



PROGRAM FOR OVERVÅKING AV FISKEFÔR

Årsrapport for prøver innsamlet i 2022



Tittel (norsk og engelsk):

Program for overvåking av fiskefôr
Monitoring program for fish feed

Undertittel (norsk og engelsk):

Årsrapport for prøver innsamlet i 2022
Annual report for samples collected in 2022

Rapportserie:

Rapport fra havforskningen
ISSN:1893-4536

År - Nr.:

2023-36

Dato:

17.08.2023

Forfatter(e):

Veronika Sele, Marta Silva, , Kristin Hamre, Kaja Skjærven, Marit Espe,
Nina Liland, Kai Kristoffer Lie, Marc Berntssen og Anne-Katrine
Lundebye (HI)

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Gro-Ingunn Hemre Programleder(e):
Livar Frøyland og Robin Ørnsrud

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

15219

Oppdragsgiver(e):

Mattilsynet

Oppdragsgivers referanse:

43389

Program:

Fremtidens havbruk
Trygg og sunn sjømat

Forskningsgruppe(r):

Marin toksikologi
Fôr og ernæring

Antall sider:

38

Samarbeid med

Sammendrag (norsk):

Overvåknings- og kartleggingsprogrammet for fiskefôr utføres på vegne av Mattilsynet. I 2022 fikk Havforskningsinstituttet tilsendt 80 fiskefôr, 13 fiskemel, 2 fiskeproteinkonsentrat, 15 vegetabiliske mel, 3 insektmel, 10 fiskeoljer, 9 vegetabiliske oljer og 15 premikser (mineral og vitamin) fra kommersielle produsenter av fiskefôrblandinger i Norge. Årets undersøkelser har fokusert på næringsinnholdet i fiskefôr, og å undersøke om fôrene dekker behovet av næringsstoffer til fisk i ulike livsstadier. Det ankom 16 startfôr, 26 smoltfôr og 37 vekstfôr for salmonider (hovedsakelig laks), som ble undersøkt for en rekke næringsstoffer, inkludert vitaminer, fettsyrer og aminosyrer. I tillegg ble fôr og fôrmidler undersøkt for flere uønskede stoffer, mikrobiologisk kvalitet og tilsetningsstoffer.

Resultatene fra årets analyser av uønskede stoffer viser ingen overskridelser av øvre grenseverdier satt i regelverket for uønskede organiske eller uorganiske stoffer, men to prøver av fiskemel hadde nivå av kadmium opp mot grenseverdi. Analyser av mikrobiologisk kvalitet viser ingen overskridelser av grenseverdi for bakterien *Enterobacteriaceae* eller *Salmonella*. Det ble analysert for en rekke uønskede stoffer der det ikke er etablert øvre grenseverdier i fôr eller fôrmidler, blant annet perfluorerte forbindelser (PFAS) som ble detektert i noen prøver av fiskemel, og pesticider der stoffene pirimifos-metyl, klorpyrifos-methyl, glufosinat, og glyfosat og AMPA ble detektert i fullfôr.

Næringsstoffer ble undersøkt i fôr til ulike livsstadier til salmonider. Flere av fôrene undersøkt i 2022 inneholdt mineralene selen, sink, molybden, mangan og jern over grensen for det høyeste tillatte innhold, gitt i regelverket for tilsetningsstoffer for fôr. Resultater for makromineraler i noen av fôrene kan tyde på lave nivåer av fosfor som kan ha betydning for fiskens helse. For vitamin E og vitamin C var det høye konsentrasjoner i noen av fôrene sammenlignet med behovsestimatene. For B-vitaminene viste resultatene en stor spredning i konsentrasjoner, der enkelte fôr hadde lave konsentrasjoner av vitamin B12 mens andre fôr hadde høye konsentrasjoner av vitamin B6 sammenlignet med nyere behovsestimater. For aminosyrene histidin og metionin ble det registrert lave konsentrasjoner i noen av fôrene sammenlignet med behovsestimater. Resultatene for fettsyrene viste at ratioen mellom EPA og DHA lå ganske stabilt på rundt 1,0 i alle fôrene undersøkt.

Generelt viste resultatene at de fleste fôrene inneholdt næringsstoffer over behovsestimatene, samtidig som det ble registrert en relativ stor spredning i konsentrasjoner av flere mineraler og vitaminer både mellom fôrtyper og innad fôrtyper.

Sammendrag (engelsk):

This annual monitoring program is performed on behalf of the Norwegian Food Safety Authority. In 2022, samples of 80 fish feeds, 13 fishmeals, two fish protein concentrates, 15 plant meals, 3 insect meals, 10 fish oils, 9 plant oils and 15 mineral- and vitamin premixes were analyzed for illegal substances, undesirable substances, feed additives and nutrients.

The results from 2022 shows no exceedance of the maximum limits for either organic or inorganic contaminants, but two samples of fishmeal contained levels of cadmium close to the maximum level (ML). Samples were analysed for a range of undesirable substances, including perfluorinated compounds and pesticides, to document the occurrence in samples of fish feed and feed materials where MLs are not established.

This year monitoring program has focused on the levels of nutrients in fish feed. Fish feed from different life stages of salmonid fish (mainly for Atlantic salmon), including feed of category starter feeds (n=16), smolt feeds (n=26) and grower feeds (n=37) were analysed for a range of minerals, vitamins, amino acids and fatty acids. Several of the feeds analysed in 2022 had concentrations of the trace elements selenium, zinc, molybdenum and iron over the upper limit, given in legislation for feed additives. The results for the minerals showed low concentrations of phosphorous compared to the requirement in some of the feeds. For vitamin E and C, high concentrations were noticed for some of the feeds, whereas for the B-vitamins and the amino acids, some feeds were low (vitamin B12) whereas others high (vitamin B6) in concentrations compared to the more recent requirement levels. The results for the fatty acids showed a relatively consistent ratio between EPA and DHA.

Overall, the results for the nutrients showed that most of the feeds contained levels of minerals, vitamins and amino acids within the requirement levels for salmon. However, it was noticed relatively large variations in the concentrations of many of the vitamins and minerals, both between feed categories and within feed categories.

Innhold

Bakgrunn	6
Resultater og diskusjon	7
Prosesserte animalske proteiner	7
Mikrobiologisk kvalitet og toksiner	7
Mikrobiologiske analyser	7
Mykotoksiner	7
Uønskede stoffer	7
Metaller	7
PCB og dioksiner	8
Klorerte pesticider	8
Pesticider og ugressmidler	8
Bromerte flammehemmere	8
Perfluorente forbindelser (PFAS)	9
Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)	9
Syntetiske tilsetningsstoffer	9
Næringsstoffer	10
Sporelementer	10
Mineraler	10
Proteininnhold og aminosyreprofil	11
Vitamin E, C, A og K	11
B-vitaminer	12
Fettinnhold og fettsyresammensetning	13
Fôr til andre fiskearter	13
Tabeller og figurer	14
Tabell 1. Mykotoksiner	14
Tabell 2. Mykotoksiner - Beauvericin og Enniatin	15
Tabell 3. Metaller	15
Tabell 4. PCB	17
Tabell 5. Dioksiner, dl-PCB og sum TEQ	18
Tabell 6. Klorerte pesticider	19
Tabell 7. DDT	20
Tabell 8. Pesticider og ugressmidler	21
Tabell 9. PBDE	22
Tabell 10. HBCD og TBBP-A	23
Tabell 11. PFAS	23
Tabell 12. PAH	24
Tabell 13. Syntetiske tilsetningsstoffer	25
Tabell 14. Sporelementer	26
Tabell 15. Sporelementer i fôr til ulike livsstadier	27
Figur 1. Selen og sink i fôrtyper.	28
Tabell 16. Makromineraler	28
Tabell 17. Protein og aminosyrer	29
Tabell 18. Vitamin A, C, E og K	30
Tabell 19. B-vitaminer	30
Figur 2. B-vitaminer i fôrtyper.	31
Tabell 20. Fettsyrer	31

<i>Tabell 21. Fôr til andre fiskearter</i>	32
Konklusjon	34
Referanser	35

Bakgrunn

Overvåknings- og kartleggingsprogrammet for fiskefôr utføres på vegne av Mattilsynet som en del av Norges oppfølging av nasjonalt og Europeisk regelverk på dyrefôr. Programmet gjennomføres for å få et situasjonsbilde av fôrområdet med hensyn på potensielle risikofaktorer for folkehelse, dyrehelse og miljø. Programmet har blitt gjennomført årlig siden 1996.

I 2022 fikk HI tilsendt 80 fiskefôr, 13 fiskemel, 2 fiskeproteinkonsentrat (FPC), 15 vegetabiliske mel, 3 insektmel, 10 fiskeoljer, 9 vegetabiliske oljer og 15 premikser (vitamin- og mineral premikser) i dette programmet. Av fullfôrene var 16 startfôr, 26 smoltfôr og 37 vekstfôr tiltenkt salmonider, hovedsakelig laks. Ett av fullfôrene som ankom var tiltenkt fiskearten rognkjeks. Prøvene ble analysert for en rekke uønskede stoffer, tilsetningsstoffer og næringsstoffer. Resultatene for FPC har for alle stoffgrupper, med unntak av mineraler, blitt sammenstilt med fiskemel i tabellene. Fôret for rognkjeks ble ikke tatt med i tabellene, og blir beskrevet i eget avsnitt og tabell i rapporten.

Dataene som framkommer i dette programmet rapporteres fortløpende med elektronisk analysebevis til Mattilsynet. Ved funn av verdier som overstiger grenseverdiene blir Mattilsynet varslet gjennom et eget varslingsystem. I tillegg rapporteres data på fremmedstoff fra dette programmet årlig til det Europeiske mattrygghetsorganet European Food Safety Authority (EFSA).

Prøvene blir tatt ut fra registrerte virksomheter som produserer fôrblandinger til fisk i Norge. Virksomhetene har ulik geografisk plassering, og prøvene blir tatt på ulike tidspunkt av året. Mattilsynet er ansvarlig for uttak av prøvene, og det er Mattilsynets hovedkontor som utarbeider en årlig prøvetakningsplan. Målet er å få et representativt utvalg av fiskefôr (fullfôr) og fôringredienser (fôrmidler) benyttet i norsk fiskefôrproduksjon. I 2022 ble det tatt prøver fra Cargill/Ewos, Skretting AS, Biomar AS, Polarfeed og Mowi ASA. Dataene rapportertes anonymisert med tanke på fôrprodusent.

Prøvene blir tatt av Mattilsynets inspektører og sendt til Havforskningsinstituttet (HI). Ved mottak hos HI blir prøvene registrert og anonymisert før analyse. Laboratoriene ved HI er akkreditert av [Norsk akkreditering](#) etter standarden ISO-EN 17025 for en rekke kjemiske og mikrobiologiske metoder. HI er nasjonalt referanselaboratorium ([NRL](#)) for flere av områdene. Det blir benyttet underleverandør for noen av analysene, der laboratoriet som benyttes er også akkreditert etter ISO-EN 17025.

Noen av resultatene i denne rapporten er gitt som er «<LOQ», som vil si at konsentrasjonene er under kvantifiseringsgrensen for metoden (LOQ; «limit of Quantification»). LOQ er den konsentrasjonene av et stoff man kan kvantifisere med en gitt måleusikkerhet, og avhenger blant annet av prøvetype. For å kunne ta med disse prøvene i beregningene av gjennomsnitt eller summer blir konsentrasjoner som «<LOQ» satt lik LOQ-nivået. Dette prinsippet kalles «upper-bound LOQ» og er standard prosedyre ved beregning av sum dioksiner [1, 2]. Den reelle konsentrasjonen, som ikke er kvantifiserbar, vil være mellom null og LOQ. I denne rapporten brukes «upper-bound» prinsippet for utregning av gjennomsnitt for alle stoffgrupper, med unntak av noen stoffgrupper (mykotoxiner og PFAS) der dette er presisert i tabellene. For disse analytter benyttes «lower-bound LOQ» for beregning av summer og gjennomsnitt, der konsentrasjoner som er «<LOQ» blir satt lik null.

Resultater og diskusjon

Prosesserte animalske proteiner

Forbudte prosesserte animalske proteiner (PAP), dvs mel av kjøtt, bein og innmat fra drøvtyggere ble undersøkt i 13 fiskemel, 2 fiskeproteinkonsentrat (FPC) og 10 premikser (vitamin- og vitamin og mineral premikser) i 2022. I én vitaminpremijs ble det påvist DNA av drøvtyggere ved bruk av qPCR metoden, men det ble ikke påvist PAP ved bruk av lysmikroskopi-metoden på samme prøve.

Mikrobiologisk kvalitet og toksiner

Mikrobiologiske analyser

Bakteriene *Enterobacteriaceae* og *Salmonella* ble undersøkt i 13 fiskemel, 2 FPC og 3 insektmel. I tillegg ble *Salmonella* også ble undersøkt i 15 vegetabiliske mel. Det var noen utslag over påvisningsgrensene (LOQ) for *Enterobacteriaceae*, med nivåer fra 30 til 100 CFU/g i fiskemel. Det ble ikke påvist *Salmonella* i noen av prøvene undersøkt i 2022.

Mykotoksiner

Mykotoksiner ble undersøkt i 20 fiskefôr (alle vekstfôr), 15 vegetabiliske mel, 3 insektmel og 9 vegetabiliske oljer. Totalt 20 forskjellige mykotoksiner ble analysert i vekstfôr og formidler (Tabell 1), mens i vegetabiliske oljer ble kun de fem mest lipofile mykotoksinene analysert (Tabell 2). Resultater for mykotoksiner viste ingen overskridelser av grenseverdier eller referanseverdier i prøvene fra 2022. EnniatinB ble funnet i nivåer over LOQ for de fleste fiskefôr (60% av prøvene), med konsentrasjoner opp til 43 mg/kg (Tabell 2). En av de vegetabiliske fôrmidlene inneholdt relativt høy konsentrasjon av beauvericin (530 µg/kg). Tilsvarende nivå er observert i enkelte prøver av hvetegluten tidligere [3]. Alle prøver av vegetabiliske oljer inneholdt EnniatinB, med konsentrasjoner fra 14 til 87 µg/kg. Det er ikke etablert grenseverdi eller referanseverdi for enniatiner i fôr eller fôrmidler, men studier på laks viser at de øvre nivåene av enniatin B i laksefôr kan utgjøre en risiko for redusert vekst [4]. Trenden i fiskefôr har vist at enniatin B er mest forekommende etterfulgt av deoxynivalenol (DON) zearalenone (ZEN) og fumonisin (FUM) [3]. Resultatene for mykotoksiner i årets undersøkelse er lik tidligere års undersøkelser av fiskefôr [5], der EnniatinB og DON var over LOQ, mens ingen fullfôr inneholdt ZEN og FUM over LOQ.

Uønskede stoffer

Metaller

Uorganiske metaller, inkludert arsen (As), kadmium (Cd), kvikksølv (Hg), bly (Pb) og nikkel (Ni) ble målt i 80 fullfôr, 13 fiskemel og 2 FPC (presentert sammen med fiskemel), og 7 mineralpremijs i 2022 (Tabell 3). I fullfôr varierte nivåene av As fra 0,99 til 7,5 mg/kg, Hg fra <0,006 til 0,11 mg/kg, Cd fra 0,04 til 0,83 mg/kg, Pb fra 0,02 til 0,14 mg/kg og Ni fra 0,30 til 3,85 mg/kg. Uorganisk arsen og metylkvikksølv ble undersøkt i et utvalg fôrprøver (Tabell 3). Uorganisk As utgjør opp til 5% av total mengde As, mens metylkvikksølv utgjør over 70% av Hg i alle fôr analysert, med unntak av ett fôr der 30% av Hg var i form av metylkvikksølv. I 2022 var det to prøver av fiskemel som hadde konsentrasjoner av Cd på 2,0 og 2,2 mg/kg. Grenseverdien for Cd er 2 mg/kg for fiskemel. Måleusikkerheten til metoden skal medregnes for vurdering av resultater, og med måleusikkerheten medberegnet ble ikke prøvene ansett som overskridende («non-compliant»). I insektmel

var konsentrasjonene av metaller sammenlignbar med tidligere år, med et snitt av Cd på 0,7 mg/kg, Pb på 0,3 mg/kg, Hg under LOQ og As på 0,05 mg/kg (Tabell 3). Uorganisk arsen står for over 60% av total As i insektmel.

PCB og dioksiner

Uønskede organiske stoffer, inkludert dioksiner (sum PCDD/PCDF), dioksinlignende (dl)-PCB, samt seks ikke-dioksinlignende PCB (sum PCB6) ble undersøkt i 20 fullfôr, 13 fiskemel, 2 FPC og 10 fiskeoljer i 2022 (Tabell 4 og Tabell 5). I fullfôr varierte nivåene av dioksiner fra 0,1 til 0,4 ng TEQ/kg, og nivåene av sum dioksin og dl-PCB fra 0,3 til 0,7 ng TEQ/kg, som er under de øvre grenseverdiene på henholdsvis 1,75 ng TEQ/kg og 5,5 ng TEQ/kg (Tabell 5). For fiskemel og fiskeolje var også nivåene under øvre grenseverdier for dioksiner og sum dioksiner og dl-PCB. I fullfôr varierte nivåene av sum PCB6 mellom 1,4 og 5,5 µg/kg (Tabell 4), med en gjennomsnittskonsentrasjon på 3,1 µg/kg, som var tilsvarende snittet i tidligere år [5]. Alle prøver var under øvre grenseverdi for Sum PCB6 i fullfôr som er 40 µg/kg. Gjennomsnittsnivåene av Sum PCB6 i fiskemel og i fiskeolje var 3,4 og 13,5 µg/kg. Resultater var betydelig lavere enn øvre grenseverdien på 30 µg/kg i fiskemel og 175 µg/kg i fiskeoljer (Tabell 4). Det pågår en diskusjon i EU om å redusere øvre grenseverdier for dioksin og sum dioksin og dl-PCB i både fôr og mat. Bakgrunnen for dette er at EFSA innførte en reduksjon av tolerabelt ukentlig inntak for disse stoffene i 2018 [6].

Klorerte pesticider

Klorerte pesticider inkludert dieldrin/aldrin, toksafen, klordan, endosulfan, HCB, HCH og DDT ble undersøkt i 20 fullfôr (vekstfôr), 13 fiskemel, 2 FPC og 10 fiskeoljer i 2022 (Tabell 6 og 7). Klorerte pesticider som for eksempel DDT som er svært persistente miljøgifter. Fiskefôr inneholdt et snitt for sum dieldrin/aldrin, sum endosulfan, sum toksafen, sum klordan, sum heptaklor, sum HCH, HCB og sum DDT på henholdsvis 1,5 µg/kg, 1,8 µg/kg, 4,2 µg/kg, 1,6 µg/kg, 1,0 µg/kg, 1,9 µg/kg, 1,4 µg/kg (Tabell 6) og 5,3 µg/kg (Tabell 7). Nivåene for disse persistente organiske miljøgiftene var tilnærmet lik nivåer sett i fullfôr undersøkt tidligere år i dette programmet [5]. Alle analyseresultatene var under de øvre grenseverdiene for klorerte pesticider i fullfôr.

Pesticider og ugressmidler

Ikke-klorerte pesticider, som per i dag blir brukt på planteprodukter, ble undersøkt i 20 fullfôr (vekstfôr), 10 vegetabiliske mel, 10 vegetabiliske oljer og 3 insektmel i 2022. For de screenede pesticider ble følgende fem pesticider detektert med konsentrasjoner over LOQ i fullfôrene: pirimifos-metyl, malathion, klorpyrifos-metyl, glufosinat og glyfosat og dens nedbrytningsprodukt amino-metyl-fosfonsyre (AMPA) (Tabell 8). I de vegetabiliske oljene undersøkt i 2022 ble pirimifos-metyl, klorpyrifos-etyl, malathion, boscalid og cypermetrin detektert over med nivå over LOQ (Tabell 8). Det er første gang det rapporteres data på cypermetrin i dette programmet, og resultatene viser at 3 av 9 undersøkte vegetabiliske oljer hadde nivå over LOQ (Tabell 8). Det finnes per i dag ikke spesifikke MRL (maximum residue level) for pesticider i fôrmidler eller fullfôr. Det finnes MRL for pesticider i råvarer og matprodukter, men ikke for sjømat. Det er etablert MRL for boscalid (1,0 mg/kg), malathion (0,02 mg/kg), pirimifos-metyl (0,5 mg/kg) i oljefrø av raps. En prøve av vegetabilisk olje hadde konsentrasjoner av malathion over MRL i oljefrø. Fornyelsen av autorisasjonen for klorpyrifos og klorpyrifos-metyl ble ikke godkjent i [EU i 2020](#). Det ble detektert klorpyrifos i én oljeprøve og én fiskefôrprøve i 2022.

Ugressmiddelet glyfosat ble påvist i alle fôrene undersøkt, med konsentrasjoner fra 0,02 til 0,25 mg/kg. Flere av de vegetabiliske fôrmidlene og insektmelene undersøkt i 2022 hadde også nivå av glyfosat og AMPA over LOQ (Tabell 8). Helseeffektene av glyfosat på laks er ikke fullt kjent, men noen studier tyder på at det kan ha negative påvirkninger på nyre- og leverfunksjonen til fisken etter eksponering via vann [7, 8].

Bromerte flammehemmere

Bromerte flammehemmere (PBDE), HBCD og TBBP-A ble undersøkt i 20 fullfôr, 13 fiskemel, 2 FPC og 10 fiskeoljer i 2022 (Tabell 9 og 10). Det er åtte PBDEer som av EFSA er definert som særlig interessante med tanke på mattrygghet [9]. Disse er BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 og -209. I tidligere overvåking har de syv første av disse blitt slått sammen til sum PBDE7, mens BDE 209 først ble inkludert i fôrovervåkingen i 2021. For å kunne sammenligne mellom årene blir PBDE 7 presentert i denne rapporten. Snitt for sum PBDE 7 var 0,3 µg/kg i fullfôr, 0,38 µg/kg i fiskemel og 1,29 µg/kg i fiskeolje (Tabell 9), og dette er tilnærmet samme konsentrasjonsområde som i prøver undersøkt i 2021 [5]. Det er ikke etablert øvre grenseverdier for PBDE i fôr og fôrmidler.

HBCD ble funnet over LOQ i de fleste prøver av fullfôr, fiskemel og fiskeolje, hovedsakelig som α -HBCD (Tabell 10). HBCD kan overføres fra fôr til fisk, men EFSA konkluderte i 2021 at nivået i mat ikke utgjør en helserisiko [9]. Tetrabromobisfenol-A (TBBP-A) ble ikke påvist i fiskemel og kun i én av de undersøkte fiskeoljene, mens 40% av fiskefôrene inneholdt TBBP-A med nivåer fra 0,04 til 1,23 µg/kg. Det har ikke blitt undersøkt TBBP-A i vegetabiliske fôrmidler.

Perfluoreerte forbindelser (PFAS)

Perfluoreerte forbindelser (PFAS) ble undersøkt i 20 fullfôr (vekstfôr) og 13 fiskemel i 2022. Resultatene viste at de fleste prøver har konsentrasjoner av PFAS under metodens LOQ (Tabell 11). I fiskefôr var det kun forbindelsen PFDS som var over LOQ, mens i noen av fiskemelene var forbindelsene PFOS, PFDA, PFNA og PFUdA i konsentrasjoner over LOQ. Forbindelsene PFOS og PFDA var i konsentrasjoner over LOQ i 5 av 13 fiskemel, med konsentrasjoner fra henholdsvis 1,4 til 2,0 µg/kg og fra 0,2 til 0,7 µg/kg (Tabell 11). Det ble etablert øvre grenseverdi for PFAS i mat og sjømat-produkter i januar 2022, og dette har ført til mye fokus på denne gruppe uønskede stoffer både i EU og i Norge. I mat er den øvre grenseverdien satt for sum av fire PFAS (forbindelsene PFOS, PFOA, PFOSA og PFHxS) på 1,4 µg/kg. Det er ikke etablert øvre grenseverdier for fôr eller fôrmidler, men det kan forventes å komme. I Danmark har det blitt rapportert om PFAS i økologiske egg, som ble sporet til bruk av fiskemel i fôret til hønsen [10]. Studier har vist at ulike fiskeslag kan ha ulike konsentrasjoner av PFAS [11], og dette kan resultere i variasjoner i forbindelsene i fiskemel.

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

Prosesskontaminantene polyaromatiske hydrokarboner (PAH) ble undersøkt i 20 fullfôr (vekstfôr), 15 vegetabiliske fôrmidler og 9 vegetabiliske oljer i 2022 (Tabell 12). Konsentrasjonene for sum PAH4 var fra 1,1 til 2,7 µg/kg i fôr, fra 0,3 til 4,8 µg/kg i vegetabiliske fôrmidler og fra 3,8 til 11,0 µg/kg i vegetabiliske oljer. Nivåene var sammenlignbare med konsentrasjonene målt i 2020 og 2021.

Syntetiske tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffet og antioksidant ethoxyquin (EQ) og hovednedbrytningssproduktet ethoxyquin-dimer (EQDM) ble undersøkt i 37 fullfôr, 13 fiskemel, 2 FPC og 15 vegetabiliske fôrmidler i 2022 (Tabell 13). Bruken av EQ som tilsetningsstoff ble faset ut i EU og i Norge 31. mars 2020. Analyser av fullfôr i 2022 viste at EQ var over LOQ i to av 80 fullfôr undersøkt, med konsentrasjoner fra 0,01 til 0,04 mg/kg. Ingen av de undersøkte prøvene inneholdt EQDM over LOQ. Antallet prøver med konsentrasjoner over LOQ er færre i 2022 sammenlignet med 2021 (20 av 80 prøver), og konsentrasjonsnivåene av EQ i fullfôrene er lavere enn i årene hvor EQ var lov å bruke. Nivåer som ble funnet i fôr i 2022 kan skyldes forurensinger på f.eks. produksjonslinjene, og/eller via transport.

Tilsetningstoffene og antioksidanter butylert hydroksytoluen (BHT), butylert hydroksyanisol (BHA) og

propylgallat ble undersøkt i 80 fullfôr og 13 fiskemel og 2 FPC, i tillegg til at BHA ble også undersøkt i 9 fiskeoljer (Tabell 13). Nivåene av BHA og BHT var i samme konsentrasjonsområde som i 2019 og 2020, og propylgallat var under LOQ for alle fullfôr, i likhet med tidligere undersøkelser. I 2021 ble fiskemel analysert for BHA, BHT og propylgallat. Flere av fiskemelene hadde nivå av BHA, BHT og propylgallat over LOQ, med variasjoner i konsentrasjonsnivå, fra 0,11 til 110 mg/kg av BHA (n=6), fra 0,40 til 400 mg/kg av BHT (n= 4) og fra 116 til 292 mg/kg (n=2) av propylgallat. Resultatene tyder på at disse antioksidantene blir tilsatt i fiskemel, i varierende grad. BHA var over LOQ i 6 av de 9 undersøkte fiskeoljene, men med relativt lave konsentrasjoner (fra 0,37 til 8,8 mg/kg). Det er ingen grense for høyeste tillatte innhold av BHT eller BHA i fôrmidler.

Næringsstoffer

Sporelementer

Sporelementer ble analysert i 80 fullfôr, 13 fiskemel, 2 FPC, 3 insektmel og 7 mineralpremikser i 2022 (Tabell 14). Av fullfôrene var 16 startfôr, 26 smoltfôr og 37 vekstfôr (Tabell 15). De essensielle sporelementene er regulert som [tilsetningsstoffer i EU](#) med grenser for det høyeste tillatte innhold i fôr, som gjelder når stoffet er tilsatt. Det høyeste tillatte innhold for selen (Se) er 0,5 mg/kg, molybden (Mo) er 2,5 mg/kg, mangan (Mn) er 100 mg/kg, sink (Zn) er 180 mg/kg, og jern (Fe) er 750 mg/kg for fôr til salmonider. Flere av fôrene undersøkt i 2022 var over denne grensen for Se (82% av fôrene), Zn (28% av fôrene), Mo (18% av fôrene), Mn (1% av fôrene) og Fe (1% av fôrene). Dette har også har blitt observert tidligere år i dette programmet for Se, Zn og Mo [5].

Konsentrasjonene av Se var høyere i smoltfôr (snitt på 0,96 mg/kg) enn startfôr (snitt på 0,79 mg/kg) og vekstfôr (snitt på 0,64 mg/kg) (Tabell 15, Figur 1). For Zn var konsentrasjonen høyere i startfôr (snitt på 184 mg/kg) enn smoltfôr (snitt på 166 mg/kg) og vekstfôr (164 mg/kg). Det var flest startfôr (50% av fôrene) som oversteg grensen for høyeste tillatte innhold av Zn, på 180 mg/kg, sammenlignet med smoltfôr (27%) og vekstfôr (19%). Sink og Se i fiskefôr kommer fra både fôrmidler og premikser, og det er vanligvis fiskemel som bidrar med mest Se (Tabell 14). Både Zn og Se detekteres i premikser (Tabell 14). Et fôrmiddel merket som FPC hadde veldig høyt innhold av Zn (570 mg/kg våtvekt) og Cu (20 mg/kg våtvekt), som var ca. 15 og 10 ganger høyere enn andre fiskemel eller FPC på tørrvekt basis. Sporelementene Zn og Se er begrensende i plantebaserte fôr, særlig smolt og post-smolt faser [12, 13]. Behovet for Se til post-smolt laks fôret på plantbasert fôr er estimert å være 0,65 mg/kg [13], og studier har vist at nivåer av Zn og Se henholdsvis under 180 mg/kg og 0,65 mg/kg kan påvirke laksens helse negativt [12, 13].

Konsentrasjon av Mn i 6 av fullfôrene (2 startfôr, 3 smoltfôr og 1 vekstfôr) var lavere enn behovet, som er estimert å være 26 til 34 mg/kg til post-smolt laks fôret på plantebasert fôr [14]. Ett fôr (vekstfôr, 120 mg/kg) var høyere i konsentrasjon av Mn enn det høyeste tillatte innhold for Mn på 100 mg/kg. Jern (Fe), kobber (Cu), kobolt (Co) og jod (I)- nivåene i alle fôrene var over minstebehovet til laks, samt var under grensene for høyeste tillatte innhold, med unntak av ett startfôr som hadde en konsentrasjon av Fe på 830 mg/kg.

Mineraler

Makromineralene fosfor (P), kalsium (Ca) og magnesium (Mg) og elektrolytter natrium (Na), kalium (K) og klorid (Cl) ble analysert i 16 startfôr, 26 smoltfôr og 37 vekstfôr (Tabell 16). For makromineralene P, Ca og Mg var snittet høyest i startfôr, deretter smoltfôr, mens vekstfôr hadde lavest konsentrasjonsnivå (Tabell 16). Konsentrasjon av P variert fra 8,6 til 17 g/kg i startfôr, fra 10 til 27 g/kg i smoltfôr og fra 7,6 til 20 mg/kg i vekstfôr. Behovet for P til laks er estimert å være minimum 8 g/kg biotilgjengelig P [15, 16]. Generelt vil ikke alt P i dagens laksefôr bli regnet som biotilgjengelig. Basert på dette kan noen av fôrene, spesielt smoltfôr, ha konsentrasjon av P som er ugunstig i forhold til beinshelse i sjøvannsfase [16-18]. Det er ingen behovsestimater

for Ca nivå i fôr til fisk [15], men Ca:P kan ha betydning for beinmineralisering. Ratioen for Ca:P var lavere i vekstfôr (snitt på 0,7) enn start og smoltfôrene (snitt, 0,9 og 1,0) undersøkt i 2022 (Tabell 16). Nivåene for magnesium (Mg) varierte fra 1,4 til 2,9 g/kg, som var over behov (0,4 - 0,5 mg/kg) for salmonider [15, 19].

Elektrolyttene Na, K og Cl ble analysert i 77 fullfôr og elektrolyttbalansen (dEB) i fôrene ble beregnet ($dEB = Na + K - Cl$, mEq kg⁻¹), som beskrevet av Sauvante *et al.* [20]. Elektrolyttbalansen beskriver likevekten av kationer og anioner i fôret, og som har vist å være viktig i smoltfôr med tanke på utvikling av osmoreguleringskapasitet særlig i tarmen [21]. Resultater viste at dEB variert fra 162 til 445 mEq/kg mellom fôrene, og var lavere i vekstfôr (snitt på 254 mEq/kg) enn startfôr (snitt på 294 mEq/kg) og smoltfôrene (snitt på 311 mEq/kg) (Tabell 16). Elektrolyttbalansen var innen det normale nivå for fôr til laks og andre fiskearter [21, 22].

Proteininnhold og aminosyreprofil

Proteininnholdet ble bestemt i 10 startfôr, 10 smoltfôr og 10 vekstfôr i 2022. Proteininnholdet var lavest i vekstfôrene, med et snitt på 38 g/100g fôr, mens i startfôrene og smoltfôrene var snittet på henholdsvis 47 g/100g fôr og 45 g/100g fôr (Tabell 17).

Aminosyreprofilen ble bestemt i 15 fullfôr i 2022, der 5 var startfôr, 5 smoltfôr og 5 vekstfôr for salmonider. Resultatene for aminosyreprofil i fôrene (Tabell 17) var i henhold til behovestimatene for de ulike livsstadier [15]. Det er vanlig at vekstfôr har noe lavere konsentrasjoner enn startfôr og smoltfôr for enkelte aminosyrer. Det må bemerkes at histidin i et startfôr og et smoltfôr var under anbefalt behov for å hindre katarakt. For å ikke utvikle eller redusere faren for katarakt er det anbefalt at fiskefôret bør ha minimum 14 ± 4 g/kg histidin i fiskefôr [23]. I vekstfôrene var histidin under 10 mg/kg for alle de analyserte fôrene. Nivåene av metionin var i området som anbefales for optimal vekst. Studier har vist at pre- og post-smolt som får 9 g metionin/kg fôr viser best tilvekst sammenlignet med både lavere og høyere innblanding [24]. Enkelte av vekstfôrene som ble undersøkt ligger helt på den nedre behovsnivå for metionin. Det presiseres at det er utført få målinger.

Vitamin E, C, A og K

Vitamin A, C og E ble analysert i 16 startfôr, 26 smoltfôr og 25 vekstfôr i 2022. Resultatene viser stor variasjon i vitamin C og E mellom enkeltfôr i de ulike livsstadier (Tabell 18). For vitamin E, har α -tocopherol den største biologiske aktivitet og derfor er hovedformen vurdert. Gjennomsnittet av α -tocopherol var 373 mg/kg i startfôr, 385 mg/kg i smoltfôr og 340 mg/kg i vekstfôr. Alle fôrtypene hadde en spredning i konsentrasjoner av α -tocopherol fra rundt 200 til over 600 mg/kg (Tabell 18). For vitamin C var snittet 491 mg/kg i startfôr, 661 mg/kg i smoltfôr og 392 mg/kg i vekstfôr. Også for vitamin C var det stor spredning innad fôrtyper, og størst i smoltfôr, med variasjon fra 110 mg/kg til 1500 mg/kg (Tabell 18).

Behovene for vitamin C og E ble undersøkt i lakseyngel på 1990- tallet, og ble da satt til henholdsvis 30 og 60 mg/kg [25]. Senere har studier tydet på at behovet er henholdsvis 150 mg/kg for vitamin E og 190 mg/kg vitamin C i hos parr og postsmolt [26]. Det er også funnet at andre næringsstoffer i fôret og endringer i lys og temperatur kan påvirke behovet i stor grad [27, 28]. Dette viser at det å finne behovsnivåene for antioksidant-vitaminer er utfordrende. Det at etoxyquin som antioksidant i fiskemel og fôr er faset ut i EU (Se avsnitt; Tilsetningsstoffer, antioksidanter), og at man ikke har funnet fullgode erstatninger gjør at fôr og fisk blir mer utsatt for oksidasjon, noe som kan føre til økt behov for antioksidanter. Det er imidlertid kjent at både vitamin C og vitamin E kan virke som pro-oksider ved høye konsentrasjoner [29]. Studier har vist at å bruke antioksidanter, som planteekstrakter, kan være gunstig [30], men det er lite forskning som har undersøkt optimale konsentrasjoner av slike typer antioksidanter.

For vitamin A, er vitamin A1 den viktigste formen siden den generelt har størst forekomst i terrestriske dyr og

marine organismer. Resultatene viste en snittverdi for vitamin A1 på 8,7 mg/kg i startfôr, 9,2 i smoltfôr og 5,8 mg/kg i vekstfôr (Tabell 18). Det var relativt stor spredning i vitamin A1 nivåene for alle fôrtypene, men størst for smoltfôr som varierte fra 2,4 til 27 mg/kg. Behovet for vitamin A i stillehavslaks er satt til å være 0,75 mg/kg [15], mens i kveite er 2,5 mg/kg sett som optimalt nivå av vitamin A [31]. Vitamin A er giftig i høye konsentrasjoner og kan bl.a. føre til skjelettdeformasjoner hos fiskelarver (>15 mg/kg) [32]. Vitamin A kan være naturlig høyt i fiskemel og olje, og en viktig utfordring for fôrprodusentene er å holde lave nivå av dette vitaminet. Det er blitt estimert et behovsnivå for vitamin A for laks mellom 3 og 20 mg/kg [15, 31, 33].

Vitamin K er en samlebetegnelse for ulike former, der K1 finnes i planter og K2 i animalske produkter. Vitamin K2 (menakinoner, MK) har mange ulike kjemiske strukturer (MK2, MK3 osv). De naturlige vitamin K forbindelsene følger med fôringrediensene, K1 fra planteoljer og planteprotein, og K2 fra marine ingredienser. Det syntetiske menadion sodium bilsufit (MSB; vitamin K3) brukes vanligvis som fôrtilsetning.

Vitamin K (K1 og K2) ble analysert i 8 startfôr, 10 smoltfôr og 10 vekstfôr, og MSB (vitamin K3) ble analysert i 10 startfôr og 20 smoltfôr i 2022 (Tabell 18). Summen av vitamin K1 og K2 varierte fra 0,14 til 0,39 mg/kg i startfôr, fra 0,20 til 0,47 mg/kg i smoltfôr og fra 0,29 til 0,73 mg/kg i vekstfôr. De høyeste konsentrasjonene av vitamin K1 og K2 var dermed å finne i vekstfôrene. Felles for alle vitamin K forbindelsene er at de er ustabile under produksjon og lagring av fôr [34] og nivåene i ferdig fôr er derfor vanskelige å kontrollere. Hva som er den biologiske aktiviteten til ulike vitamin K forbindelser i fisk er usikkert. Behovet for syntetisk MSB er anslått til mellom 0,1 og 20 mg/kg [15, 34, 35]. MSB kan være toksisk i høye konsentrasjoner. Fôrene undersøkt i 2022 hadde nivåer av MSB mellom 0,36 og 6,2 i startfôr, og mellom 0,04 og 14 mg/kg i smoltfôr. Ingen av nivåene var dermed over 20 mg/kg, mens noen av fôrene hadde muligens for lave konsentrasjoner av syntetisk vitamin K. Dette avhenger blant annet av om konsentrasjonene av vitamin K1 og K2 fra fôringrediensene dekker behovet. Det trengs mer kunnskap om behov og biologisk aktivitet av vitamin K.

B-vitaminer

B-vitaminene folat, vitamin B12, vitamin B6 og vitamin B5 ble undersøkt i 16 startfôr, 26 smoltfôr og 25 vekstfôr i 2022 (Tabell 19). B-vitaminer er en gruppe vannløselige vitaminer som er viktige for energiomsetning, cellevekst og for et velfungerende immunsystem. Anbefalt nivå av B-vitamin i fôr varierer med livsstadium, nivå av andre mikronæringsstoff og fôringredienser. B-vitaminene i fôrprøvene analysert i 2022 viser at konsentrasjonsnivåene ligger over behovene gitt i NRC [15]. Tidligere behovsstudier er i stor grad utført med marine fôringredienser som råvarer og derfor er behovsnivåene som er beskrevet i NRC lavere enn det nyere studier viser når fôret er mer plantebasert [24, 36].

Resultatene for folat i smoltfôr viste et snitt på 7,3 mg/kg, som var høyere enn for både start- og vekstfôr som var på henholdsvis 6,7 og 5,1 mg/kg (Tabell 19). Enkelte fôr var under anbefalt konsentrasjon for smoltifiseringen (4,7 mg/kg) [24], mens de var over anbefaling for parr og post-smolt (3,3 mg/kg) [36]. Enkelte start- og smoltfôr hadde høye konsentrasjoner av folat, over 15 mg/kg. Tidligere fôringsforsøk over smoltifiseringen har vist at folat, metionin, vitamin B6 og B12 hadde positiv effekt på vekst, men at ytterlig tilsetning ikke gav den samme vekstøkning [24].

Vitamin B12 nivåene viste store konsentrasjonsvariasjoner for alle tre fôrtyper (Tabell 19 og Figur 2). Snittet var høyere for start- og smoltfôr, på henholdsvis 0,20 og 0,19 mg/kg, sammenlignet med vekstfôr der snittet var på 0,12 mg/kg (Tabell 19). Gjennomsnittet var rundt anbefalt nivå på 0,17 mg/kg [24, 36], men enkelte fôr viste også konsentrasjoner langt under dette.

For vitamin B6 var gjennomsnittet høyest for startfôr (17 mg/kg), mens noe lavere for smoltfôr (15 mg/kg) og lavest for vekstfôr (13 mg/kg) (Tabell 19 og Figur 2). Gjennomsnittet ligger godt over anbefalte nivå, og enkelte

start- og smoltfôr ligger opp mot 25 mg/kg for vitamin B6, som er godt over anbefalt mengde på 16 mg/kg [36].

I likhet med vitamin B6, var også gjennomsnittet av vitamin B5 (pantoten) høyest i startfôr (69 mg/kg), mens noe lavere i smoltfôr (62 mg/kg) og lavest i vekstfôr (49 mg/kg). Enkelte fôr hadde veldig høyt i konsentrasjonsnivå av vitamin B5 (over 100 mg/kg), mens alle fôr innholdt konsentrasjoner langt over anbefalingen fra NRC [15] som er på 20 mg/kg.

Enkelte B-vitaminer inngår som sirkulerende metabolitter, mens andre fungerer som kofaktorer for enzymer, og nivået av ett B-vitamin kan gi utslag for behovet for andre gjerne i metabolismeveier der flere B-vitaminer inngår. Samlet sett viser resultatene at det er stor variasjon i nivåene av flere av B-vitaminene. Både for lite eller for mye B-vitaminer i fôret kan medføre redusert vekst og helseutfordringer hvis de lave nivåene vedvarer over lengre perioder eller under utfordrende miljøbetingelser. Ny forskning viser også at B-vitaminer sammen med aminosyren metionin har en særlig viktig rolle inn mot epigenetisk genregulering [37], samt har en innvirkning på fettmetabolismen [38] og at innholdet i fôret kan påvirke vekst gjennom proteinsyntese selv ved små endringer i nivå [39].

Fettinnhold og fettsyresammensetning

Fettinnholdet ble bestemt i 16 startfôr, 26 smoltfôr og 37 vekstfôr i 2022. Fettinnholdet var høyest i vekstfôrene, med et snitt på 34 g/100g fôr, mens i startfôrene og smoltfôrene var snittet på henholdsvis 21 g/100g fôr og 25 g/100g fôr (Tabell 20).

Fettsyresammensetningen ble bestemt i 30 fullfôr i 2022. Av disse var 10 i kategorien startfôr, 9 smoltfôr og 11 vekstfôr, derav ett av vekstfôrene et økologisk fôr. Hovedandelen av fett i alle fôrene var enumettet fett (som for eksempel 18:1n-9), som utgjorde henholdsvis 50, 46 og 50% av fettsyrene i startfôr, smoltfôr og vekstfôr (Tabell 20). Mettede fettsyrer var ganske stabile i nivå både mellom og innad i fôrtypene startfôr, smoltfôr og vekstfôr, med snitt henholdsvis 17,7, 20,6 og 16,6% av fettsyrene. Ratio mellom n-3/n-6 nivå i fôrene lå høyere i start-, og smoltfôr (1,6 og 2,7) enn i vekstfôr (1,2). Mengden EPA og DHA i fôrene var også høyere i start-, og smoltfôrene (10,4 og 12,8% av fettsyrene, 20,6, 27,2 mg/kg fôr) enn i vekstfôrene (7,8% av fettsyrene, 23,7 mg/kg fôr). Det laveste nivået av EPA og DHA målt i fôrene lå på 6,3% av fettsyrene. Et økologiske fôr skilte seg ut med både veldig høy n-3/n-6 ratio, på 8,9, samt høye nivåer av EPA og DHA (16,9% av fettsyrene, 43,6 mg/kg), sannsynligvis på grunn av høy innblanding av marine ingredienser. Ratioen mellom EPA og DHA er mistenkt å kunne påvirke helsen til laksen om den blir for ubalansert [40]. Snittverdien for ratioen mellom EPA og DHA lå ganske stabilt på rundt 1,0 i alle fôrene, med de fleste fôrene innenfor 0,7 og 1,3.

Fôr til andre fiskearter

Det ankom ett fôr som var tiltenkt fiskearten rognkjeks (*Cyclopterus lumpus*). Fôret ble analysert for metaller, sporelementer, makromineraler, elektrolytter, vitamin E, vitamin C, B-vitaminer og vitamin K3. Resultatene er presentert i Tabell 21. Fôret oversteg ikke øvre grenseverdier for Cd, Hg, As eller Pb. For sporstoffene merkes at konsentrasjon av Zn var på 166 mg/kg, som var over det høyeste tillate innhold på 150 mg/kg som er satt for andre fiskearter enn salmonider.

Tabeller og figurer

Tabell 1. Mykotoksiner

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) for mykotoksiner (µg/kg) i fullfôr og vegetabilsk fôrmiddel i 2022. Snittverdier er gitt der 20% eller mer av prøvesvarene er over LOQ, snitt gitt som «lower-bound LOQ». Siste rad viser øvre grenseverdi eller anbefalt referanseverdi for mykotoksiner i fullfôr og fôrmidler¹⁻⁴. [Mean and range (min-max) of mycotoxins (µg/kg) in fish feed and plant meal in 2022. Mean is given when 20% or more of the results were over LOQ, using «lower-bound LOQ». The maximum level or recommended guidance values for mycotoxins in feed and feed materials are given in the rows below the results].

Prøver	Aflatoxin B1 (µg/kg)	Deoxynivalenol (DON) (µg/kg)	Fumonisin B1 (FB1) (µg/kg)	Fumonisin B2 (FB2) (µg/kg)	Ocratoxin A (µg/kg)	Zearalenone (ZON) (µg/kg)	Sum T-2 HT-2 toxin (µg/kg)	Alle positive Aflatoxiner (µg/kg)
Fullfôr (n =20)								
Snitt	< LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Min	<1	<20	<200	<200	<1	<10	<20	<4
Maks		38						
Prøver over LOQ	0	3 (15%)	0	0	0	0	0	
Anbefalt referanseverdi ¹⁾	10 ²⁾	2 000 ³⁾	10 000 ⁴⁾	10 000 ⁴⁾	1 000 ¹⁾	1 000 ¹⁾	250	
Vegetabilske fôrmiddel (n=15)								
Snitt	0,24	36	<LOQ	<LOQ	1,1	<LOQ	<LOQ	0,24
Min	<0,10	<20	<20	<20	<0,5	<10	<20	<0,1
Maks	0,50	260	140	150	6,7	48		0,50
Prøver over LOQ	5 (33%)	3 (20%)	1 (7%)	1 (7%)	6 (40%)	1 (7%)	0	5 (33%)
Anbefalt referanseverdi ¹⁾	20 ²⁾	8 000 ³⁾	60 000 ⁴⁾	60 000 ⁴⁾				

¹⁾ Anbefalte referanseverdi i fullfôr for innhold av muggsopp og mykotoksiner i fôrvarer. «Anbefalte grenseverdier for sopp og mykotoksiner i fôrvarer», (Mattilsynet, 13.mars 2019)

²⁾ For aflatoxin er det satt en øvre grenseverdi.

³⁾ Den norske anbefalte grenseverdien for DON er 2 000 µg/kg, EU kommisjonens anbefalte referanseverdi er 5 000 µg/kg. For mais og

maisprodukter er referanseverdien 12 000 µg/kg

⁴⁾ Anbefalte referanseverdi for fullfôr er 10 000 µg/kg (sum av FB1 og FB2), mens for fôrmiddel er den 60 000 µg/kg (sum av FB1 og FB2).

Tabell 2. Mykotoksiner - Beauvericin og Enniatin

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) for beauvericin og enniatin (µg/kg) i fullfôr, vegetabiliske fôrmiddel og vegetabiliske oljer i 2022. Snittverdier er gitt der 20% eller mer av prøvesvarene er over LOQ, gitt som «lower-bound LOQ». [Mean and range (min-max) of beauvericin and enniatin (µg/kg) in fish feed, plant meal and plant oil in 2022. Mean is given when 20% or more of the results are over LOQ, using «lower-bound LOQ»].

Prøver	Beauvericin (µg/kg)	EnniatinA (µg/kg)	EnniatinA1 (µg/kg)	EnniatinB (µg/kg)	EnniatinB1 (µg/kg)
Fullfôr (n=20)					
Snitt	<LOQ	<LOQ	<LOQ	14,1	<LOQ
Min	<10	<10	<10	<10	<10
Maks				43	
Prøver over LOQ	0	0	0	12 (60%)	0
Vegetabiliske fôrmiddel (n=15)					
Snitt	<LOQ	<LOQ	<LOQ	16,7	< LOQ
Min	<10	<10	<10	<10	<10
Maks	540		37	190	36
Prøver over LOQ	2 (13%)	0	1 (7%)	3 (20%)	1 (7%)
Vegetabiliske oljer (n=9)					
Snitt	<LOQ	<LOQ	<LOQ	40,3	3,7
Min	<10	<10	<10	14	<10
Maks				87	36
Prøver over LOQ	0	0	0	9 (100%)	2 (22%)

Tabell 3. Metaller

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av arsen, uorganisk arsen, kadmium, kvikksølv, metylkvikksølv, bly og nikkel (mg/kg) i fullfôr, fiskemel, vegetabiliske fôrmiddel, insektmel og mineralpremikser i 2022. Snitt gitt som «upper-bound LOQ». Øvre grenseverdier er gitt under de analyserte verdiene. [Mean and range (min-max) of arsenic (As), inorganic arsenic (iAs), cadmium (Cd), mercury (Hg), methyl mercury

(MeHg), lead (Pb) and nickel (Ni) (mg/kg) in fish feed, fishmeal, plant protein, insect meal and mineral premixes in 2022. Mean is given using «upper-bound LOQ». The maximum levels are given in the rows below the results].

Prøver	Arsen (As) (mg/kg)	Uorganisk arsen (iAs) (mg/kg)	Kadmium (Cd) (mg/kg)	Kvikksølv (Hg) (mg/kg)	Metylkvikksølv (MeHg) (mg/kg)	Bly (Pb) (mg/kg)	Nikkel (Ni) (mg/kg)
Fullfôr (n=80)							
Snitt	2,7	0,05 ¹⁾	0,16	0,03	0,02 ²⁾	0,05	1,4
Min	1,0	0,009	0,04	<0,006	<0,003	0,02	0,30
Maks	7,5	0,10	0,83	0,11	0,08	0,2	3,9
Prøver over LOQ	80 (100%)	30 (100%)	80 (100%)	75 (94%)	28 (100%)	75 (94%)	76 (95%)
Grenseverdi	10	2 ³⁾	1	0,2	-	5	-
Fiskemel (n=15) ³⁾							
Snitt	5,6	-	0,56	0,10	-	0,05	0,5
Min	0,7	-	0,009	0,02	-	0,02	0,3
Maks	12,1	-	2,2	0,24	-	0,15	1,0
Prøver over LOQ	15 (100%)	-	15 (100%)	13 (87%)	-	5 (33%)	5 (39%)
Grenseverdi	25		2	0,5		10	-
Insektmel (n=3)							
Snitt	0,05	0,03	0,69	<LOQ	<LOQ	0,32	0,5
Min	0,04	0,03	0,64	<0,007	<0,003	0,13	0,1
Maks	0,05	0,04	0,75			0,59	0,8
Prøver over LOQ	3 (100%)	3 (100%)	3 (100%)	0		3 (100%)	3 (100%)
Grenseverdi	2		2	0,1		10	-
Mineralpremikser (n=7)							
Snitt	0,34	-	0,66	<LOQ	-	2,5	14,9
Min	0,20	-	0,08	<0,05	-	0,51	3,2
Maks	0,71	-	1,5		-	5,7	37

Prøver over LOQ	4 (57%)	-	7 (100%)	0	-	7	
Grenseverdi	-		15	-		200	

¹⁾ N=30

²⁾ N=28

³⁾ To av prøvene er fiskeproteinkonsentrat (FPC).

Tabell 4. PCB

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av kongenerne PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153 og PCB-180 og sum PCB6 (µg/kg) i fullfôr, fiskemel og fiskeolje i 2022. Snitt av kongener og sum PCB6 er gitt som «upper-bound LOQ». Øvre grenseverdi er gitt for sum PCB6 (µg/kg). [Mean and range (min-max) of PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153 and PCB-180 and sum PCB6 in fish feed, fishmeal and fish oil in 2022. Mean and sum PCB6 is given using «upper-bound LOQ». The maximum levels are given for sum PCB6 (µg/kg)].

Prøver	PCB-28 (µg/kg)	PCB-52 (µg/kg)	PCB-101 (µg/kg)	PCB-138 (µg/kg)	PCB-153 (µg/kg)	PCB-180 (µg/kg)	Sum PCB6 (µg/kg)
Fullfôr (n=20)							
Snitt	0,1	0,3	0,5	0,7	1,2	0,3	3,1
Min	<0,098	0,2	0,2	0,3	0,5	0,1	1,4
Maks	0,19	0,5	0,9	1,3	2,1	0,5	5,5
Prøver over LOQ	15 (75%)	20 (100%)	20 (100%)	20 (100%)	20 (100%)	20 (100%)	-
Øvre grenseverdi	-	-	-	-	-	-	40
Fiskemel (n=15) ¹⁾							
Snitt	0,1	0,4	0,5	0,8	1,3	0,3	3,4
Min	<0,08	<0,08	<0,05	<0,05	<0,08	0,05	0,4
Maks	0,2	1,3	1,5	2,5	4,1	0,97	10,0
Prøver over LOQ	9 (60%)	11 (73%)	11 (73%)	12 (80%)	12 (80%)	11 (73%)	-
Øvre grenseverdi	-	-	-	-	-	-	30
Fiskeolje (n=10)							
Snitt	0,7	1,7	2,2	3,1	4,8	0,9	13,5
Min	<0,3	<0,3	<0,2	<0,2	<0,3	<0,2	1,3
Maks	1,7	5,1	7,3	11,1	16,9	3,3	43,8
Prøver over LOQ	5 (50%)	5 (50%)	7 (70%)	8 (80%)	8 (80%)	6 (60%)	-

Øvre grenseverdi	-	-	-	-	-	-	175
------------------	---	---	---	---	---	---	-----

¹⁾ To av prøvene er fiskeproteinkonsentrat (FPC).

Tabell 5. Dioksiner, dl-PCB og sum TEQ

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av sum dioksiner (sum PCDD og PCDF), sum dioksinlignende (dl)-PCB og sum dioksiner og dl-PCB i fullfôr, fiskemel og fiskeolje i 2022. Snitt og summer er gitt som «upper-bound LOQ», og gitt i ng TEQ/kg¹⁾. Øvre grenseverdier er gitt under de analyserte verdiene (ng TEQ/kg). [Mean and range (min-max) of sum dioxins (PCDD and PCDF), sum dioxin-like (dl)-PCB and sum dioxins and dl-PCB in fish feed, fishmeal and fish oil in 2022. Mean and sums are given using «upper-bound LOQ» and in ng TEQ/kg. The maximum levels are given in the rows below the results (ng TEQ/kg)].

Prøver	Sum dioksiner (PCDD/PCDF) (ngTEQ/kg)	Sum dl- PCB (ngTEQ/kg) ²⁾	Sum dioksiner og dl-PCB (ngTEQ/kg) ³⁾
Fullfôr (n=20)			
Snitt	0,2	0,3	0,5
Min	0,1	0,1	0,3
Maks	0,4	0,4	0,7
Øvre grenseverdi fullfôr ¹⁾	1,75	-	5,5
Fiskemel (n=15) ⁴⁾			
Snitt	0,2	0,3	0,6
Min	0,04	0,02	0,07
Maks	0,4	1,1	1,4
Øvre grenseverdi fiskemel ¹⁾	1,25	-	4,0
Fiskeolje (n=10)			
Snitt	0,8	1,3	2,0
Min	0,1	0,07	0,3
Maks	1,8	3,6	4,8
Øvre grenseverdi fiskeolje ¹⁾	5,0	-	20,0

¹⁾ ng TEQ (WHO 2005)/kg (konsentrasjonen multiplisert med en gitt toksisitetsekvivalens-faktor).

²⁾ Non-orto PCB kongenere (IUPAC code PCB 77, 81, 126 og 169) og mono-orto PCB kongenere (IUPAC code PCB 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167 og 189).

³⁾ Summen av dioksiner og dl-PCB oppgis som sum totale toksikologiske ekvivalenter (sum TEQ) med WHO toksisitetsekvivalensfaktor fra 2005.

⁴⁾ To av prøvene er fiskeproteinkonsentrat (FPC).

Tabell 6. Klorerte pesticider

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av klorerte pesticider (µg/kg) i fullfôr, fiskemel og fiskeolje undersøkt i 2022. Snitt og summe er gitt som «upper-bound LOQ» og molekylvektet. Øvre grenseverdi er gitt i den siste raden (µg/kg). [Mean and range (min-max) of chlorinated pesticides in fish feed, fish meal and fish oil analysed in 2022. Mean and sums are given using «upper-bound LOQ» and molecular weighted].

Prøver	Sum Dieldrin og Aldrin (µg/kg) ¹⁾	Sum Endosulfan (µg/kg)	Sum Toksafen (µg/kg)	Sum Klordan (µg/kg)	Sum Heptaklor (µg/kg)	Sum HCH (µg/kg) ²⁾	HCB ³⁾ (µg/kg)
Fullfôr (n=20)							
Snitt	1,5	1,8	4,2	1,6	1,0	1,9	1,4
Min	0,9	1,3	2,1	0,8	0,6	1,0	0,6
Maks	2,4	5,5	18,2	6,2	4,8	9,1	4,6
Øvre grenseverdi	20	50	20	20	10	-	10
Fiskemel (n=15) ⁴⁾							
Snitt	1,5	1,5	4,0	1,6	0,7	1,2	1,6
Min	0,2	1,3	2,0	0,7	0,5	1,0	0,5
Maks	3,3	2,9	11,5	3,5	1,2	2,3	3,7
Øvre grenseverdi	20	100	20	20	10	-	10
Fiskeolje (n=10)							
Snitt	8,1	3,4	15,5	4,9	2,7	2,1	6,3
Min	0,4	3,3	5,1	1,2	1,9	0,3	1,3
Maks	25,5	4,1	36,5	17,9	5,0	0,9	23,0
Øvre grenseverdi	100	100	200	50	200	-	200

¹⁾ Dieldrin uttrykt som dieldrin alene, Alle resultater for aldrin er under LOQ,

²⁾ Sum av alfa, beta og gamma heksaklorsyklusheksan, Alle resultater var under grenseverdien for enkeltisomerene, Grenseverdiene er 20, 10 og 200 µg/kg for henholdsvis α-, β- og γ-HCH i fôrmidler og fôrblandinger, og 200, 100 og 2000 µg/kg for henholdsvis α-, β- og γ-

HCH i fett og olje,

³⁾ Snitt for HCB er «upper bound».

⁴⁾ To av prøvene er fiskeproteinkonsentrat (FPC).

Tabell 7. DDT

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av DDT-isomerer (µg/kg) i fullfôr, fiskemel og fiskeolje i 2022. Snittverdier er gitt der 20% eller mer av prøvesvarene er over LOQ. Snitt og sum er gitt som «upper-bound LOQ» og molekylvektet. Øvre grenseverdi er gitt for sum DDT (µg/kg). [Mean and range (min-max) of DDT isomers in fish feed, fishmeal and fish oil analysed in 2022. Mean is given when 20% or more of the results are over LOQ. Mean and sum are given using «upper-bound LOQ» and molecular weighted].

Prøver	op-DDD (µg/kg)	op-DDE (µg/kg)	op-DDT (µg/kg)	pp-DDD (µg/kg)	pp-DDE (µg/kg)	pp-DDT (µg/kg)	Sum DDT (µg/kg)
Fullfôr (n=20)							
Snitt	0,2	< LOQ	0,3	0,9	2,6	0,7	5,3
Min	0,11	<0,1	0,11	0,50	1,43	0,18	2,8
Maks	0,91		0,91	1,71	5,02	1,68	9,1
Prøver over LOQ	15 (75%)	0	15 (75%)	18 (90%)	20 (100%)	17 (85%)	
Øvre grenseverdi							50
Fiskemel (n=15) ¹⁾							
Snitt	0,7	0,8	0,9	1,1	2,9	0,9	3,0
Min	0,12	0,13	0,22	0,32	0,20	0,15	0,8
Maks	1,2	1,2	1,2	2,6	9,8	1,7	6,8
Prøver over LOQ	9 (60%)	6 (40%)	5 (33%)	11 (73%)	13 (87%)	7 (47%)	
Øvre grenseverdi							50
Fiskeolje (n=9)							
Snitt	0,7	<LOQ	0,59	3,7	12,7	1,9	21,9
Min	0,25	<0,25	<0,25	0,25	0,52	0,25	1,9
Maks	3,2	1,5	2,5	13,0	39,6	6,8	67,6
Prøver over LOQ	4 (44%)	1 (11%)	5 (56%)	7 (78%)	9 (100%)	5 (56%)	
Øvre grenseverdi							500

¹⁾ To av prøvene var fiskeproteinkonsentrat (FPC).

Tabell 8. Pesticider og ugressmidler

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av pirimifos-metyl, malathion, glyfosat, amino-metyl-fosfonsyre (AMPA) og glufosinat (mg/kg) i fullfôr, vegetabiliske fôrmiddel, vegetabiliske oljer og insektmel i 2022. Snittverdier er gitt der 20% eller mer av prøvesvarene er over LOQ. Snitt og summer er gitt som «upper-bound LOQ». [Mean and range (min-max) of pirimiphos-methyl, malathion, glyphosate, amino-methyl-phospho acid (AMPA) and glufosinate (mg/kg) in fish feed, plant meal, plant oil and insect meal analysed in 2022. Mean is given when 20% or more of the results are over LOQ, using «upper-bound LOQ»].

Prøver	Pirimifos-metyl (mg/kg)	Klorpyrifos-etyl/metyl (mg/kg)	Malathion (mg/kg)	Boscalid (mg/kg)	Cypermethrin (mg/kg)	Glyfosat (mg/kg)	AMPA (mg/kg)	Glufosinat (mg/kg)
Fullfôr								
Snitt (n=37)	< LOQ	<LOQ	< LOQ	-	-	0,10	0,02	<LOQ
Min	0,01	<0,01	<0,01	-	-	0,02	0,01	<0,01
Maks	0,20	0,013	0,03			0,25	0,04	
Prøver over LOQ	18 (49%)	1 (3%)	1 (3%)	-	-	37 (100%)	17 (46%)	0
Vegetabiliske fôrmiddel (n=15)								
Snitt	<LOQ ¹⁾	<LOQ	< LOQ ¹⁾	-	-	0,33	0,09	<LOQ
Min	0,27	<0,01	<0,01	-	-	0,01	0,03	<0,01
Maks	0,70					1,3	0,20	
Prøver over LOQ	1 (10%)	0	0	-	-	7 (47%)	4 (27%)	0
Vegetabilisk olje (n=9)								
Snitt	0,05	0,008	0,02	0,008	0,015	-	-	-
Min	0,02	0,005	0,01	0,006	0,011	-	-	-
Maks	0,10	0,014	0,05	0,012	0,018			
Prøver over LOQ	9 (100%)	6 (67%)	7 (78%)	6 (67%)	3 (33%)	-	-	-
Insektmel (n=3)	-	-	-	-	-	-		
Snitt	-	-	-	-	-	0,026	0,018	<LOQ
Min						0,022	0,014	<0,01
Maks	-	-	-	-	-	0,029	0,024	

Prøver over LOQ						2 (67%)	3 (100%)	0
-----------------	--	--	--	--	--	---------	----------	---

¹⁾ n = 9.

Tabell 9. PBDE

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av polybromerte flammehemmere, PBDE kongenere (µg/kg) i fullfôr, fiskemel og fiskeolje i 2022. Snittverdier er gitt der 20% eller mer av prøvesvarene er over LOQ. Snitt og sum PBDE7 er gitt som «upper-bound LOQ». [Mean and range (min-max) of PBDE (µg/kg) congeners in fish feed, fishmeal and fish oil in 2022. Mean is given when 20% or more of the results are over LOQ. Mean and sum of PBDE7 are given using «upper-bound LOQ»].

Prøver	PBDE-28 (µg/kg)	PBDE-47 (µg/kg)	PBDE-99 (µg/kg)	PBDE-100 (µg/kg)	PBDE-153 (µg/kg)	PBDE-154 (µg/kg)	PBDE-183 (µg/kg)	Sum PBDE7 (µg/kg)	PBDE-49 (µg/kg)	PBDE-66 (µg/kg)	PE 75 (µg/kg)
Fullfôr (n=20)											
Snitt	0,01	0,15	0,03	0,04	<LOQ	0,03	<LOQ	0,30	0,05	< LOQ	0,0
Min	0,006	0,06	0,02	0,03	<0,025	0,02	<0,025	0,20	0,03	<0,01	0,0
Maks	0,015	0,24	0,05	0,06		0,04		0,42	0,09		0,0
Prøver over LOQ	18 (90%)	20 (100%)	9 (45%)	17 (85%)	0	9 (45%)	0	-	20 (100%)	0	9 (45%)
Fiskemel (n=15) ¹⁾											
Snitt	0,01	0,17	0,04	0,05	0,03	0,06	<LOQ	0,38	0,05	0,01	0,0
Min	0,005	0,04	0,02	0,02	0,015	0,015	<0,02	0,14	0,01	0,008	0,0
Maks	0,043	0,55	0,10	0,16	0,06	0,23	0,03	1,14	0,13	0,04	0,0
Prøver over LOQ	10 (67%)	10 (67%)	7 (47%)	8 (53%)	4 (27%)	8 (53%)	1 (7%)	-	11 (73%)	5 (33%)	6 (40%)
Fiskeolje (n=10)											
Snitt	0,05	0,65	0,14	0,18	<LOQ	0,12	<LOQ	1,29	0,25	0,05	0,0
Min	0,02	0,13	0,06	0,06	<0,09	0,06	<0,09	0,46	0,03	0,03	0,0
Maks	0,09	1,56	0,28	0,38		0,20		2,66	0,74	0,07	0,0
Prøver over LOQ	6 (60%)	6 (60%)	6 (60%)	6 (60%)	0	5 (50%)	0	-	6 (60%)	4 (40%)	5 (50%)

¹⁾ To av prøvene er fiskeproteinkonsentrat (FPC).

Tabell 10. HBCD og TBBP-A

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av HBCD kongenerne α , β og γ og TBBP-A ($\mu\text{g/kg}$) i fullfôr, fiskemel og fiskeolje i 2022. Snittverdier er gitt der 20% eller mer av prøvesvarene er over LOQ. Snitt og sum HBCD er gitt som «upper-bound LOQ». [Mean and range (min-max) of HBCD congeners, sum HBCD and TBBP-A ($\mu\text{g/kg}$) in fish feed, fishmeal and fish oil analysed in 2022. Mean is given when 20% or more of the results are over LOQ. Mean and sum of PBDE7 are given using «upper-bound LOQ»].

Prøver	α -HBCD ($\mu\text{g/kg}$)	β -HBCD ($\mu\text{g/kg}$)	γ -HBCD ($\mu\text{g/kg}$)	Sum HBCD ($\mu\text{g/kg}$)	TBBP-A ($\mu\text{g/kg}$)
Fullfôr (n=20)					
Snitt	0,06	<LOQ	<LOQ	0,07	0,28
Min	0,03	<0,01	0,017	0,04	0,04
Maks	0,08			0,10	1,23
Prøver over LOQ	20 (100%)	0	1 (5%)	-	8 (40%)
Fiskemel (n=15) ¹⁾					
Snitt	0,06	<LOQ	<LOQ	0,07	<LOQ
Min	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,04
Maks	0,24			0,24	
Prøver over LOQ	11 (73%)	0	0	-	0
Fiskeolje (n=10)					
Snitt	0,32	<LOQ	<LOQ	0,40	<LOQ
Min	0,03	<0,06	<0,06	0,09	<0,4
Maks	0,74		0,08	0,79	0,21
Prøver over LOQ	6 (60%)	0	1 (10%)	-	1 (10%)

¹⁾ To av prøvene er fiskeproteinkonsentrat (FPC).

Tabell 11. PFAS

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av perfluorerte forbindelser (PFAS, $\mu\text{g/kg}$) i fullfôr og fiskemel i 2022¹⁾. Snittverdier er gitt der 20% eller mer av prøvesvarene er over LOQ. Snitt og sum av PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS er gitt som «lower-bound LOQ som gitt i regelverket». [Mean and range (min-max) of perfluorated compounds (PFAS, $\mu\text{g/kg}$) congeners in fish feed and fishmeal in 2022. Mean is given when 20% or more of the results are over LOQ. Mean and sum of PFOS, PFOA, PFNA and PFHx are given using «lower-bound LOQ» as specified in the regulation].

Prøver	PFHxS (µg/kg)	PFOA (µg/kg)	PFOS (µg/kg)	PFOSA (µg/kg)	Sum av PFOS, PFOA, PFNA and PFHxS ¹⁾	PFDA (µg/kg)	PFDS (µg/kg)	PFNA (µg/kg)	PFUdA (µg/kg)	PFTeDA (µg/kg)
Fullfôr (n=20)										
Snitt	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Min	<1	<0,7	<1	<2		<0,2	<0,2	<0,5	<1	<0,2
Maks							0,3			
Prøver over LOQ	0	0	0	0		0	1 (5%)	0	0	0
Fiskemel (n=13)										
Snitt	<LOQ	<LOQ	1,4	<LOQ	1,4	0,4	<LOQ	0,9	1,9	<LOQ
Min	<1	<0,7	1,0	<2	1,0	0,2	<0,2	0,7	1,2	<0,2
Maks			2,0		2,0	0,7		1,1	2,5	0,24
Prøver over LOQ	0	0	5 (38%)	0		5 (38%)	0	3 (23%)	3 (23%)	1 (8%)

¹⁾ I tillegg ble prøvene analysert for PFDoDA, PFBA, PFBS, PFHpA og PFTrDA. Ingen av prøvene var over LOQ for disse forbindelsene.

²⁾ Sum PFAS4 er sum av PFHxS, PFOA, PFOS og PFOSA. Øvre grenseverdi har blitt etablert for PFAS4 i mat, gitt i regelverket [EC 2023/915](#).

Tabell 12. PAH

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH, µg/kg) i fullfôr, vegetabilisk fôrmiddel og vegetabilisk olje i 2022 ¹⁾. Snittverdier er gitt der 20% eller mer av prøvesvarene er over LOQ. Snitt og sum of PAH4²⁾ er gitt som «upper-bound LOQ». [Mean and range (min-max) of PAHs (µg/kg) in fish feed, plant protein and plant oil in 2022. Mean is given when 20% or more of the results are over LOQ. Mean and sum of PAH4 are given using «upper-bound LOQ»].

Prøver	Benzo(a)antracen (µg/kg)	Benzo(a)pyren (µg/kg)	Benzo(b)fluoranten (µg/kg)	Benzo(c)fluoren (µg/kg)	Sum PAH4 (µg/kg) ²⁾	Benzo(g,h (µg/kg)
Fullfôr (n=20)						
Snitt	0,4	0,3	0,3	<LOQ	1,6	0,3
Min	0,2	0,2	0,2	<0,3	1,1	0,3
Maks	0,7	0,7	0,6		2,7	0,5
Prøver over LOQ	16 (80%)	8 (40%)	7 (35%)	0 (0%)	-	6 (30%)

Vegetabiliske fôrmiddel (n=15)						
Snitt	0,2	0,2	0,2	0,1	1,0	0,2
Min	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1
Maks	1,2	1,0	1,1	0,2	4,8	0,9
Prøver over LOQ	5 (33%)	4 (27%)	4 (27%)	3 (20%)	-	4 (27%)
Vegetabilisk olje (n=9)						
Snitt	2,0	1,5	1,4	<LOQ	7,1	1,3
Min	1,1	0,7	0,7	<0,7	3,8	0,7
Maks	3,1	2,6	2,1		11,0	2,3
Prøver over LOQ	9 (100%)	8 (89%)	8 (89%)	0 (0%)	-	7 (78%)

¹⁾ Det ble i tillegg analysert for dibenzo(a,l)pyren, dibenzo(a,i)pyren, dibenzo(a,h)pyren, dibenzo(a,e)pyren og 5-metylchrysen, Ingen prøver inneholdt konsentrasjoner over LOQ,

²⁾ Sum PAH4 er sum av benzo[a]antracen, benzo[a]pyren, chrysen og benzo[b]fluoranten, gitt som «upper bound» summert,

Tabell 13. Syntetiske tilsetningsstoffer

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av ethoxyquin (EQ), ethoxyquin dimer (EQDM), butylhydroksyanisol (BHA) og butylhydroksytoluen (BHT) (mg/kg) i fullfôr, fiskemel, vegetabiliske fôrmiddel og fiskeolje i 2022. Snitt og sum er gitt som «upper bound LOQ». [Mean and range (min-max) of ethoxyquin (EQ), butylated hydroxyanisole (BHA) and butylated hydroxytoluene (BHT) (mg/kg) in fish feed, fishmeal, plant protein and fish oil analysed in 2022].

Prøver	EQ (mg/kg)	EQDM (mg/kg)	BHA (mg/kg)	BHT (mg/kg)	Propylgallat (mg/kg)
Fullfôr (n=80) ¹⁾					
Snitt	<LOQ	<LOQ	5,4	15,8	<LOQ
Min	0,010	<0,07	0,01	1,0	<10
Maks	0,04		30	63	
Prøver over LOQ	2 (5%)	0 (0%)	75 (94%)	80 (100%)	0 (0%)
Fiskemel (n=15) ²⁾					

Snitt	<LOQ	< LOQ	22,5	71	<LOQ
Min	<0,009	<0,07	0,11	0,4	116
Maks			110	400	292
Prøver over LOQ	0 (0%)	0 (0%)	6 (40%)	7 (47%)	2 (13%)
Vegetabiliske fôrmiddel (n=15)					
Snitt	< LOQ	< LOQ	-	-	-
Min	<0,009	< 0,07	-	-	-
Maks					
Prøver over LOQ	0 (0%)	0 (0%)	-	-	-
Fiskeolje (n=9)					
Snitt	-	-	2,3	-	-
Min	-	-	0,37	-	-
Maks			8,8		
Prøver over LOQ	-	-	6 (60%)	-	-

¹⁾ Analysert n=37 fullfôr for EQ og EQDM.

²⁾ To av prøvene var fiskeproteinkonsentrat (FPC).

Tabell 14. Sporelementer

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av jern, sink, mangan, kobber, kobolt, molybden og selen i fullfôr, fiskemel, insektmel og mineralpremikser i 2022. Snittverdien er gitt som «upper-bound LOQ». Det høyeste tillate innhold spesifisert i EU regelverket for tilsetningsstoffer¹⁾ er gitt under de analyserte verdiene, i mg/kg. [Mean and range (min-max) of Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Mo and Se (mg/kg) in fish feed, fishmeal, insect meal and mineral-premixes analysed in 2022. Mean is given using «upper-bound LOQ». The maximum content in [EC 1831/2003](#) for each element is given below the analyzed values in mg/kg].

Prøver	Kobolt (Co) (mg/kg)	Krom (Cr) (mg/kg)	Kobber (Cu) (mg/kg)	Jern (Fe) (mg/kg)	Mangan (Mn) (mg/kg)	Molybden (Mo) (mg/kg)	Selen (Se) (mg/kg)
Fullfôr (n=80)							
Snitt	0,19	0,64	12	230	51	1,8	0,7
Min	0,07	0,19	5,7	52	19	0,35	0,3
Maks	0,38	11	23	830	116	3,2	2,4

Grenseverdi	1		25	750	100	2,5	0,5
Fiskemel (n=13)							
Snitt	0,07	0,39	3,6	531	7,6	0,26	2,0
Min	0,02	0,16	2,1	52	2,7	0,09	1,4
Maks	0,16	1,0	6,6	2200	19,7	0,55	2,8
Fiskeproteinkonsentrat (n=2)							
Snitt	0,06	0,73	11	106	5,0	0,16	1,2
Min	0,02	0,64	2,7	87	4,5	<0,08	0,95
Maks	0,09	0,83	19	126	5,5	0,23	1,4
Insektmel (n=3)							
Snitt	0,03	1,0	13	222	372	1,0	0,1
Min	0,02	0,57	13	198	350	0,88	0,1
Maks	0,04	1,6	13,0	236	411	1,1	0,1
Mineralpremikser (n=7)							
Snitt	14	4,1	3 680	18 940	22 770	< LOQ	5,4
Min	2,2	2,6	170	1 800	2 500	<1,0	0,4
Maks	34	6,0	6 100	29 000	46 000		24

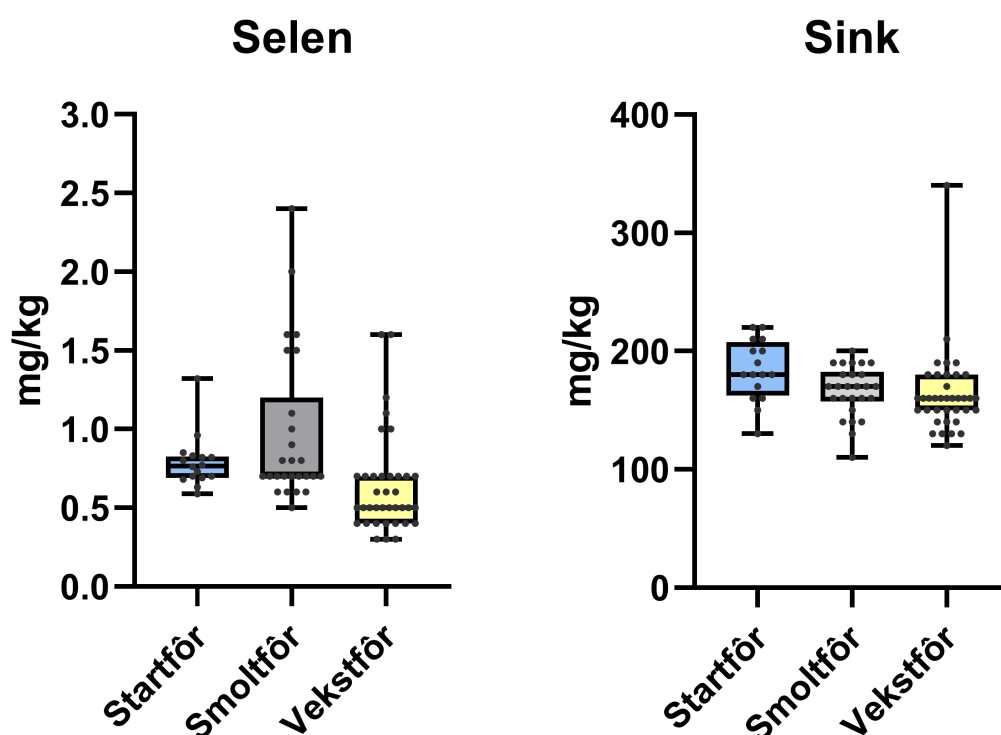
¹⁾ Grenseverdien gjelder for summen av det naturlig forekommende og tilsatt mengde i fôrvaren, men bare hvis stoffet er tilsatt, [Forskrift om merking og omsetning](#) og [Forskrift om tilsetningsstoffer til bruk i fôrvarer](#).

Tabell 15. Sporelementer i fôr til ulike livsstadier

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av sporstoffene kobolt, krom, kobber, jern, mangan, molybden, selen og sink i startfôr, smoltfôr og vekstfôr for salmonider i 2022. [Mean and range (min-max) of the trace elements Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se and Zn in starter feeds, smolt feeds and grower feeds for salmonids in 2022].

mg/kg	Startfôr (n=16)			Smoltfôr (n=26)			Vekstfôr (n=37)		
	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks
Kobolt (Co)	0,19	0,11	0,30	0,20	0,08	0,37	0,21	0,07	0,48
Krom (Cr)	0,68	0,24	2,4	0,86	0,23	12	0,46	0,19	2,8
Kobber (Cu)	13	9	17	12	6	19	12	8	23

Jern (Fe)	292	140	830	235	110	540	200	52	400
Mangan (Mn)	54	25	93	50	19	70	51	27	120
Molybden (Mo)	1,6	0,6	3,0	1,8	0,3	3,2	1,8	0,6	3,1
Selen (Se)	0,79	0,59	1,3	0,96	0,48	2,4	0,64	0,32	1,6
Sink (Zn)	184	130	220	166	110	200	164	120	340
Jod (I)	3,2	1,8	5,9	3,3	1,0	5,3	2,8	0,5	8,8



Figur 1. Selen og sink i fôrtyper.

Selen og sink konsentrasjoner (mg/kg fôr) i startfôr (n=16), smoltfôr (n=26) og vekstfôr (n=37) analysert i 2022. Figurene viser median konsentrasjonen med spennet fra minimum til maksimumsnivå, der alle resultater er vist som punkter. [Selenium og zinc concentrations (mg/kg feed) in starter feeds (n=16), smolt feeds (n=26) and grower feeds (n=37) analysed in 2022. Median with minimum and maximum levels, and all measurements shown as points].

Tabell 16. Makromineraler

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), fosfor (P), klorid (Cl) og elektrolyttbalansen (dEB)¹ i startfôr, smoltfôr og vekstfôr for salmonider i 2022. [Mean and range (min-max) of Ca, K, Mg, P, Cl and the electrolyte balance (dEB) in starter feeds, smolt feeds and grower feeds for salmonids in 2022].

(g/kg)	Startfôr (n=16)			Smoltfôr (n=26)			Vekstfôr (n=37)		
	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks
Ca	13,2	7,0	17	12,1	5,0	25	7,3	3,7	16
K	10,3	8,5	12	9,7	7,2	12	8,3	5,9	10
Mg	2,3	1,9	2,6	2,3	1,9	2,9	1,9	1,4	2,4
Na	7,2	2,6	28	7,9	2,5	25	3,2	1,4	9,0
P	13,7	8,6	17	13,3	10,0	27	9,7	7,6	20
Cl	10,4	6,7	15	16,0	6,1	47	6,2	2,8	9,8
Ca:P ratio	1,0	0,7	1,2	0,9	0,5	1,7	0,7	0,4	1,4
dEB ¹⁾	294	162	349	311	178	445	254	197	302

¹⁾ Utregnet med følgende formel: $dEB = (Na^+ + K^+) - (Cl^-)$, der Na, K og Cl er gitt i mEq/kg.

Tabell 17. Protein og aminosyrer

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av aminosyrer (g/kg) i startfôr, smoltfôr og vekstfôr til salmonider i 2022. [Mean and concentration range (min-max) of amino acids in starter feeds, smolt feeds and grower feeds for salmonids in 2022].

	Startfôr (n=5)			Smoltfôr (n=5)			Vekstfôr (n=5)		
	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks
Protein (Nitrogen) (g/100g) ¹⁾	47	41	51	45	43	48	38	33	44
Alanin (g/kg)	22	20	23	20	19	20	16	15	18
Arginin (g/kg)	28	24	32	26	25	29	23	20	27
Aspartat (g/kg)	43	40	46	41	39	40	36	33	40
Glutamin (g/kg)	79	73	82	78	72	80	80	70	92
Glycine (g/kg)	22	20	23	20	20	22	16	15	18
Histidin (g/kg)	10	9	11	11	8	13	8	7	9
Hydroksyprolin (g/kg)	2	1	2	2	1	2	1	1	1
Isoleucin (g/kg)	17	16	18	16	15	17	15	14	17
Leucin (g/kg)	32	30	33	30	28	31	27	25	26
Lysin (g/kg)	32	29	34	29	27	31	25	20	28
Metionin (g/kg)	11	10	12	12	11	12	10	9	11
Phenylalanin (g/kg)	19	18	20	19	17	20	17	16	19

Prolin (g/kg)	23	22	24	22	20	24	23	21	27
Serin (g/kg)	21	20	21	20	19	21	18	17	21
Taurin (g/kg)	2	1	2	2	1	2	1	1	1
Threonin (g/kg)	18	17	18	16	16	17	14	12	15
Tyrosin (g/kg)	14	13	15	13	13	14	12	11	14
Valin (g/kg)	20	19	20	18	18	19	16	15	18

¹⁾ Analysert n=10 av startfôr, n=10 smoltfôr og n=10 vekstfôr.

Tabell 18. Vitamin A, C, E og K

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av vitamin E i form av alfa-tokoferol, vitamin C, vitamin A1, vitamin K1, vitamin K2 og vitamin K3 i startfôr, smoltfôr og vekstfôr for salmonider i 2022. [Mean and range (min-max) of alfa-tokoferol, vitamin C, vitamin A1, vitamin K1, vitamin K2 og vitamin K3 in starter feeds, smolt feeds and grower feeds for salmonids in 2022].

mg/kg	Startfôr (n=16)			Smoltfôr (n=26)			Vekstfôr (n=25)		
	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks
a-tokoferol	373	210	650	385	197	640	340	200	600
Vitamin C	491	220	1200	661	110	1500	392	140	1000
Vitamin A1	8,7	2,9	25	9,2	2,4	27	5,8	1,6	13
Vitamin K1 ¹⁾	0,18	0,12	0,33	0,17	0,03	0,31	0,29	0,22	0,38
Vitamin K2 ^{1,2)}	0,08	0,07	0,12	0,13	0,08	0,23	0,12	0,06	0,40
Vitamin K3	1,6	0,4	3,6	2,3	0,04	14,2	-	-	-

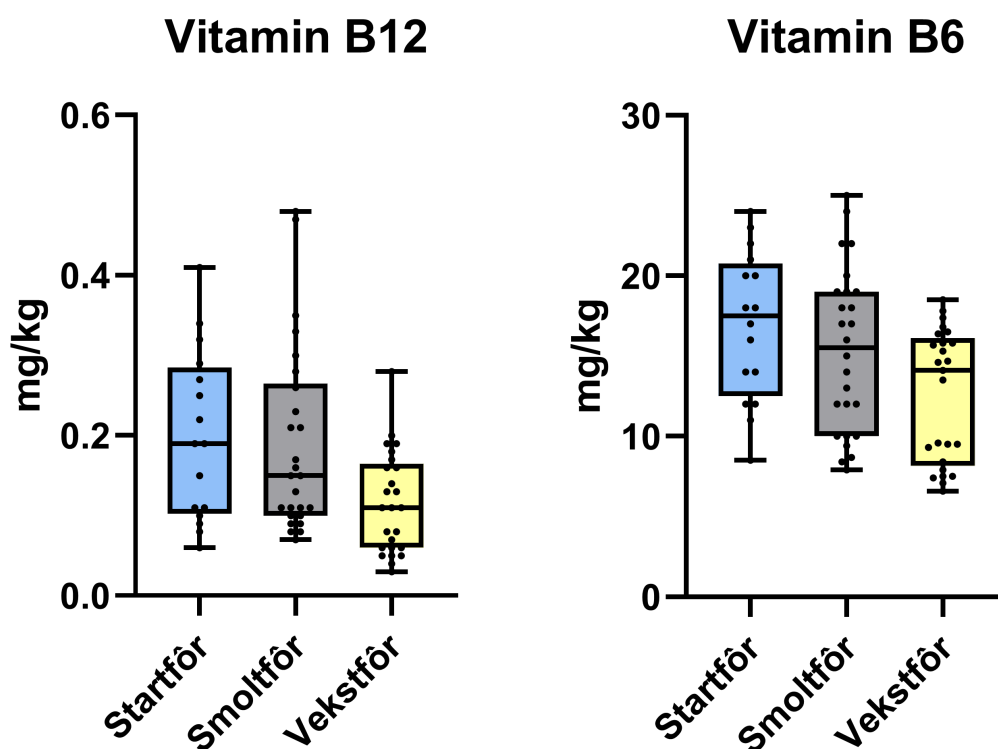
¹⁾ Analysert n=10 av startfôr, n=10 smoltfôr og n=10 vekstfôr.

²⁾ Summen av alle K2 former (MK4, MK5, MK6, MK7, MK8, MK9 og MK10), gitt i mg/kg.

Tabell 19. B-vitaminer

Gjennomsnitt og konsentrasjonsområde (min-maks) av B-vitaminene folat, vitamin B12, vitamin B6 og vitamin B5 (mg/kg) i startfôr, smoltfôr og vekstfôr for salmonider i 2022. [Mean and range (min-max) of B-vitamins folat, vitamin B12, B6 and B5 in starter feeds, smolt feeds and grower feeds for salmonids in 2022].

mg/kg	Startfôr (n=17)			Smoltfôr (n=26)			Vekstfôr (n=25)		
	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks
Folat	6,7	3,7	18,0	7,3	3,3	20	5,1	3,5	13
Vitamin B12	0,20	0,06	0,41	0,19	0,07	0,48	0,12	0,03	0,28
Vitamin B6	17	9	24	15	8	25	13	7	19
Vitamin B5	69	53	100	62	40	110	49	30	76



Figur 2. B-vitaminer i fôrtyper.

Vitamin B12 og vitamin B6 konsentrasjoner (mg/kg fôr) i startfôr (n=16), smoltfôr (n=26) og vekstfôr (n=37) analysert i 2022. Figurene viser median konsentrasjonen med spennet fra minimum til maksimumsnivå, der alle resultater er gitt som punkter. [Vitamin B12 and vitamin B6 concentrations (mg/kg feed) in starter feeds (n=16), smolt feeds (n=26) and grower feeds (n=37) analysed in 2022. Median with minimum and maximum levels, and all measurements shown as points].

Tabell 20. Fettsyrer

Gjennomsnitt og fordeling (min-maks) i fettinnhold (g/100g fôr), prosent fettsyrer (% av sum fettsyrer), og konsentrasjon av fettsyrer (mg/kg fôr) i startfôr, smoltfôr og vekstfôr for salmonider i 2022. [Mean and range (min-max) of fat content (g/100 g feed), fatty acids (% of sum fatty acids) and concentration of fatty acids (mg/kg feed) in starter feeds, smolt feeds and grower feeds for salmonids in 2022].

	Startfôr (n=10)			Smoltfôr (n=9)			Vekstfôr (n=11)		
	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks	Snitt	Min	Maks
Fettinnhold (g/100g fôr)	21	19	25	25	16	31	34	28	37
Sum mettede fettsyrer (%)	17,7	16,2	18,6	20,6	16,4	25,3	16,6	15,1	19,4

Sum enumettede fettsyrer (%)	50	47	55	46	40	53	50	43	57
Sum flerumettet fett (%)	29	26	32	30	28	33	31	26	35
18:1 n-9 (mg/g)	61	50	71	62	19	114	112	86	129
22:1 n-9 (erukasyre) (mg/g)	1,4	0,6	2,7	1,2	0,5	2,9	1,4	0,8	3,5
18:2 n-6 (mg/g)	20,9	17,5	26	19,8	5,2	37	40	35	47
20:4 n-6 (arakidonsyre) (mg/g)	0,7	0,5	1,1	1,0	0,6	1,6	0,8	0,5	1,2
20:5 n-3 (EPA) (mg/g)	10,2	7,2	12,8	14,6	8,4	20,0	11,7	9,0	
22:6 n-3 (DHA) (mg/g)	10,5	8,2	12,5	14,3	9,7	23,8	12,1	8,4	22,7
Sum EPA og DHA (mg/g)	20,7	16,1	24,0	28,9	20,2	43,6	23,7	19,2	31,9
Sum EPA og DHA (%)	10,4	8,8	11,5	12,8	7,6	16,9	7,8	6,3	10,1
Sum n-6 (mg/g)	22,2	18,4	28,0	21,5	7,1	38,4	42	36	51
Sum n-3 (mg/g)	34,6	27,8	40,8	45,3	33,5	62,7	49,5	38,1	60,0
Ratio n-3/n-6	1,6	1,3	1,9	2,7	1,1	8,9	1,2	1,0	1,4

Tabell 21. Fôr til andre fiskearter

Konsentrasjoner av metaller, sporstoff, makromineraler og vitaminer analysert i fullfôr (n=1) tiltenkt fiskearten rognkjeks (*Cyclopterus lumpus*) i 2022. [Concentrations of nutrients in analysed feed (n=1) for lump fish (*Cyclopterus lumpus*) in 2022].

Metaller	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)				
Fullfôr (n=1)	0,15	< 0,2	7,5	0,11	< 3,0				
Sporstoffer	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Se (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Iod (mg/kg)
Fullfôr (n=1)	<0,2	0,35	7,7	216	25	<0,9	1,9	166	4,5
Makromineraler	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Na (g/kg)	Cl (g/kg)	Ca:P ratio	dEB (mEq/kg)	
Fullfôr (n=1)	2,7	2,4	17	9,1	1,3	1,6	1,6	140	

Vitaminer	Vitamin E (Alfa- tokoferol) (mg/kg)	Vitamin C (mg/kg)	Vitamin A1 (mg/kg)	Folat (mg/kg)	Vitamin B5 (mg/kg)	Vitamin B6 (mg/kg)	Vitamin B12 (mg/kg)	Vitamin K3 (mg/kg)	
Fullfôr (n=1)	210	316	20	4,5	41	19,5	0,15	6,2	
Komposisjon	Fettinnhold (g/100 g)								
Fullfôr (n=1)	18								

Konklusjon

Det er mange ulike stoffgrupper som kan representere en risiko på fôrområdet. I dette overvåkingsprogrammet er formålet å få en oversikt over risikoer forbundet med fiskefôr, både for mennesker og dyr. Nivå av næringsstoffer er viktig for fiskehelsen. Det ble i årets overvåkingsprogram analysert for en rekke næringsstoffer i ulike fôrtyper (startfôr, smoltfôr og vekstfôr) som representerer ulike livsstadier for salmonider.

For uønskede stoffer, viser resultatene for 2022 ingen overskridelser av etablerte grenseverdier i fullfôr eller fôrmidler, med unntak av to prøver av fiskemel med konsentrasjoner av kadmium opp mot grenseverdi. Det ble i 2022, som også tidligere år, analysert for uønskede stoffer som ikke har etablerte grenseverdier, deriblant PFAS og pesticider.

Næringsstoffer ble undersøkt i fôr til ulike livsstadier til salmonider ved analyse av startfôr, smoltfôr og vekstfôr. Generelt viste resultatene at de fleste fôr inneholdt konsentrasjoner av næringsstoffer over behovsestimatene, men det ble også registrert en stor spredning i konsentrasjoner av flere mineraler og vitaminer både mellom fôrtyper og innad fôrtypene.

Overvåkingsdata på fremmedstoffer og næringsstoffer i kommersielle fôr og fôrmidler kan bidra inn mot fremtidige risikovurderinger i fôr og fôrmidler. Det er også en pågående utvikling innen bruk av nye råvarer i fiskefôr, som kan påvirke nivå av både fremmedstoffer og næringsstoffer, og det er derfor viktig å følge med denne utviklingen. Prøveomfanget i programmet bør vurderes med tanke på bredde av fôrmidler, og ulike fôrtyper (f.eks nye fiskearter) som undersøkes.

Referanser

1. EC, Guidance document on the estimation of LOD and LOQ for measurements in the field of contaminants in feed and food, T. Wenzl, , Haedrich, J., Schaechtele, A, Robouch, P., Stroka, J, Editor. 2016, European Commission, Joint Research Centre.
2. Alimentarius, C., Code of practice for the prevention and reduction of dioxins, dioxin-like PCBs and non-dioxin-like PCBs in food and feed. International food standards, in Adopted in 2006, revised in 2018, W.H.O.W. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Editor. 2006.
3. Soderstrom, S., L. Softeland, V. Sele, A.K. Lundebye, et al., Enniatin B and beauvericin affect intestinal cell function and hematological processes in Atlantic salmon (*Salmo salar*) after acute exposure. Food and Chemical Toxicology, 2023. 172. DOI: 10.1016/j.fct.2022.113557.
4. Berntssen, M.H.G., P.G. Fjeldal, P.J. Gavaia, V. Laize, et al., Dietary beauvericin and enniatin B exposure cause different adverse health effects in farmed Atlantic salmon. Food and Chemical Toxicology, 2023. 174. DOI: 10.1016/j.fct.2023.113648.
5. Sele, V., Lundebye, A.-K. Storesund, J., Berntssen, M.H.G., Lie, K.K., Prabhu, A., Nøstbakken, O.J., Waagbø, R. og Ørnsrud, R., Program for overvåking av fiskefôr -Årsrapport for prøver innsamlet i 2021. 2022, Havforskningsinstituttet, Mattilsynet: Bergen.
6. EFSA, Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA Journal, 2018. 16(11).
7. Shiogiri, N.S., M.G. Paulino, S.P. Carraschi, F.G. Baraldi, et al., Acute exposure of a glyphosate-based herbicide affects the gills and liver of the Neotropical fish, *Piaractus mesopotamicus*. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2012. 34(2), 388-396. DOI: 10.1016/j.etap.2012.05.007.
8. Softeland, L. and P.A. Olsvik, In vitro toxicity of glyphosate in Atlantic salmon evaluated with a 3D hepatocyte-kidney co-culture model. Food and Chemical Toxicology, 2022. 164. DOI: 10.1016/j.fct.2022.113012.
9. EFSA, Scientific Opinion. Update of the risk assessment of hexabromocyclododecanes (HBCDDs) in food. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). EFSA Journal, 2021. DOI: 10.2903/j.efsa.2021.6421.
10. Granby, K., Sørensen, S., 2023. Study on PFAS levels in Danish organic eggs. workshop European fishmeal health and safety in relation to PFAS contamination, Copenhagen, 22th March 2023. Study on PFAS levels in Danish organic eggs. in Workshop European Fishmeal health and safety in relation to PFAS contamination. 2023. Copenhagen: European fishmeal and fish oil producers.
11. Zafeiraki, E., W.A. Gebbink, R. Hoogenboom, M. Kotterman, et al., Occurrence of perfluoroalkyl substances (PFASs) in a large number of wild and farmed aquatic animals collected in the Netherlands. Chemosphere, 2019. 232, 415-423. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.200.
12. Yarahmadi, S.S., M.S. Silva, M.H. Holme, T. Morken, et al., Impact of dietary zinc and seawater transfer on zinc status, availability, endogenous loss and osmoregulatory responses in Atlantic salmon smolt fed low fish meal feeds. Aquaculture, 2022. 549. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737804.
13. Prabhu, P.A.J., E. Holen, M. Espe, M.S. Silva, et al., Dietary selenium required to achieve body

- homeostasis and attenuate pro-inflammatory responses in Atlantic salmon post-smolt exceeds the present EU legal limit. *Aquaculture*, 2020. 526. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735413.
14. Prabhu, P.A.J., M.S. Silva, S. Kroeckel, M.H. Holme, et al., Effect of levels and sources of dietary manganese on growth and mineral composition of post-smolt Atlantic salmon fed low fish meal, plant-based ingredient diets. *Aquaculture*, 2019. 512. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734287.
15. NRC, Nutrient Requirements of Fish and Shrimp, ed. N.R. Council. 2011, Washington, D.C.: The National Academies Press.
16. Baeverfjord, G., P.A.J. Prabhu, P.G. Fjelldal, S. Albrektsen, et al., Mineral nutrition and bone health in salmonids. *Reviews in Aquaculture*, 2019. 11(3), 740-765. DOI: 10.1111/raq.12255.
17. Prabhu, P.A.J., J.W. Schrama, and S.J. Kaushik, Quantifying dietary phosphorus requirement of fish - a meta-analytic approach. *Aquaculture Nutrition*, 2013. 19(3), 233-249. DOI: 10.1111/anu.12042.
18. Fjelldal, P.G., T. Hansen, and S. Albrektsen, Inadequate phosphorus nutrition in juvenile Atlantic salmon has a negative effect on long-term bone health. *Aquaculture*, 2012. 334, 117-123. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.12.043.
19. Prabhu, P.A.J., J.W. Schrama, and S.J. Kaushik, Mineral requirements of fish: a systematic review. *Reviews in Aquaculture*, 2016. 8(2), 172-219. DOI: 10.1111/raq.12090.
20. Sauvant, D., Perez, J.-M., Tran, G., Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials: Pigs, Poultry, Cattle, Sheep, Goats, Rabbits, Horses and Fish. 204: Wageningen Academic Publishers.
21. Philip, A.J.P., P.G. Fjelldal, S.C. Remo, C. Selvam, et al., Dietary electrolyte balance of Atlantic salmon (*Salmo salar*) freshwater feeds: Impact on osmoregulation, mineral metabolism and performance in seawater. *Aquaculture*, 2022. 546. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737305.
22. Tacon, A.G.J. and S.S. Desilva, Mineral-composition of some commercial fish feeds available in Europe. *Aquaculture*, 1983. 31(1), 11-20. DOI: 10.1016/0044-8486(83)90253-3.
23. Remo, S.C., E.M. Hevroy, P.A. Olsvik, R. Fontanillas, et al., Dietary histidine requirement to reduce the risk and severity of cataracts is higher than the requirement for growth in Atlantic salmon smolts, independently of the dietary lipid source. *British Journal of Nutrition*, 2014. 111(10), 1759-1772. DOI: 10.1017/s0007114513004418.
24. Espe, M., V. Vikesa, T.H. Thomsen, A.C. Adam, et al., Atlantic salmon fed a nutrient package of surplus methionine, vitamin B12, folic acid and vitamin B6 improved growth and reduced the relative liver size, but when in excess growth reduced. *Aquaculture Nutrition*, 2020. 26(2), 477-489. DOI: 10.1111/anu.13010.
25. Sandnes, K., O. Torrissen, and R. Waagbo, The minimum dietary requirement of vitamin-C in Atlantic salmon (*salmo salar*) fry using Ca Ascorbate-2-monophosphate as dietary source. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1992. 10(4), 315-319. DOI: 10.1007/bf00004480.
26. Hamre, K., N.H. Sissener, E.J. Lock, P.A. Olsvik, et al., Antioxidant nutrition in Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and post-smolt, fed diets with high inclusion of plant ingredients and graded levels of micronutrients and selected amino acids. *Peerj*, 2016. 4. DOI: 10.7717/peerj.2688.
27. Hamre, K., Metabolism, interactions, requirements and functions of vitamin E in fish. *Aquaculture Nutrition*, 2011. 17(1), 98-115. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00806.x.

28. Hamre, K., G. Micallef, M. Hillestad, J. Johansen, et al., Changes in daylength and temperature from April until August for Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in sea cages, increase growth, and may cause consumption of antioxidants, onset of cataracts and increased oxidation of fillet astaxanthin. *Aquaculture*, 2022. 551. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.737950.
29. Hamre, K., R. Waagbo, R.K. Berge, and O. Lie, Vitamins C and E interact in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*, L). *Free Radical Biology and Medicine*, 1997. 22(1-2), 137-149. DOI: 10.1016/s0891-5849(96)00281-x.
30. Leopoldini, M., N. Russo, and M. Toscano, The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 2011. 125(2), 288-306. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.08.012.
31. Moren, M., I. Opstad, M.H.G. Berntssen, J.L.Z. Infante, et al., An optimum level of vitamin A supplements for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) juveniles. *Aquaculture*, 2004. 235(1-4), 587-599. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2004.01.030.
32. Dedi, J., T. Takeuchi, T. Seikai, and T. Watanabe, Hypervitaminosis and safe levels of vitamin-A for larval flounder (*Paralichthys-Olivaceus*) fed artemia Nauplii. *Aquaculture*, 1995. 133(2), 135-146. DOI: 10.1016/0044-8486(95)00015-t.
33. Ornsrud, R., E.J. Lock, R. Waagbo, C. Krossoy, et al., Establishing an upper level of intake for vitamin A in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) postsmolts. *Aquaculture Nutrition*, 2013. 19(5), 651-664. DOI: 10.1111/anu.12013.
34. Krossoy, C., R. Waagbo, and R. Ornsrud, Vitamin K in fish nutrition. *Aquaculture Nutrition*, 2011. 17(6), 585-594. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2011.00904.x.
35. Sivagurunathan, U., D. Dominguez, Y. Tseng, M.J. Zamorano, et al., Deficiency and excess in dietary vitamin K3 negatively affect gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae performance and bone health *Aquaculture*, 2023. 574.
36. Hemre, G.I., E.J. Lock, P.A. Olsvik, K. Hamre, et al., Atlantic salmon (*Salmo salar*) require increased dietary levels of B-vitamins when fed diets with high inclusion of plant based ingredients. *Peerj*, 2016. 4. DOI: 10.7717/peerj.2493.
37. Skjaerven, K.H., Adam, A.-C., Satio, T., Waagbø, R., Espe, M., Nutritional epigenetics, in *Cellular and Molecular Approaches in Fish Biology*, I.F. Monzón, Monzón, J.M.O., Editor. 2022, Elsevier Inc.
38. Saito, T., P. Whatmore, J.F. Taylor, J.M.O. Fernandes, et al., Micronutrient supplementation affects transcriptional and epigenetic regulation of lipid metabolism in a dose-dependent manner. *Epigenetics*, 2021. 16(11), 1217-1234. DOI: 10.1080/15592294.2020.1859867.
39. Adam, A.C., T. Saito, M. Espe, P. Whatmore, et al., Metabolic and molecular signatures of improved growth in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed surplus levels of methionine, folic acid, vitamin B-6 and B-12 throughout smoltification. *British Journal of Nutrition*, 2022. 127(9), 1289-1302. DOI: 10.1017/s0007114521002336.
40. Hatlen, B., Jørgensen, S.M., Timmerhaus, G., Krasnov, A., Bou, M., Ruyter, B., Evensen, Ø. , Styrkt fettsyresammensetning i fôr for å forebygge utbrudd av viktige virussykdommer i laks. 2016, Nofima.



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: post@hi.no

www.hi.no