bildning av farliga ämnen. X-fog har en kylande effekt som kan medföra att mindre föroreningar kommer att hamna i kontaminerat släckvatten och i luften jämfört med släckning med vatten. Men det saknas vetenskapliga studier för skogsbränder som kan bekräfta att antagandet stämmer. Däremot har släckförsök i container med identisk rumsuppbyggnad visat att X-fog med påföring med skärsläckare genererade lägst koncentration av biprodukter såsom bromerade dioxiner, VOC, och PAH:er i luftemissionerna (rökgas och sot) i jämförelse med vid användning av vatten och strålrör, vatten och skärsläckare respektive CAFS (Compressed Air Foam System). Vid användning av X-fog användes minst volym vatten, inga återtändningar inträffade, och inget kontaminerat släckvatten kunde samlas från behållarna på golvet. X-fog med påföring med skärsläckare hade det snabbaste släckförloppet vilket troligen är orsaken till att det uppmättes minst farliga föreningar i gas och sot. Vid försöken med X-fog uppmättes ammoniak i rökgasen, förmodligen som en följd av ammoniumsalter som finns i detta släckmedel. Produkten innehåller också klorosalter men detta orsakade inte oönskade biprodukter som exempelvis klorerade dioxiner (Kärrman, et al., 2016).

10.7 Påverkan på människors hälsa

Två huvudsakliga potentiella exponeringsvägar med avseende på människors hälsa vid användning av brandretardenter har identifierats: 1) yrkesmässig exponering vid framställning och användning av produkten och 2) exponering av allmänheten via miljön genom utsläpp av brandretardent till vatten-, luft- och jordmiljö.

Baserat på den tillgängliga informationen från säkerhetsdatabladet och den kunskap som finns sammanställd i kunskapssammanställningen (Ramboll Sweden AB, 2020), utgör inte hanteringen av de utvärderade tillsatsmedlen, X-fog och FSI-Defend, någon akut risk för människa. Tillsatsmedlens faroprofil utifrån ett hälsoperspektiv är låg, då det främst rör sig om risk för mild ögon- och hudirritation.

Brandpersonal som handskas direkt med produkterna bör vidta skyddsåtgärder för att motverka oavsiktlig exponering via t.ex. spill. Personal bör vara försedd med skyddsglasögon, heltäckande skor och skyddshandskar enligt rekommendationerna i säkerhetsdatabladet.

Ammoniak bildas som nedbrytningsprodukt från båda tillsatsmedlen vid brand. Ammoniak har normalt en dags livslängd i luft (Pinder, R. W.; Gilliland, A. B.; Dennis, R. L., 2008) och reagerar med vatten eller andra ämnen i luften och kan nå marken genom nedfall. Det antas därför att det främst är personer i den absoluta närheten till bränderna där släckmedlen används som skulle kunna påverkas av den bildade ammoniaken, i de fall de inte använder skyddsutrustning.

10.7.1 X-fog

Produkten X-fog är enligt säkerhetsdatabladet en produkt som inte behöver klassificeras eller märkas. X-fog innehåller däremot 1-3 % ammoniumklorid, som är ögonirriterande och lätt akuttoxisk, vilket gör att den identifieras i säkerhetsdatabladet. En annan ingående komponent i X-fog är ammoniumfosfater, som ingår mellan 30 – 60 % men som dock inte är märkningspliktiga. Tillverkaren uppger även att det ingår funktionskemikalier, vilka inte redovisas i säkerhetsdatabladet.

Produkten X-fog i sig anges inte vara irriterande, varken för ögon eller hud, men en kompletterande varning ges att känsliga individer kan uppleva besvär. Det finns resultat från ett korttidstest med råttor som visar på låg akuttoxisk profil, efter oral exponering med X-fog. I säkerhetsdatabladet anges denna effekt i form av ett LD50-värde (Leathal Dose 50 %), vilket är ett mått på hur akuttoxisk en kemisk produkt är. Ju högre LD50-värde, desto större engångsdos av testsubstansen tolererar försöksdjuren utan allvarliga hälsoeffekter eller dödsfall. Gränsen för när en produkt inte behöver klassificeras och märkas baserat på LD50-värdet är >2000 mg/kg kroppsvikt inom Europa. LD50-värdet för X-fog är > 5000 mg/kg kroppsvikt enligt säkerhetsdatabladet.

10.7.2 FSI-Defend

Produkten FSI-Defend är enligt säkerhetsdatabladet en produkt som inte behöver klassificeras eller märkas. Den innehåller, enligt producenten, inga märkningspliktiga komponenter och informationen kring sammansättningen är därför väldigt generellt beskriven. En ingående komponent i FSI-Defend är ammoniumpolyfosfat, som ingår mellan 50 – 70 %, men som inte är märkningspliktig. Vid granskning av säkerhetsdatabladet för den ammoniumpolyfosfat som Flame Security använder (företagshemlighet) så styrker befintliga data detta. LD50-värdet för denna ingående komponent > 2000 mg/kg kroppsvikt. Det

finns även data från försöksdjur som visar på att substansen inte uppvisar allergiframkallande egenskaper och data från bakterieförsök som inte uppvisar någon mutagen effekt.

Tillverkare av järnoxid har, vid utförd testning, inte sett effekter som ger upphov till klassning för vare sig människa eller miljö.

Funktionskemikalierna är en del i det som i säkerhetsdatabladet refereras som ett icke-farligt långtids-brandretardent komplex. I säkerhetsdatabladet refereras det dock inte till några data som styrker detta. Enligt producenten är den generella beskrivningen av sammansättningen ett sätt att skydda deras företagshemligheter gentemot konkurrenterna på marknaden. Vid ytterligare kontakt med leverantören visar de resultat från irritationstester på odlade cellkulturer som indikerar att en produkt med liknande sammansättning, FSI-Spray & Go, inte är irriterande för ögon (Eurofins, 2020a). Ett liknande test för att avgöra om FSI-Spray & Go är irriterande för hud gav dock otydliga resultat som inte kan användas för klassificering. Resultaten från dessa tester indikerar att FSI-Defend troligtvis är icke-irriterande för ögon (Eurofins, 2020b). Ingen ytterligare data presenteras för andra typer av tester som styrker påståendet att produkten eller dess ingredienser skulle vara ofarliga.

10.7.3 Övrig information om brandretardenter från litteratur

I kunskapssammanställningen upprättad av Ramboll (2020) sammanställdes vetenskapliga artiklar och myndighetsrapporter rörande brandretardenters påverkan på människors hälsa. De studerade brandretardenterna har likvärdiga aktiva ingredienser som de studerade tillsatsmedlen i aktuell rapport och i likvärdiga halter. Sammanställningen indikerar att de studerade brandretardenterna utgör en försumbar risk för brandbekämpningspersonal och barn och vuxna som skulle komma in i det område där brandretardenter applicerats. Hälsoeffekterna vid konsumtion av svamp och bär som har rester av brandretardenter på sig är också minimala. Under de många år som brandretardenter använts för brandbekämpning har negativa effekter på människors hälsa begränsats till hud- och ögonirritation och potentiella allergiska reaktioner.

Om brandretardenter och ammoniumfosfatbaserade tillsatsmedel hamnar i dricksvattnet så kan det påverka vattenkvaliteten för dricksvattnet. För kommunala vattentäkter finns gränsvärden för otjänligt vatten och för otjänligt med anmärkning. Gränsvärden som skulle kunna överskridas vid oavsiktligt utsläpp av brandretardenter i vattentäkten eller läckage och ytavrinning till vattentäkten är bland annat nitrat, nitrit, pH och ammonium. Normalt sett har vattenverk ingen reningsmetod för att behandla kväveföreningar. Förutom att höga halter av dessa ämnen, till exempel nitrit, kan orsaka hälsoeffekter kan exempelvis kväveföreningar också påverka driftsparametrar, såsom kloreringen. För enskilt vatten finns det bland annat riktvärden för nitrat, nitrit, pH och ammonium som anger när dricksvattnet inte längre är tjänligt. Liksom vid användning av de flesta kemiska produkter och släckmedel ska användning av tillsatsmedel ske med vidtagande av skyddsåtgärder så att man inte riskerar att förorena dricksvattnet.

11. Appliceringens betydelse för tillsats-medlens miljöeffekter

11.1 Applicering av tillsatsmedel

Vid användande av tillsatsmedel med brandretardentegenskaper är det viktigt att de appliceras där nyttan är högst samtidigt som risken för negativa effekter på miljön ska vara så liten som möjligt. En hög nytta erhålls om tillsatsmedlet appliceras och motverkar skogsbranden från att spridas t.ex. till områden där människor och infrastruktur är hotade, medan en låg nytta erhålls om tillsatsmedel appliceras men förblir oanvända för att sedan spridas till marken och vattenmiljöer med nederbörd. Vid applicering från luften ökar risken att tillsatsmedel når områden där nyttan är liten och risken för effekter i miljön är stor. Vid applicering från marknivå bedöms träffsäkerhet och således nyttan vara högre, samtidigt som det är lättare att beakta områdesspecifika parametrar som närhet till vattenmiljöer och andra särskilt känsliga miljöer.

Det är värt att beakta att när tillsatsmedel väl applicerats till skogsmiljön går det inte att omhänderta eller sanera obrunnet tillsatsmedel. Detta innebär att stor vikt behöver läggas på att bedöma nyttan av en applicering så att tillsatsmedlen inte överanvänds eller används i känsliga miljöer, då detta kan orsaka negativa effekter i miljön.

Släckningsmetoden spelar stor roll för vilken miljöeffekt som kan uppkomma. Vid ett direkt angrepp på branden nyttjas antagligen en huvuddel av påfört tillsatsmedel. Det medför att man snarare kan förvänta sig att ingående ämnen i själva tillsatsmedlen avgår med luftemissioner än att sprida sig till marken och vattenmiljöer. Luftemissionerna medför en större spridning över stora landområden som är att föredra än att få höga halter över små områden.

Vid applicering av tillsatsmedel för att skapa begränsningslinjer föreligger större risk att en del av produkten inte gör någon nytta och att ingående ämnen kan spridas till marken och vattendrag vid nederbörd än vid applicering vid direkt angrepp på branden.

Liksom vid all användning av kemikalier ska skyddsåtgärder vidtas för att minska påverkan på miljön. Användning av ammoniumfosfatbaserade tillsatsmedel är mycket lik spridningen av brandretardenter vid skogsbrand. I länder såsom USA och Kanada är hanteringen väldigt reglerad och restriktionsytor där påföring inte får ske ska efterlevas. I Sverige finns hittills ingen reglering av användningen av tillsatsmedel eller släckmedel vid skogsbrandsbekämpning. Däremot är användningen av övergödande ämnen i form av gödselmedel i jordbruket respektive skogsbruket i Sverige väl reglerat och ställer bland annat krav på lagring, hantering, givor (dos), skyddsavstånd och dokumentation. Med

detta sagt och att de största riskerna för negativa miljöeffekter främst är kopplad till felapplicering så bör stora negativa miljöeffekter kunna undvikas om restriktionszoner (skyddsavstånd) även tillämpas vid användning av tillsatsmedel för skogsbrandsbekämpning i Sverige. Inför användning av tillsatsmedel behöver restriktionszoner där användning av tillsatsmedel inte får ske identifieras. Det gäller oavsett om påförandet av tillsatsmedel ska ske från marknivå eller från luften. Samma typer av restriktionszoner som USA och Kanada tillämpar bör även tillämpas i Sverige. Följande restriktionszoner föreslås ska gälla:

- **Vattenområden.** Det ska tillämpas en buffertzon på ett minimum av ca 100 m runt vattenområdena enligt nedan. Avståndet kan vara större för vissa vattenområden på grund av lokala förhållanden. Exempel på vattenområden:
 - vattendrag (även om de inte alltid är vattenförande)
 - sjöar
 - dammar
 - källor
 - reservoarer
 - exempel på vatten (mosse, våtmark etc.) med mycket höga eller höga naturvärden.
- **Skogliga restriktionszoner.** Det kan vara områden där det finns skyddade eller hotade arter eller särskilt skyddsvärda livsmiljöer (habitat), känsliga arter och utsedda kritiska livsmiljöer för dessa arter. Exempelvis naturreservat och Natura 2000-områden. Särskilt om bevarandevärdena kräver näringsfattig miljö.
- **Restriktionszoner för kulturella värden.** Det kan vara områden där det finns fornlämningar, byggnadsminnen, kulturmiljöer eller andra historiska miljöer.
- **Vattentäkter och vattenskyddsområden**
- **Tomtmark** (vid spridning från luften)

Utgångspunkten bör vara att restriktionszonerna ska gälla. Om man ändå i ett specifikt fall anser att tillsatsmedlen ska användas inom ett område som har utpekats som restriktionsyta bör man göra en riskbedömning och bedöma vilka ytterligare åtgärder som ska vidtas för att användningen ska vara acceptabel. Skyddsavstånden kring vattenområden kan minskas om appliceringen av tillsatsmedlet sker från marknivå istället för från luften. Det kan t.ex. vara svårt att undvika applicering i anslutning till diken och bäckar. Exakt hur stort avsteg som kan tas bör avgöras i det enskilda fallet i samverkan mellan räddningstjänsten och miljökompetens på exempelvis kommunen eller länsstyrelsen.

När det gäller påförslaget på kulturvärden så kan tillsatsmedlen förstöra själva kulturvärdet, särskilt om tillsatsmedlet innehåller ett färgämne. I händelse av att det finns kulturvärden inom ett område som man avser behandla måste risken för att kulturvärdet helt brinner upp ställas i relation till risken att få ett skadat kulturminne. Det går dock att minska skadan om användning av ett ofärgat tillsatsmedel används.

11.2 Rekommendationer avseende användning från luften

Som har nämnts tidigare så är det framför allt vid applicering från luften (med flygplan eller helikopter) som risken ökar att tillsatsmedlen når områden där nyttan är liten och risken för effekter i miljön är stor.

Ramboll drar samma slutsats som USDA Forest Service, att oavsiktlig, felaktig spridning av tillsatsmedel kan förväntas ske vid applicering från luften bland annat på grund av väderlek, sikt (försvårat av rök), att piloten gör fel, topografi med mera.

Om spridning av tillsatsmedel ska ske från luften rekommenderas i första hand användande av helikopter, och i framtiden drönare, eftersom träffsäkerheten blir betydligt högre jämfört med vid spridning från flygplan.

Vid spridning av tillsatsmedlen från luften bör liknande riktlinjer som används i USA tillämpas. USDA Forest Service har tagit fram riktlinjer för användning av brandretardenter med flygplan, kallad ”Implementation Guide for Aerial Application of Fire Retardant”. Det sker planering och samordning innan brandsäsongen startar med hydrologer, särskilda koordinatörer och den statliga vattenkvalitetsbyrån. Särskilda restriktionsytor, som piloterna ska undvika, är framtagna och georefererade. Utöver de riktlinjer som finns i ”Implementation Guide for Aerial Application of Fire Retardant”, finns också riktlinjer för säkra höjder från vilken helikoptrar och flygplan får släppa produkterna. Vidare finns riktlinjer för hur skopning av vatten ska gå till för att inte kontaminera vattenområdet varifrån vatten tas (USFS, 2007).

Piloterna som utför spridning av brandretardenter måste ha särskild kompetens och öva årligen. Piloten ska alltid göra en ”dry run”, dvs. övningsflyga över aktuellt skogsområde utan att använda någon brandretardent, för att identifiera samtliga restriktionsytor innan spridningen av tillsatsmedel sker. När spridning tillsatsmedel har skett inom en restriktionsyta, oavsett anledningen, ska det rapporteras, konsekvensbedömas, miljöövervakas och avhjälpas vid behov (Ramboll Sweden AB, 2020).

12. Samlad bedömning och rekommendationer

12.1 Tillsatsmedlens påverkan på miljön

Skogsbränder kan medföra positiva effekter för miljön genom att den biologiska mångfalden gynnas och gör växt- och djursamhällena mer motståndskraftiga mot olika typer av störningar. För att skydda liv och egendom kan det dock vara nödvändigt att begränsa brandens utbredning.

När kemiska ämnen används vid släckning av skogsbränder finns risk för en omfattande spridning till miljön. Det finns inga möjligheter att samla upp det kontaminerat släckvatten som bildas, varför de ämnen som används riskerar att spridas vidare i miljön och ge negativa miljöeffekter.

De metoder och släckmedel som används ska uppfylla de allmänna hänsynsreglerna i miljöbalken, dvs. vara bästa möjliga teknik och den minst skadliga produkten enligt produktvalsprincipen.

12.1.1 Allmänna reflektioner angående inköp av tillsatsmedel

De utvärderade tillsatsmedlen X-fog och FSI-Defend är tämligen väl utredda även om det fullständiga innehållet i produkterna inte har redovisats. Eftersom innehållet i respektive produkt inte har lämnats ut går det inte att fullt ut bedöma miljöpåverkan som användningen av dessa produkter kan orsaka. Rent generellt gör avsaknad av fullständig information om släckmedels innehåll och miljöpåverkan det svårt för räddningstjänsterna att göra avvägda val som överensstämmer med produktvalsprincipen (den minst skadliga kemiska produkten ska användas).

De utvärderade tillsatsmedlen kommer förmodligen inte vara de enda tillgängliga produkterna i framtiden. Man kan inte räkna med att ett tillsatsmedels säkerhetsdatablad (eller avsaknad av säkerhetsdatablad, som inte krävs för icke-märkningspliktiga produkter) kommer att utgöra tillräckligt beslutsstöd för att bedöma vilka miljöeffekter som kan uppkomma och vilken produkt som är bättre utifrån produktvalsprincipen. Tillsatsmedel kan ha olika kemiska sammansättningar, fungera på olika sätt och således också ge olika miljöeffekter. Denna utvärdering kan alltså inte användas för att dra slutsatser om andra tillsatsmedel som kommer ut på marknaden i framtiden.

Eftersom användningen av släckmedel i princip är oreglerad i Sverige så läggs mycket av ansvaret på respektive räddningstjänst att göra rätt utvärdering vid inköp av produkter. Som framgår av utredningen som är gjort i denna rapport så är det en rad olika aspekter som man ska ta hänsyn till och ha kunskap om när man bedömer lämpligheten att använda ett visst tillsatsmedel. Det kräver

specialkompetens som troligtvis räddningstjänsterna inte besitter. Det kan också vara svårt att få uppgifter från leverantörerna om det fullständiga innehållet i produkterna. Som jämförelse kan sägas att användningen av brandretardenter (ammoniumfosfatbaserade tillsatsmedel) i andra länder, till exempel USA och Kanada, brukar vara reglerad för att minska uppkomsten av negativa miljöeffekter.

Det är viktigt att de tillsatsmedel som räddningstjänsterna använder har låg toxicitet och inte innehåller svårnedbrytbara eller bioackumulerbara ämnen. Det kan vara lämpligt att kräva att ekotoxikologiska tester på flera testorganismer (så kallade trofnivåer) har gjorts på själva produkten (blandningen, och inte enbart vissa ingående ämnen) och att det framgår vid vilken koncentration som ekotoxikologiska effekter uppnås så att det kan ställas i relation till den brukslösning som kommer att användas.

12.1.2 De granskade tillsatsmedlens påverkan på hälsa

De studerade produkterna bedöms inte kunna medföra några allvarliga hälsorisker för människor som kommer i kontakt med produkterna. Eventuella effekter bedöms vara begränsade till hud- och ögonirritation och sådana effekter bedöms endast uppstå vid direktkontakt med koncentrerad produkt. Personal som handskas direkt med produkterna bör vidta skyddsåtgärder i enlighet med rekommendationerna i säkerhetsdatabladet för att motverka oavsiktlig exponering via t.ex. spill.

12.1.3 De granskade tillsatsmedlens påverkan på miljön

Som beskrivs i kaptitel 10 har ingen av de utvärderade tillsatsmedlen klassats som miljöfarliga, enligt den europeiska kemikalielagstiftningen REACH, baserat på de tester som har utförts. I de tillsatsmedel som undersökts finns ämnen som typiskt ingår i brandretardenter: ammoniumfosfater och ammoniumpolyfosfat. Det är oorganiska ämnen som dissocierar (löses upp) i vatten och är därmed inte problematiska ur ett nedbrytbarhetsperspektiv. Ämnena finns naturligt i miljön och bidrar alltså inte till tillförsel av nya antropogena (av människan tillverkade) ämnen. Miljöeffekterna som de ammoniumfosfatbaserade tillsatsmedlen bidrar med är tämligen väl utredda och det kan förväntas att FSI-Defend och X-fog kan ge liknande effekter vid användning. Kortsiktiga effekter, i form av övergödande effekter och immobilitet eller död av vissa vattenlevande organismer kan uppstå i mark- och vattenekosystem till följd av applicering. Att effekter kan uppstå trots att tillsatsmedlen är oklassade (inte märkningspliktiga) beror på att skogsbrandsbekämpning kräver direktapplicering i miljön, vilket gör att dosen kan bli hög. Störst risk för negativa effekter bedöms föreligga om tillsatsmedlen släpps direkt över eller sprids till vattendrag med liten utspädning. På längre sikt förefaller eventuella nämnda effekter vara av mindre betydelse, speciellt med tanke på att de innehåll som meddelats från leverantörerna inför utredningen och det ytterligare underlag som finns för X-fog inte vittnar om några svårnedbrytbara eller bioackumulerande ämnen.

En direkt jämförelse mellan X-fog och FSI-Defend med avseende på ekotoxicitet är inte möjlig att göra då FSI-Defend saknar ekotoxikologiska testresultat för koncentrationer större än 100 mg/l, vilket kan förväntas med föreslagen brukslösning på 16,7 %. För ytterligare bedömning av vilka effekter FSI-Defend kan ge

bör ekotoxikologiska tester genomföras så att man kan se vid vilken koncentration effekter uppnås och ställa det i relation till aktuell brukslösning (blandad produkt för användning).

I tidigare utredningar av tillsatsmedel som fungerar som brandretardenter har det framkommit att natriumferrocyanid som tillsätts som korrosionsinhibitor kan frisätta fri cyanid vilket kraftigt påverkar toxiciteten negativt. Ingen av de granskade produkterna i denna utredning innehåller något cyanidbaserat ämne.

Hur stora de miljöeffekter som ingående ämnena i de granskade tillsatsmedlen bidrar med vid användning av dem vid bekämpning av skogsbränder beror till stor del på hur appliceringen går till och hur stor dosen och exponeringen blir. Vid applicering från luften ökar risken att tillsatsmedel når områden där nyttan är liten och risken för effekter i miljön är stor. Vid applicering från marknivå bedöms träffsäkerhet och således nyttan vara högre, samtidigt som det är lättare att beakta områdesspecifika parametrar som närhet till vattenmiljöer och andra särskilt känsliga miljöer. Vid ett direkt angrepp på branden nyttjas antagligen en huvuddel av påfört tillsatsmedel. Det medför att man snarare kan förvänta sig att ingående ämnen i själva tillsatsmedlen avgår med luftemissioner än att sprida sig till marken och vattenmiljöer. De gaser som bildas av de granskade tillsatsmedlen bildas ändå normalt vid skogsbränder; främst ammoniak, kväveoxider och koloxider. Luftemissionerna medför en diffus spridning över landområden som är att föredra jämfört med att få höga halter som sprider sig över små områden.

En brand i sig innebär en enorm akut effekt på ekosystem med exempelvis habitatförlust, uttorkning av vattendrag, övergödning, frisättning av metaller och försurning. De granskade produkterna vittnar inte om innehåll av svårnedbrytbara eller bioackumulerande ämnen och uppvisar tämligen låg ekotoxicitet och humantoxicitet. Med anledning av detta finns det skäl till att tolerera en viss negativ lokal effekt vid användning av såväl X-fog som FSI-Defend på den plats där de används eftersom tillsatsmedlen totalt sett för ett större område kan förhindra att branden sprider sig vidare, förhindra återantändning, minska vattenåtgången i släckningsarbetet och minska miljöeffekterna av branden. Användningen kan därmed totalt sett resultera i mindre miljöeffekter än om enbart vatten används för släckningen eller om branden inte släcks alls i ett visst område. För att minimera de lokala effekterna i miljön som skulle kunna uppkomma är det av vikt att vidta de skyddsåtgärder som beskrivs i denna rapport vid användande av tillsatsmedel.

12.1.4 Planera för användning - skyddsåtgärder

Liksom vid all användning av kemikalier ska skyddsåtgärder vidtas för att minska påverkan på miljön. Miljöeffekterna (ekotoxikologiska och övergödande) vid användningen av tillsatsmedel bedöms bli små om restriktionszoner (skyddsavstånd) tillämpas vid användning av tillsatsmedel för skogsbrandsbekämpning i Sverige. Inför användning av tillsatsmedel behöver restriktionszoner där användning av tillsatsmedel inte får ske identifieras. Det gäller oavsett om påförandet av tillsatsmedel ska ske från marknivå eller från luften. Följande restriktionszoner föreslås ska gälla:

- **Vattenområden.** Det ska tillämpas en buffertzona på ett minimum av ca 100 m runt vattenområdena enligt nedan. Avståndet kan vara större för vissa vattenområden på grund av lokala förhållanden.
 - vattendrag (även om de inte alltid är vattenförande)
 - sjöar
 - dammar
 - källor
 - reservoarer
 - exempel på vattenområden (mosse, våtmark etc.) med mycket höga eller höga naturvärden
- **Skogliga restriktionsytor.** Det kan vara områden där det finns skyddade eller hotade arter eller särskilt skyddsvärda livsmiljöer (habitat), känsliga arter och utsedda kritiska livsmiljöer för dessa arter. Exempelvis naturreservat och Natura 2000-områden. Särskilt om bevarandevärdena kräver näringsfattig miljö.
- **Restriktionsytor för kulturella värden.** Det kan vara områden där det finns fornlämningar, byggnadsminnen, kulturmiljöer eller andra historiska miljöer.
- **Vattentäkter och vattenskyddsområden**
- **Tomtmark** (vid spridning från flygplan eller helikopter)

Utgångspunkten bör vara att restriktionsytorna ska gälla. Om man ändå i ett specifikt fall anser att tillsatsmedlen ska användas inom ett område som har utpekats som restriktionsyta bör man göra en riskbedömning och bedöma vilka ytterligare åtgärder som ska vidtas för att användningen ska vara acceptabel. Skyddsavstånden kring vattenområden kan minskas om appliceringen av tillsatsmedlet sker från marknivå istället för från luften. Det kan t.ex. vara svårt att undvika applicering i anslutning till diken och bäckar. Exakt hur stort avsteg som kan tas bör avgöras i det enskilda fallet i samverkan mellan räddningstjänsten och miljökompetens på exempelvis kommunen eller länsstyrelsen.

Om spridning ska ske från luften rekommenderas i första hand helikopter användas, och i framtiden drönare, eftersom träffsäkerheten blir betydligt högre jämfört med vid spridning från flygplan. Vid användning av tillsatsmedel från luften är det nödvändigt att upprätta och följa liknande riktlinjer som finns i USA för tillvägagångssätt vid spridning, planering, säkra höjder, skopning av vattnet, övning, dokumentation etcetera. Det är ett omfattande arbete och kräver personal med specialkompetens som kan göra bedömningar och samordna förfarandet och piloter med särskild kompetens som övar regelbundet.

12.1.5 Vid insats

Vid användning av granskade tillsatsmedel bör följande skyddsåtgärder tillämpas; restriktionsytor ska undvikas och vid brandbekämpning bör man eftersträva en hög nytta av påfört tillsatsmedel. Applicerat tillsatsmedel som inte används kan spridas till marken och vattenmiljöer med nederbörd.

12.1.6 Efter insats

Som en del av räddningstjänstens egenkontroll enligt miljöbalken bör dokumentation upprättas om var tillsatsmedlet har använts, över vilken yta och hur mycket som har påförts och under hur lång tid.

Det vore önskvärt att följa upp genomförda släckningsinsatser med användning av tillsatsmedel med återkommande provtagning av till exempel närsalter, pH och konduktivitet i närbelägna vattenrecipienter för att studera effekter och bättre förstå miljöpåverkan från tillsatsmedel i svenska skogsmiljöer. Uppföljning görs lämpligast i ett kontrollprogram och bör utföras både efter bekämpning av skogsbrand med användning av tillsatsmedlet och efter brandbekämpning utan användning av tillsatsmedel. Då det kan vara svårt att särskilja eventuella miljöeffekter från tillsatsmedlet med själva brandens miljöeffekter kan det vara svårt att korrelera förekomst av t.ex. närsalter med användandet av tillsatsmedel. Genom återkommande uppföljningar av skogsbränder där tillsatsmedlen använts och där det inte använts fås dock en större kunskap som kan bidra till ökad förståelse för vilken dos som kan erhållas i närbelägna recipienter från användandet av tillsatsmedel och vilka miljöeffekter det ger. Det kan leda till en ökad förståelse för vilka anpassningar som är lämpliga att utföra i användningen utifrån erhållen kunskap.

12.2 Slutsatser

I studien har två tillsatsmedel utvärderats: X-fog och FSI-Defend.

En brand i sig innebär en enorm akut effekt på ekosystem med exempelvis habitatförlust, uttorkning av vattendrag, övergödning, frisättning av metaller och försurning. De granskade produkterna vittnar inte om innehåll av svårnedbrytbara eller bioackumulerande ämnen och uppvisar tämligen låg ekotoxicitet samt humantoxicitet. Med anledning av detta finns det skäl till att tolerera en viss negativ lokal effekt vid användning av såväl X-fog som FSI-Defend på den plats där de används eftersom tillsatsmedlen totalt sett för ett större område kan förhindra att branden sprider sig vidare, förhindra återantändning, minska vattenåtgången i släckningsarbetet och minska miljöeffekterna av branden. Användningen kan därmed totalt sett resultera i mindre miljöeffekter än om enbart vatten används för släckningen eller om branden inte släcks alls i ett visst område. För FSI-Defend föreligger osäkerheter i produktens ekotoxikologiska egenskaper eftersom relevanta halter inte har testats, men i likhet med X-fog, är kroniska effekter inte förväntade baserat på tillsatsmedlets innehåll. Även om det hade varit önskvärt med resultat från ekotoxikologiska tester på aktuell brukslösning bedöms produkten utifrån miljösynpunkt kunna användas för skogsbrandsbekämpning förutsatt att de rekommendationer som ställs i denna rapport följs.

Sammantaget bedöms båda utvärderade produkter kunna användas för skogsbrandsbekämpning förutsatt att de rekommendationer och skyddsåtgärder som beskrivs i denna rapport följs.

13. Referenser

Bell, T. L. (2003). Effects of fire retardants on vegetation in eastern Australian heathlands – a preliminary investigation. Research report No, 68, Victoria Australia; Fire Management Department of Sustainability and Environment, Victoria.

Bremer E. (2018). Ingen katastrof- Om naturguidning i brandområden i skyddad västlig taiga. Examensarbete vid Umeå universitet.

Dietrich, J. P., Myers, M. S., Strickland, S. A., Gaest, A. V., & Arkoosh, M. R. (2013). Toxicity of forest fire retardant chemicals to stream -type chinook salmon undergoing parr-smolt transformation.

Eurofins. (2019). Rapport analys CN total. 2019-04-17.

Eurofins. (2020a). Dermatest ocular irritextion results sample T16 (15 wt %), 2020-07-15.

Eurofins. (2020b). Dermatest cermal irritation results sample T16 (15 wt %), 2020-06-23.

Eurofins Ecotoxicologie France. (2020a). Growth inhibition of algae population with a sample referenced as "FSI Defend". Test report no 20FER6-1075 V2 2020-11-27.

Eurofins Ecotoxicologie France. (2020b). Daphnids acute immobilisation test with a sample referenced as "FSI Defend". Test report no 20FER6-1074 v2 2020-11-19.

Eurofins Ecotoxicologie France. (2020c). Luminiscense inhibition test on marine bacteria on a sample referenced "FSI Defend". Analyse report no 20FEr6-1076 V2 2020-11-19.

Flame Security International. (2020a). Ramboll and MSB Questions and FSI and UNSW Answers.

Flame Security International. (2020b). Analysis of APP.

Flame Security International. (2020c). Safety data sheet FSI Defend.

Fredriksson E. (2021). Decadal effects of forest fire on biodiversity and browsing. A comparison between wildfire and prescribed burning. Doctoral thesis, SLU Umeå 2021.

Gould, J. S. (2000). Assessment of the effectiveness and environmental risk of the use of retardants to assist in wildfire control in Victoria, Melbourne: Fire Management, Dept. of Natural Resources & Enviroment, Melbourne.

Kärrman, A., Bjurlid, F., Hagberg, J., Ricklund, N., Larsson, M., Stubbleski, J., & Hollert, H. (2016). Study of environmental and human health impacts of firefighting agents.

Lindgren, M. (2016). Kartläggning av tillsatsmedel vid släckinsats med skärsläckare Cobra. Examensarbete vid brandingenjörsprogrammet, Luleå tekniska universitet.

Lindgren, T., Palmkvist, K., & Bergh, U. (2018). Dokumentation X-fog inblandning Hammarstrand skogsbränder.

Liodakis, S. K., Katsigiannis, G., & Lympelopoulou, T. (2007). Ash properties of *Pinus halepensis* needles treated with diammonium phosphate.

Little E. E. och R. D. Calfee. (2002). Environmental Implications of Fire-Retardant Chemicals. Report to US Forest Service, June 2002.

Lönnermark, A. Andersson-Sköld, Y. Axelsson, J. Haeger-Eugensson, M. Palm Cousins, A. Rosén, B. (2007). Emissioner från bränder, metoder, modeller och mätningar. ISBN 978-91-7253-.

Mengmei, Z., Bueckens, A., & Li, X. (2016). Dioxins from Biomass Combustion: An Overview.

MSB. (2020). Lagen om skydd mot olyckor och miljöbalken. Rätts-PM, 2020-05-14. MSB 2020-07907.

Naturvårdsverket. (2006). Dokumentation av de svenska nationalparkerna, nr 20. Branden i Tyresta 1999, dokumentation av effekterna.

Naturvårdsverket. (2019). Naturvårdsverket information om skogsbränder 2019.

Perimiter solutions. (2015). Safety Datasheet: Phos-Chek ® LC95A.

Pinder, R. W.; Gilliland, A. B.; Dennis, R. L. (2008). Environmental impact of atmospheric NH₃ emissions under present and future conditions in eastern United States. *Geophysical Research Letters*, vol 35, L12808.

Ramboll Sweden AB. (2020). Kunskapssammanställning. Miljöpåverkan från long-term fire retardants - brandretardenter. Reviderad slutversion 2020-06-05.

REACH. (2006). Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). European Commission.

Skogsstyrelsen. (2021). Skogen kan gynnas av brand. Hämtat från <https://www.skogsstyrelsen.se/bruka-skog/skogsskador/skogsbrander/skogen-kan-gynnas-av-brand/>

SLU. (1998). Eutrofieringsbegreppet. Hämtat från <http://info1.ma.slu.se/miljotillst/eutrofiering/Begrepp.ssi>

SLU. (2015). Underlag till bedömningsgrunder för kväve i sjöar och vattendrag. Rapport 2015:12.

SP. (2012). Spray characterization of the cutting extinguisher. SP Arbetsrapport 2012:14.

Thor´s Kemiske Fabrikker AS. (2017). Sikkerhetsdatablad X-fog. 12.06.2017.

Thors Kemiska Fabrikker AS. (2018). Safety data sheet X-fog. 03.05.2018.

Tzamtakis, N., Karma, S., Pappa, A., & Statheropoulos, M. (2006). On-line monitoring of pine needles combustion emissions in the presence of fire retardant using a “thermogravimetry (TG)-bridge/mass spectrometry method”, *Analytica Chimica Acta*, 573-574, 439-444.

US Department of Agricultural Forest Service (USFS). (2017). Long-Term Retardant for Wildland Fire Management.

US Department of Agriculture Forest Service (USFS). (2007). Wildland Fire Chemical Products Toxicity and Environmental Concerns General Information.

Vitargent. (2020). Test Report. Determination of the acute toxicity to zebrafish egg (*Danio rerio*) ISO 15088:2007. Report no VI-R2020239S-1. 2020-11-06.

X-fire AB. (2018). X-Fog Instruktion.

X-Fire AB. (2021). Säkerhetsdatablad: X-Fog.

Örebro universitet. (2021). Miljöeffekter av long-term fire retardants – brandretardenter. MSB1758 – Maj 2021. ISBN 978-91-7927-142-8. MSB.

Muntliga referenser

Anna Kärrman, Örebro universitet, 2020-10-05

Jan Ludt, JLS Consulting AS, 2020-10-08

Richard Qvarfell, X-fire AB, 2020-09-20, 2021-05-31 och 2022-04-28

Tony Overstead, Flame Security, 2020-10-14



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap