



KESKKONNAMINISTEERIUM



Pahnimäe ABT pinnase puhastamise in-situ pilootkatse. Lõpparuanne

Tallinn 2022



Töö tellija:

Keskkonnaministeerium

Töö teostaja:

OÜ Maves

Töö number: 21037

Vastutav täitja : Artto Pello

Kontrollija: Madis Metsur

Maves OÜ

Marja 4D Tallinn, registrikood 10097377

www.maves.ee e-post: maves@maves.ee

Ettevõtte on sertifitseeritud kvaliteedijuhtimissüsteemi standardi ISO 9001:2015 alusel.



Aruanne on valminud LIFE IP CleanEST projekti raames, mida rahastavad Euroopa Komisjoni LIFE programm ja Eesti riik. LIFE programmi rahastusleping nr LIFE17 IPE/EE/000007. Aruanne kajastab autori seisukohti ja Euroopa Komisjon ei vastuta sisu kasutamise eest.

Sisukord

Summary	5
Sissejuhatus	6
1. Objekti ülevaade.....	7
1.1 Asukoht.....	7
1.2 Geoloogiline ehitus ja hüdrogeoloogilised tingimused	7
1.3 Varasemad uuringud	9
2. Reostusuuring.....	10
3. Välitööd ja näidiste kogumine	17
3.1 Katseala ettevalmistus.....	17
3.2 Välitööd	17
3.3 Proovivõtt ja katsetega alustamine.....	18
4. Laboratoorne katse ja selle tulemused	20
4.1 Füüsikalise katse tulemused.....	22
4.2 Bioloogilise katse tulemused.....	23
4.3 Keemilise katse tulemused.....	24
4.4 Kombineeritud katse tulemused	26
4.5 Meetodite plussid/miinused	27
5. Meetodite maksumuse võrdlus.....	29
6. Järgmine etapp	29
6.1 Eeltööd	30
6.2 Töökava	30
6.3 Puhastustööd.....	31
7. Kokkuvõte.....	32

Lisa 1. Füüsilise katse ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid.....	34
Lisa 2. Bioloogilise katse ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid.....	39
Lisa 3. Keemilise katse ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid.....	44
Lisa 4. Kombineeritud katse ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid	49
Lisa 5. Tausta proovide ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid.....	54
LISA 6. Analüüside koondtabel	
LISA 7. Labori analüüsitulemuste protokollid	

Summary

The current investigation aim was to test different in-situ remediation methods in real situation. The investigation consisted of 4 different stages:

- Making work schedule
- Contamination investigation
- Preparation of test area
- Laboratory experiment

The former Pahnimäe asphalt concrete plant (Pahnimäe ABT) is in Lääne-Viru County, Rakvere municipality, Päide village.

Contamination investigation field works were carried out 19.05-20.05.2021. 15 boreholes were drilled for taking soil samples. At least two soil samples were taken from each borehole. Analysis results from the laboratory showed, that there is PAH pollution in four boreholes, where PAH concentrations were over the limit values of industrial area. With contamination investigation polluted area was defined, which is about 1600 m² and its volume is about 4240 m³.

For the laboratory experiment test area with 12 boxes were prepared in Aaviku village, Kesk tee 36. During fieldwork (excavation, soil transport) different types of Pahnimäe ABT soil (fill, gravel, sand) were placed to different boxes.

Remediation experts were Finnish companies Ekogrid Oy and Nordic Envicon Oy. Tested in-situ remediation methods were physical, biological, chemical and combined (biological, chemical) methods. Every method was tested with different soil type (fill, gravel, sand). Hazardous substances (PAH, hydrocarbons) contents were monitored once in a month.

Best remediation results showed a combined method. After two month period, naphthalene content in every type of tested soil was decreased under the limit value of the industrial area. Naphthalene methyl and dimethyl derivatives were decreased under the limit value with 6 (sand) and 7 months (fill, gravel). Only with the combined method phenanthrene content was decreased under the limit value, which other methods didn't achieve. PAH sum content was decreased by 99% in sand, 98% in fill and 97% in gravel.

Sissejuhatus

Pahnimäe ABT pinnase puhastamise in-situ pilootkatse eesmärk oli laborikatsete abil leida vähemalt kolme erineva in-situ tehnoloogia võrdlemise teel optimaalseim meetod Pahnimäe ABT pinnase puhastamiseks tööstusmaa piirarvuni ning saada katselisel teel kinnitus metoodika toimivusele reaalsetes oludes. Laborina mõisteti antud töö raames ükskõik millist ruumi või ala, mis on ette valmistatud ja sobiv katse läbi viimiseks ja mis tagab katsetulemuste esinduslikkuse.

Töö koosnes 4-st erinevast etapist:

- Töökava koostamine
- Täpsustava reostusuuringu läbi viimine
- Katseala ettevalmistus ja välitööd pinnase väljakaevamine ning transpordiga
- Laboratoorne katse

Iga etapi järel koostati vahearuanne, mis töö tellijaga kooskõlastati.

1. Objekti ülevaade

1.1 Asukoht

Endine Pahnimäe asfaltbetoonitehase (ABT) jääkreostusobjekt (keskkonnaregistri kood JRA0000021) asub Lääne-Viru maakonnas, Rakvere vallas, Päide külas, Asfaltbetooni katastriüksusel (katastrinumber 66201:001:0620, Joonis 1). Ala kuulub YIT Infra Eesti AS-le. Katastriüksuse sihtotsarve on tootmismaa, mis pinnases ohtlike ainete piirnormide määrase järgi kuulub tööstusmaa kategooriasse.



Joonis 1. Reostunud piirkonnad endise Pahnimäe ABT territooriumil. Aluskaart: Maa-amet.

1.2 Geoloogiline ehitus ja hüdrogeoloogilised tingimused

Pahnimäe ABT paikneb Pandivere kõrgustiku nõlval, äärmises põhjaosas, kus vahetult ida pool Rakvere-Haljala maanteed laiub Viru lavamaa. Pandivere kõrgustikule on iseloomulik kergelt lainjas moreenreljeef ja suhteliselt õhuke pinnakate, mis on soodustanud karsti arengut. ABT territoorium paikneb põhja-lõunasuunalise Koeravere-Rakvere-Pahnimäe ooside ahelas põhjapoolseima, Pahnimäe

oosi lõunaosas. Maapind on suurte kõrgusvahedega – kuni 15 m. Maapinna absoluutkõrgused on vahemikus 72 (territooriumi lõunaosas) kuni 87,5 m (äärmises põhjaosas). Maapind langeb seljakult, ABT keskosast läände, lõunasse ja itta, põhja suunas tõuseb maapind veelgi.

ABT territooriumil on pinnakatte paksus kuni 8,3 m ja see koosneb täitepinnasest, kruusast, mitmesuguse terasuurusega liivast ja saviliivmoreenist. Käesoleva töö uuringuala (1. reostuspiirkond, Joonis 1) pinnakate koosneb samuti täitepinnasest, kruusast ja eriteralisest liivast. Täitepinnas levib pindmise kihina kogu uuritud territooriumi alal kuni 3,6 m paksuse kihina ning koosneb betoonist, asfaltist, killustikust, liivast, kruusast.

Valdaval alal levivad täitepinnase või mulla all mitmesuguse terasuurusega liivad ja kruus.

ABT puurkaevu 3117¹ andmetel lamab liivade-kruusade kompleksi all Jõhvi (O₂jh) lademe lubjakivi. Puurkaevu andmeil on lubjakivi pealispind 16 m sügavusel maapinnast, absoluutkõrgusel 59 m.

Maapinnalt esimene põhjaveekiht levib pinnakatte kruusades-liivades. Veetase langeb ida suunas, Haljala oja poole. Veekiht on maapinnalt lähtuva reostuse eest kaitsmata. Välitööde ajal (19-20.05.2021) rajatud puuraukudesse vett ei ilmunud, kuna nende lõppsügavus jäi veetasemest kõrgemale. 2006. a uuring ajal ilmus põhjavesi ühte puurauku (4027), mis asus ABT territooriumi kaguosas olevas reostuspiirkonnas (Joonis 1). Veetase oli 21.07.2006. a 4,4 m sügavusel maapinnast, absoluutkõrgusel 67,6 m.

Veerumäe talu puurkaevu andmetel on lubjakivis leviva põhjavee survetase ligikaudu 10 m sügavusel maapinnast, absoluutkõrgusel 60 m. Lubjakivi veekiht on nõrgalt kaitstud.

ABT veevarustus on lahendatud 70 m sügavuse puurkaevuga katastrinumbriga 3117. Lubjakivi veekihi vett kasutab veevarustuses ka Veerumäe talu. Kruusades-liivades levivat põhjavett saadakse ümbruskonna taludes salvkaevudega.

¹ <https://veka.keskkonnainfo.ee/veka.aspx?pkArvestus=1783870582>

1.3 Varasemad uuringud

2000. a tehti Pahnimäe ABT territooriumil OÜ Tartu Keskkonnauuringud poolt pinnase uuringud kuni 3 m sügavuseni, mille järgi pinnas oli reostunud naftasaadustega (8 800–6 000 mg/kg) bituumenikatelde piirkonnas sügavuses 0–3 m. Teistes uuritud piirkondades oli naftasaaduste sisaldus 150–4 600 mg/kg (s.o sihtarvu ja tööstustsooni piirarvu² vahel). Suurte põlevkiviõli mahutite juures ja õliseparaatorist lääne pool (reostuspiirkond 1. piirkonnast lõunas, vt Joonis 1) oli pinnase naftasaaduste sisaldus 2 300–4 600 mg/kg, mis on ainult mõnevõrra väiksem tööstustsooni piirarvust. Fenoolide ja aromaatsete süsivesinike sisaldus oli labori määramistäpsuse ja elutsooni piirarvude vahel.

2002. a koostas AS Maves ülevaate ABT üldisest seisundist ja hindas mahutites olevaid jääke³. Sama töö raames võeti 8.07.2003. a ABT puurkaevust katastrinumbriga 3117 ja lähima kolme talu (Liivaku, Mäeotsa ja Veerumägi) kaevudest veeproovid. Naftasaadusi ja fenooli ei leitud. Tiigis, mis asub 300 m ABT-st ida pool, leiti fenooli 2 µg/l. Naftasaadustega ja põlevkiviõliga olid reostunud ka õlipüüdurid kanalisatsioonitrassil enne suubumist tiiki ja pärast tiiki kuivenduskraavi alguses. Järeldati, et pinnas ning põhjavesi on territooriumil tõenäoliselt reostunud. Reostunud pinnas levib mahutite ja katelde ümbruses. Põhjavee liikumise suund on itta. Reostatud on sademevee kanalisatsioon. Mahutites sisalduvad ohtlike ainete jäägid kujutasid potentsiaalset ohtu keskkonnale ja nende laialivalgumisel maapinnale põhjustaks see lähimate talude vee reostumise. Liivaku talu salvkaevu vesi on enne 2000. aastat olnud reostunud naftasaaduste või põlevkiviõliga.

2006. a Pahnimäe ABT reostusuuringu⁴ käigus leiti tööstusmaa piirarve ületav pinnasereostus neljas piirkonnas – põlevkiviõli mahutite ümbruses, bituumenikatelde ja õlipüüduri ümbruses, ABT lääneosas, kus on maetud nafta- ja põlevkiviõli jääke ja ABT lõunaosas õlipüüduri ümbruses. Pinnas oli reostunud lenduvate orgaaniliste ühendite (BTEX), naftasaaduste, fenoolide ja PAH-dega. Uuringutega fikseeriti, et lenduvate orgaaniliste ühendite (BTX), naftasaaduste, fenoolide ja PAH-idega reostunud pinnasekiht

² Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases. Keskkonnaministri 28.06.2019 määrus nr 26. <https://www.riigiteataja.ee/akt/104072019006>

³ Ohtlike jääkreostuskollete järelevalve ja kontroll. AS Maves. 2003

⁴ Jääkreostuse likvideerimise projekti ettevalmistus endistel militaar- ja industriaalaladel. Pahnimäe ABT – JRK no. 40. ÜF Projekt 2003/EE16/P/PA/012. SWECO INTERNATIONAL AB. 2006.

lasub 0–7 m sügavusel maapinnast. Reostunud pinnase arvutuslik kogumaht hinnati 2005. aasta uuringuga 21 300 m³. Reostunud pinnase peal oleva mittereostunud pinnase mahuks hinnati 11 300 m³. Maapinnale lähim põhjaveekiht on reostunud lenduvate orgaaniliste ühendite, PAH-de ja naftasaadustega. Põhjavesi oli reostunud samal alal kus levib reostunud pinnas. Reostunud vee liikumine toimub ida suunas. Lubjakivi põhjaveekiht ei olnud reostunud. Uuringualal 1 hinnati reostunud ala suuruseks 3 200 m² ja reostunud kogi arvutuslikuks mahuks 5 240 m³.

AS Maves viis 2018. a läbi jääkreostusobjektide seirevõrgu inventuuri⁵ ja veekvaliteedi hindamise, mille käigus võeti veeproov Pahnimäe ABT-s asuvast 6,6 m sügavusest vaatluspuuraugust katastrinumbriga 19853. Puurauk rajati 2006. a riikliku jääkreostusobjektide uuringute ajal maa-ala kaguossa, puhastusseadmete juurde (kagupoolne reostuspiirkond Joonisel 1). Veeproovi analüüsitulemuste järgi oli vaatluspuuraugu vesi reostunud naftasaadustega (1 400 µg/l), aromaatsete süsivesinikega (benseen 13 µg/l ja ksüleenid 53 µg/l) ja PAH-dega (summaarne sisaldus 34,5 µg/l). Võrreldes 2006. a analüüsi tulemustega naftasaaduste ja PAH-de sisaldus vähenenud, kuid benseeni sisaldus oli jäänud samaks ja ksüleenide sisaldus isegi suurenenud.

2. Reostusuuring

Reostusuuringu alaks (ka hilisemaks katsealaks) oli 2006. a reostusuuringus kontuuritud 1. reostuspiirkond (Joonis 1 ja Joonis 2), kuna selle reostunud pinnas on mitmekesine (täitepinnas, kruus, liiv).

Reostusuuringu välitööd viidi läbi 19.05–20.05.2021. Uuringu käigus rajati puurmasinaga FrastePL löökvasar meetodil kokku 15 puurauku sügavusega kuni 7 m. Puuraugud rajati sellise sügavusega, et terve tuvastatud reostunud kiht oleks läbitud. Puurakude asukohad valiti nii, et oleks ühtlaselt kaetud terve 1. reostuspiirkond. Rajatud puurakude asukohad on toodud joonisel 2.

⁵ Jääkreostusobjektide seirevõrgu inventuur ja veekvaliteedi hindamine. AS Maves. 2018.

Välitöödel esinesid reostustunnused (pinnasel iseloomulik naftasaaduste lõhn ja/või värvus) puuraukudes PA-3, PA-5, PA-6, PA-8, PA-9, PA-10, PA-13⁶. Enamjaolt esinesid reostustunnused täitepinnases ja selle all lamavates eritalalistes liivades ning kruusas.

Igast puuraugust võeti vähemalt 2 pinnaseproovi. Pinnaseproovid võeti reostuse ilmnemisel reostunud kihist ja/või reostustunnuseta kihist, et oleks tõendatud puhta pinnase olemasolu ja seeläbi kindlaks tehtud reostuse vertikaalne ulatus. Puuraukudest PA-3, PA-8 ja PA-9 võeti igast august 3 pinnaseproovi, kuna oli kahtlus (naftasaaduste nõrk lõhn), et pinnas võib ka sügavamal veel reostunud olla.

Pinnaseproovid viidi analüüsimiseks Eurofins Environment Testing Estonia laborisse (omab ISO/IEC-17025 akrediteeringut). Kõikides pinnaseproovides analüüsiti ohtlike ainete piirnormide määruuses loetletud PAH komponente⁷ ja naftasaadusi.

Labori analüüsitulemuste põhjal selgus, et üle tööstusmaa piirarvu reostunud pinnas levib väiksemal alal, kui seda 2006. a uuringuga piiritleti. Üle tööstusmaa piirarvu on pinnas reostunud 1. reostuspiirkonnas endise mahuti asukoha ümbruses lääne, edela, loode, kirde ja ida suunas. Endise mahti asukohast lõunas oleva ala osas pole kindlust, kas seal esineb pinnasereostus või mitte, sest puurauku sinna rajada polnud võimalik künkliku reljeefi tõttu. Reostuskomponentideks on kõikjal PAH ühendid (naftaleen, fenantreen, atsenafteen ning naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid). Naftasaaduste sisaldused ületasid 8 proovis elumaa piirarve, kuid jäid kõikjal alla tööstusmaa piirarvu.

Puuraugus PA-8 ületasid PAH komponentidest fenantreen, atsenafteen, naftaleen ning naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid tööstusmaa piirarvu. Üle tööstusmaa piirarvu reostunud pinnas levib täitepinnases (mullasegune liiv, kruus) hinnanguliselt 1,2–2,5 m sügavusel maapinnast. Samas puuraugus on pinnas (täitepinnas, kruus, liiv) reostunud üle elumaa piirarvu hinnanguliselt 2,5–5,0 m sügavusel.

⁶ Puuraugus PA-5 oli tunda nõrka naftasaaduste lõhna 1,7–2,4 m sügavusel, kuid labori analüüside järgi ohtlikud ained vastavaid piirarve ei ületanud.

⁷ Antratseen, krüseen, fenantreen, naftaleen, püreen, atsenafteen, benso(a)püreen, naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid.

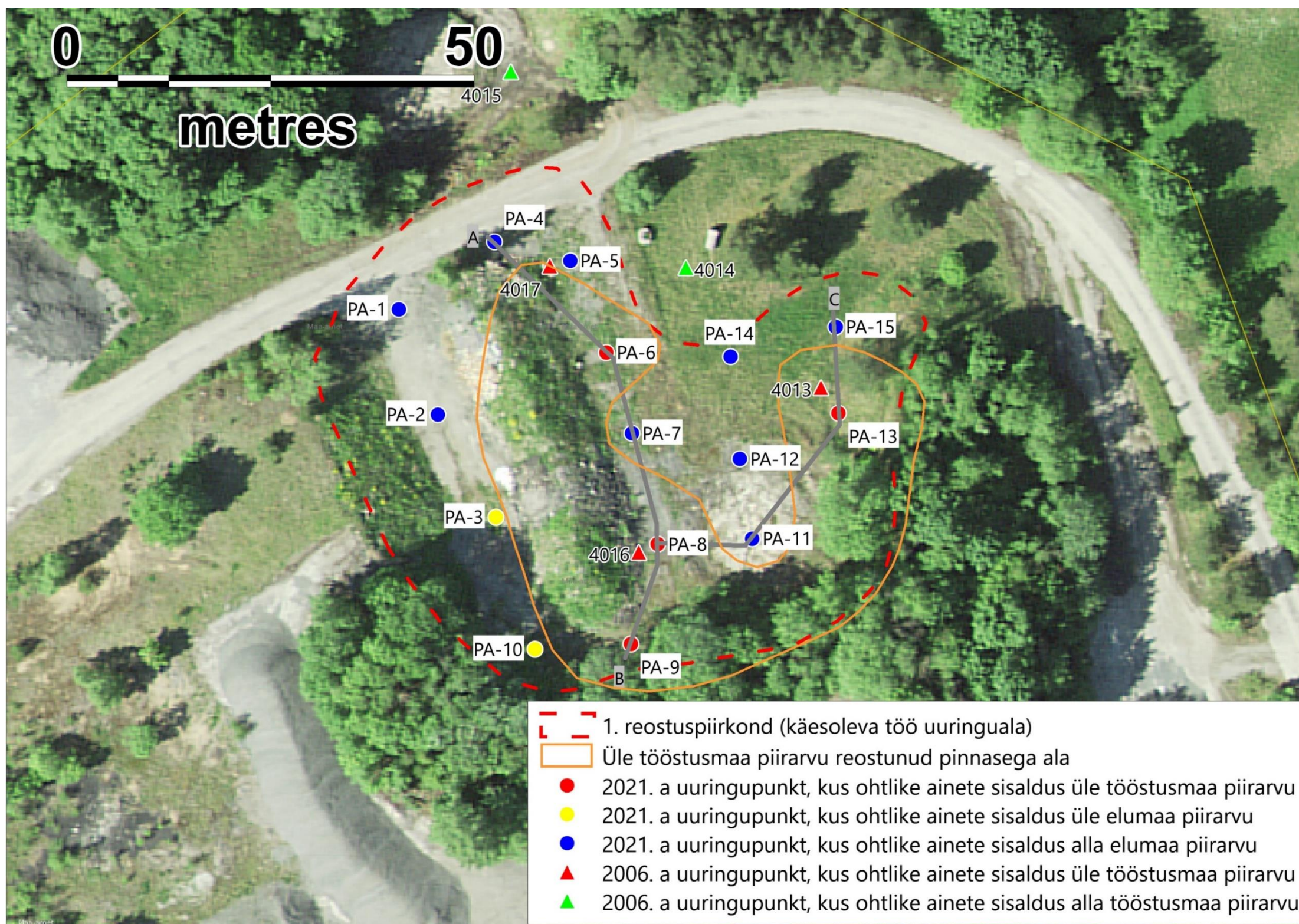
Puuraugus PA-9 ületasid samuti PAH komponentidest fenantreen, atsenafteen, naftaleen ning naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid tööstusmaa piirarvu. Üle tööstusmaa piirarvu reostunud pinnas (täitepinnas, kruus, liiv) levib hinnanguliselt 0,7–4,9 m sügavusel maapinnast.

Puuraukudes PA-6 ja PA-13 on pinnas reostunud üle tööstusmaa piirarvu vaid naftaleeniga. Puuraugus PA-6 levib reostunud pinnas (täitepinnas, liiv kruusaga) hinnanguliselt 0,5–2,4 m sügavusel maapinnast. Puuraugus PA-13 levib üle tööstusmaa piirarvu reostunud pinnas (täitepinnas, liiv kruusaga) 0,1–3,3 m sügavusel maapinnast.

Analüüsitulemused on esitatud Tabelis 1.

Reostusuuringuga piiritleti üle tööstusmaa piirarvu reostunud pinnasega ala, mille suurus on hinnanguliselt 1 600 m² ja reostunud pinnase maht on hinnanguliselt 4240 m³. Kuna endise mahuti asukohast lõunasse (PA-11 juures) polnud võimalik puurauku rajada künkliku reljeefi tõttu, siis pole selgust, kas seal esineb pinnasereostus või mitte.

Reostusuuringu põhjal võib järeldada, et võrreldes viimase, 2006. a uuringuga, on reostuse kontsentratsioonid aja jooksul vähenenud. Selle põhjuseks võib olla reostuskomponentide laiali kandumine horisontaal- või vertikaal suunas ja looduslik aeglane lagunemine saastekolde äärealadel. Kohati oli puuraukude sügavamates pinnasekihtides tunda nõrka naftasaaduste lõhna, mis võib viidata, et reostus on kandunud sügavamale läbi hea veejuhtivusega liiva- ja kruusapinnaste. Samas ei jõutud välitööde käigus puuraukudega sügavusele, kus pärast puhast pinnast taas reostustunnused oleksid ilmnenud. Kõik puuraugud rajati sellisele sügavusele, kus välitingimustes reostusele viiteid enam ei esinenud.



Joonis 2. Uuringuala plaan. Aluskaart: Maa-amet.

Tabel 1. Reostusuuringu pinnaseproovide analüüsitulemused.

Puurauk	Proovi intervall m	Proovi tähis	Naftasaadused mg/kg	Püreen mg/kg	Antratseen mg/kg	Fenantreen mg/kg	Benso(a)-püreen mg/kg	Atsenafteen mg/kg	Krüseen mg/kg	Naftaleen mg/kg	Naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid mg/kg	PAH summa (14) mg/kg
PA-1	4,0-4,4	P-1	420	0,044	0,016	0,012	0,041	<0,003	<0,003	<0,003	<0,009	0,11
PA-1	6,0-6,4	P-2	48	0,050	<0,003	0,004	0,007	<0,003	0,003	<0,003	<0,009	0,023
PA-2	1,3-1,6	P-3	<20	0,006	0,003	0,004	0,004	<0,003	0,003	<0,003	<0,009	0,02
PA-2	4,5-5,0	P-4	<20	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,009	0
PA-3	1,7-2,0	P-5	2100	0,97	0,79	2,9	0,78	0,62	0,35	7,0	5,4	33
PA-3	4,0-4,5	P-6	1300	3,1	2,0	6,7	1,2	1,8	1,2	30	14	85
PA-3	6,5-7,0	P-7	58	0,050	0,093	0,041	0,093	0,009	0,013	0,18	0,061	0,64
PA-4	1,4-1,8	P-8	<20	0,004	<0,003	0,004	<0,003	<0,003	<0,003	0,008	0,005	0,024
PA-4	3,5-4,0	P-9	39	0,15	0,14	0,15	0,066	0,048	0,046	0,39	0,22	1,7
PA-5	1,7-2,0	P-10	30	0,023	0,023	0,029	0,017	0,021	0,014	0,096	0,086	0,42
PA-5	4,0-4,5	P-11	<20	0,007	<0,003	0,008	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,004	0,023
PA-6	0,5-1,0	P-12	56	9,7	3,6	12	1,8	6,9	3,4	56	31	200
PA-6	2,5-3,0	P-13	<20	0,015	0,008	0,028	0,005	0,009	0,005	0,13	0,062	0,37
PA-7	1,3-1,6	P-14	85	0,31	0,11	0,19	0,21	0,048	0,15	0,61	0,24	2,4

Puurauk	Proovi intervall m	Proovi tähis	Naftasaadused mg/kg	Püreen mg/kg	Antratseen mg/kg	Fenantreen mg/kg	Benso(a)-püreen mg/kg	Atsenafteen mg/kg	Krüseen mg/kg	Naftaleen mg/kg	Naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid mg/kg	PAH summa (14) mg/kg
PA-7	5,0-5,5	P-15	<20	0,058	0,038	0,15	0,013	0,034	0,019	0,25	0,17	1,0
PA-8	1,5-2,0	P-16	3600	36	37	160	7,2	69	15	1400	590	3100
PA-8	2,5-3,0	P-17	1100	3,4	2,5	0,39	3,9	0,12	3,4	1,0	0,57	16
PA-8	4,5-5,0	P-18	46	0,61	0,34	1,2	0,19	0,44	0,16	8,4	3,5	20
PA-9	1,6-2,0	P-29	1300	46	49	260	<0,003	100	20	1100	600	3100
PA-9	3,5-4,0	P-30	2500	27	34	170	<0,003	57	11	1200	410	2400
PA-9	5,5-6,0	P-31	<20	0,077	0,069	0,39	0,013	0,12	0,037	1,4	0,72	3,9
PA-10	2,5-3,0	P-19	26	0,063	0,030	0,033	0,091	0,005	0,016	0,020	0,011	0,29
PA-10	3,5-4,0	P-20	1400	4,7	5,3	16	<0,003	7,3	3,4	38	18	130
PA-11	1,0-1,5	P-32	<20	0,044	0,095	0,049	0,087	0,013	0,020	0,075	0,055	0,54
PA-11	4,5-5,0	P-33	<20	<0,003	<0,003	0,008	<0,003	<0,003	<0,003	0,008	0,007	0,028
PA-12	1,5-2,0	P-27	<20	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,009	0
PA-12	4,5-5,0	P-28	51	0,006	0,007	0,004	0,037	<0,003	0,004	0,005	<0,009	0,063
PA-13	0,6-1,0	P-23	1300	4,6	4,2	9,7	3,5	5,5	4,9	79	24	180
PA-13	3,5-4,0	P-24	<20	0,013	0,006	0,010	0,009	0,003	0,005	0,023	0,009	0,087

Puurauk	Proovi intervall m	Proovi tähis	Naftasaadused mg/kg	Püreen mg/kg	Antratseen mg/kg	Fenantreen mg/kg	Benso(a)-püreen mg/kg	Atsenafteen mg/kg	Krüseen mg/kg	Naftaleen mg/kg	Naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid mg/kg	PAH summa (14) mg/kg
PA-14	1,6-2,0	P-25	<20	0,17	0,037	0,005	0,27	<0,003	0,035	<0,003	<0,009	0,51
PA-14	3,5-4,0	P-26	<20	0,054	0,036	0,014	0,077	0,003	0,015	0,006	0,004	0,21
PA-15	2,5-3,0	P-21	<20	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,009	0
PA-15	4,5-5,0	P-22	<20	0,074	0,019	0,006	0,059	0,003	0,034	0,005	<0,009	0,2
Elumaa piirarv			500	5	5	5	1	4	2	5	4	20
Tööstusmaa piirarv			5000	50	50	50	10	40	20	50	40	200

3. Välitööd ja näidiste kogumine

3.1 Katseala ettevalmistus

Laborikatsete läbi viimiseks renditi Rae valda Aaviku külla Kesk tee 36 aadressile laopind. Reostunud pinnase ladustamiseks ehitati katsealale kokku 6 veekindlast vineerist kasti (suurusega 6m³) ning toodi kohale 6 IBC plastikkonteinerit (suurusega 1m³). Kastide suurused valiti välja vastavalt katsete läbiviijate ekspertide soovitudele. Kastid paigaldati katsealale sedasi, et oleks tagatud nendele juurdepääs.

Katseala valmistati ette nelja erineva pinnase puhastamise katse läbi viimiseks:

- Füüsikaline katse (kolm 6 m³ suurust kasti)
- Bioloogiline katse (kolm 6 m³ suurust kasti)
- Keemiline katse (kolm 1 m³ suurust kasti)
- Kombineeritud katse (bioloogilise ja keemilise katse kombinatsioon, kolm 1 m³ suurust kasti)

Vastavalt tellijaga kokkulepitule toodi 17.02.2022 katsealale lisaks veel kolm 1m³ suurust IBC konteinerit Pahnimäe ABT territooriumilt pärit pinnast tausta informatsiooni saamiseks. Eesmärk oli jälgida katsealal seisva pinnase seisundit, millega tegevusi ei tehta. Taustaproovide analüüsitulemused on esitatud aruande lisa 5 ja 6.

3.2 Välitööd

Laborikatsete läbi viimiseks vajaliku pinnase väljakaevamistööd tehti Pahnimäe ABT territooriumil 7.10.2021. a. Kaevetööd tehti reostusuuringu käigus kindlaks tehtud kõige enam reostunud puurauk PA-9 piirkonnas, et saada katsete tarvis võimalikult esinduslik pinnas. Reostusuuringu käigus (läbi viidud 19.05–20.05.2021. a) võeti puuraugust PA-9 kolm pinnaseproovi naftasaaduste ja polütsükliiliste aroomaatsete süsivesinike (PAH) sisalduste määramiseks. Nii 1,6-2,0 m kui ka 3,5-4,0 m sügavuselt võetud pinnaseproovis ületas tööstusmaa piirarvu PAH komponendid fenantreen, atsenafteen,

naftaleen, naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid kui ka PAH summa (Tabelis 1). Naftasaaduste sisaldused jäid alla tööstusmaa piirarvu.

Katsealalt välja kaevatud pinnas transporditi kolme erineva veokiga (igas veokis eritüüpi pinnas: täitepinnas, liiv, kruus) katsealale ning ladustati koppekskavaatorit kasutades erinevatesse kastidesse.

3.3 Proovivõtt ja katsetega alustamine

Enne katsetega alustamist võeti igast kastist 1 kesendatud pinnaseproov naftasaaduste ja polütsükliliste aromaatsete süsivesinike (PAH) sisalduste määramiseks. Labori analüüsitulemuste põhjal selgus, et PAH üksikkomponentidest naftaleen, naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid, PAH summa olid kõikides kastides üle tööstusmaa piirarvu. Fenantreeni sisaldus jäi vaid ühes kastis (K-5) alla tööstusmaa piirarvu. Antratseen ületas tööstusmaa piirarvu vaid kastis K-6. Naftasaadused jäid ka kogutud pinnases alla tööstusmaa piirarvu, kuid üle elumaa piirarvu. Lisaks PAH sisalduse jälgimiseks jälgiti ka naftasaaduste sisalduse muutumisi, kui ühte olulist reostuskomponenti.

Analüüsitulemused on esitatud tabelis 2 ja aruande lisades 6, 7.

Tabel 2. Katsealal olevatest kastidest võetud esimesed pinnaseproovide analüüsitulemused.

Kasti tähis	Katse liik	Pinnase tüüp	Proovi- võtu kuupäev	Nafta- saadused mg/kg	Püreen mg/kg	Antratseen mg/kg	Fenantreen mg/kg	Benso(a)- püreen mg/kg	Atsenaften mg/kg	Krüseen mg/kg	Naftaleen mg/kg	Naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid ⁸ mg/kg	PAH summa (14) mg/kg
K-1	Füüsikaline	Täitepinnas	12.10.2021	4800	29	26	130	4,3	40	12	640	450	2000
K-2	Füüsikaline	Kruus	12.10.2021	2200	16	20	64	2,6	12	6,9	120	180	720
K-3	Füüsikaline	Liiv	12.10.2021	3200	19	21	56	2,9	13	8	120	190	790
K-4	Bioloogiline	Liiv	12.10.2021	1900	14	12	76	2,2	22	5,7	390	220	1100
K-5	Bioloogiline	Kruus	12.10.2021	2200	14	15	48	2,3	12	6,2	330	200	950
K-6	Bioloogiline	Täitepinnas	12.10.2021	2600	25	68	71	3,4	17	9,6	86	120	770
K-7	Keemiline	Täitepinnas	12.10.2021	2200	22	31	69	3,3	19	8,7	150	130	800
K-8	Keemiline	Kruus	12.10.2021	2400	23	23	110	3,5	33	11	480	280	1400
K-9	Keemiline	Liiv	12.10.2021	2900	17	20	60	3,1	11	7,2	150	220	840
K-10	Kombineeritud	Täitepinnas	12.10.2021	2300	15	15	64	2,4	11	6,1	340	210	1000
K-11	Kombineeritud	Kruus	12.10.2021	2600	18	17	52	2,8	12	6,5	130	200	770
K-12	Kombineeritud	Liiv	12.10.2021	3200	22	24	110	3,5	44	11	670	310	1600
Elumaa piirarv				500	5	5	5	1	4	2	5	4	20
Tööstusmaa piirarv				5000	50	50	50	10	40	20	50	40	200

⁸ Tabelis kajastatud naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide kõrgeim sisaldus.

4. Laboratoorne katse ja selle tulemused

Laboratoorse katse käigus katsetati korraga nelja erinevat in-situ puhastusmeetodit: keemilist, füüsikalist, bioloogilist ja bioloogilise, keemilise meetodi kombinatsiooni.

Kõik läbi viidud laboratoorsed katsed kestsid 9 kuud. Katsetega alustati 2021. a oktoobris ja lõpetati 2022. a juuli lõpus.

Enne katsete alustamist võetud pinnaseproovide analüüsitulemused näitasid (Tabel 2), et kõikides katsealal asunud kastides ületas katse alguses tööstusmaa piirarvu PAH summa sisaldus, naftaleeni sisaldus ja naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus. Fenantreeni sisaldust ei ületanud katse alguses tööstusmaa piirarvu (50 mg/kg) vaid kastis K-5 olev kruusapinnas, kuid seegi sisaldus (48 mg/kg) oli väga lähedal tööstusmaa piirarvule. Naftasaadused jäid alla tööstusmaa piirarvu, kuid nende sisalduste muutumist jälgiti ka edaspidi kui ühtesid peamisi reostuskomponente.

Füüsikalise katse eksperdiks oli Soome ettevõtte Ekogrid Oy.

Ettevalmistuse käigus (08.10.2021. a) paigaldati igasse kasti 4 metallist elektroodi (armatuurvarrast), mis ühendati kaablitega Ekogrid kontrollieriga. Ekogrid kontrolleri kaudu käis tööprotsessi juhtimine ja jälgimine. Pidevalt jälgiti visuaalselt pinnase niiskust. Kui pinnas tundus kuiv, kasteti pinnast veega.

Bioloogilise, keemilise ja kombineeritud katsete eksperdiks oli Soome ettevõtte Nordic Envicon Oy, kes alustas katsetega 28.10.2021. a.

Bioloogilise katse läbi viimiseks kasutati patenteeritud Remsoili toodet, mis on mõeldud saasteainete lagundamiseks pinnases kasutades biostimulatsiooni. Remsoil sisaldab Soome farmide orgaaniliste kõrvalsaaduste koostisosi, mis on täielikult lõhna ja tolmuva. Tootes olevad looduslikud toitained stimuleerivad pinnases olevate mikroobide aktiivsust ja kiirendavad kahjulike ainete lagundamist. Meetod põhineb biostimulatsioonil, mille käigus Remsoili toote lisamisega stimuleeritakse pinnases olevaid mikroobe saasteainete lagundamiseks. Katseperioodi käigus lisati reostunud pinnasele kokku kolm korda vesilahusena Remsoili toodet.

Keemilise katse läbi viimisel kasutati keemilist oksüdeerimist, mille käigus lisati pinnasele oksüdeerijat – vesinikperoksiidi (H_2O_2), mis saasteaineid lagundab keemiliste reaktsioonide kaudu. Selle efektiivsus põhineb Fentoni reaktsioonil, mille puhul on oksüdeerijaks vesinikperoksiid ja katalüsaatoriks rauaioonid ning rauasoolad. Oksüdatsiooniprotsessi reaktsiooni iseloomustab hüdroksüülradikaalide teke, mis lagundavad orgaaniliste ainete struktuuri ja seeläbi muutuvad saasteained kergemini biolagundatavaks. Enne katsega alustamist, määrati pinnases üldraua kontsentratsioonid. Pinnase oksüdeerijat vesinikperoksiidi lisati katse ajal kokku neli korda.

Kombineeritud katse läbi viimiseks kasutati Remsoil toodet ja keemilist oksüdeerimist vesinikperoksiidi lisamisega. Katseperioodil lisati Remsoili ja vesinikperoksiidi kolm korda.

Kord kuus võeti kõikidest kastidest pinnaseproov naftasaaduste ja polütsükliliste aroomaatsete süsivesinike (PAH) sisalduste määramiseks, et jälgida puhastusprotsessi ja saasteainete kontsentratsioonide muutusi ja hinnata seeläbi katsete tulemuslikkust. Pinnaseproovide analüüsitulemuste põhjal said eksperdid vajadusel tööprotsessi muutusi tuua (nt lisada vesinikperoksiidi, Remsoili jms). Pinnaseproovid võttis OÜ Maves ekspert Artto Pello.

Kõik võetud pinnaseproovide analüüsitulemused on esitatud aruande lisades 6 ja 7.

Katsete tulemuslikkuse hindamisel lähtuti algtaseme ja lõpptaseme erinevustest ning ohtlike ainete sisalduste muutused katseperioodil on esitatud protsentides. Sealjuures tuleb arvestada proovivõtul ja ka laborianalüüsidel esinevat määramatust. Pinnaseproovid võeti kui kesendatud proovid. See tähendab, et proovid võeti erinevatest sügavustest ja segati seejärel kokku. Pinnases olevad ohtlikud ained võivad levida aga kohati üsna mosaiiksel, mistõttu esineb ka ohtlike ainete sisalduste kõikumisi pinnaseproovides. Seetõttu ei andnud ka taustaproovid juurde olulist infot, kuna ohtlike ainete sisaldused olid katse lõppedes kohati mõnevõrra suuremad või siis samas suurusjärgus.

Katse ajal toimunud ohtlike ainete sisalduste muutuste trendid on esitatud aruande lisades 1-4.

4.1 Füüsikalise katse tulemused

Füüsikalise katse käigus langes kõige enam PAH ühendi **naftaleeni** sisaldus: täitepinnases 96%, kruusas 95% ja liivas 96%. Tööstusmaa piirarvust püsivalt väiksem sisaldus saadi täitepinnase puhul pärast 8. kuud, kruusa puhul pärast 4. kuud ja liiva puhul pärast 5. kuud.

Naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus langes täitepinnases 51%, liivas 68%. Kruusas jäi sisaldus põhimõtteliselt algtasemele (190 mg/kg katse alguses ja 180 mg/kg katse lõpus).

PAH summa sisaldus langes täitepinnases 45% ja liivapinnases 56%. Kruusapinnase puhul PAH summa sisalduse vahepealne langus muutus katse lõpuks mõningaseks tõusuks (720 mg/kg katse alguses ja 820 mg/kg katse lõpus). Järeldusena saab öelda, et PAH summa sisaldused kruusapinnases ei muutunud. Suurem sisaldus katse lõpus viitab PAH ühendite mosaiiksusele pinnases ja proovivõtu määramatusel.

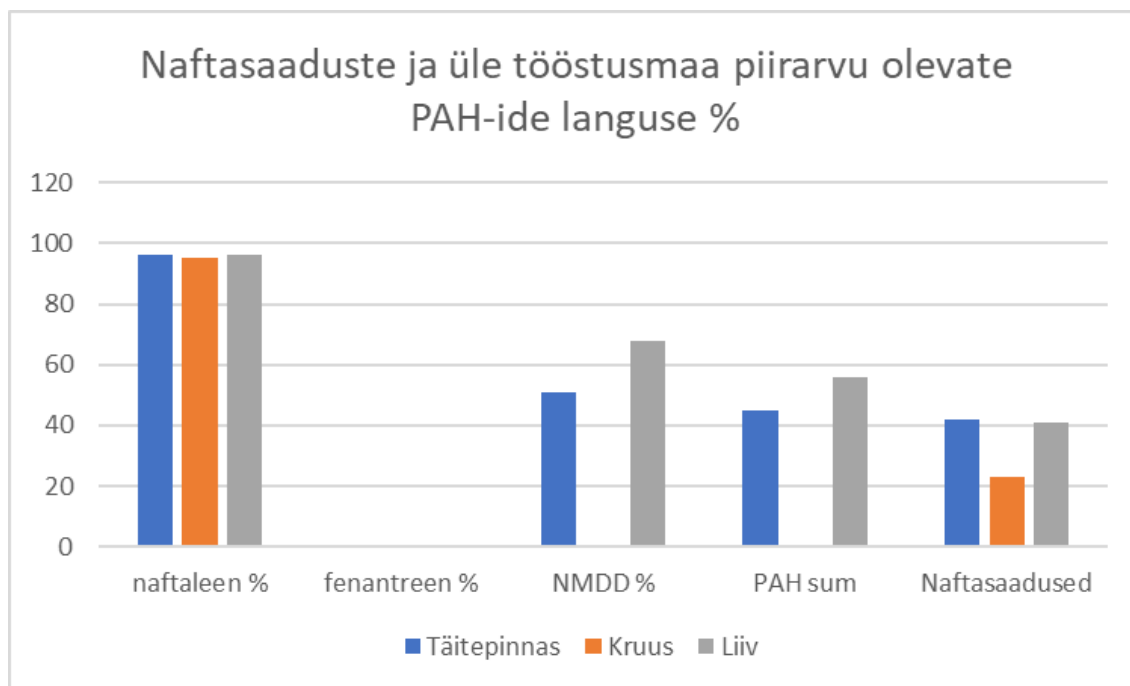
Naftasaaduste sisaldus langes füüsikalise katse puhul kõikides pinnasetüüpides. Täitepinnases langes sisaldus 42%, kruusapinnases 23% ja liivapinnases 41%.

Fenantreeni sisaldus ei langenud ühegi katsetatud pinnasetüübi puhul, kuigi meetodi toimimine Eesti oludes on varasemalt teada⁹. Võimalik, et puudus sobilike toitainete olemasolu pinnases, mis aine lagundamist enam soodustaksid.

Kõige paremini toimis füüsikaline katse liivapinnase puhul, kus üle tööstusmaa piirarvu olevad PAH komponendid¹⁰ ja naftasaadused langesid keskmiselt 52%. Täitepinnase puhul oli langus 47% ja kruusa puhul 24% (Joonis 3).

⁹ Kari 24 pinnasereostuse saneerimisaruanne. 2018. AS Maves. Töö nr: 18036.

¹⁰ Naftaleen, fenantreen, naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaadid, PAH summa



Joonis 3. Füüsikalise katse käigus naftasaaduste ja üle tööstusmaa piiraru olevate PAH-ide languse%.

4.2 Bioloogilise katse tulemused

Naftaleeni sisaldus langes ka bioloogilise katse käigus kiiresti alla tööstusmaa piiraru. Kruusapinnase puhul saavutati tööstusmaa piirarvust püsivalt väiksem sisaldus pärast 3. kuud ning liiva ja täitepinnase puhul pärast 4. kuud. Liiva- ja kruusapinnases langes naftaleeni sisaldus katseperioodil 100% ja täitepinnases 95%.

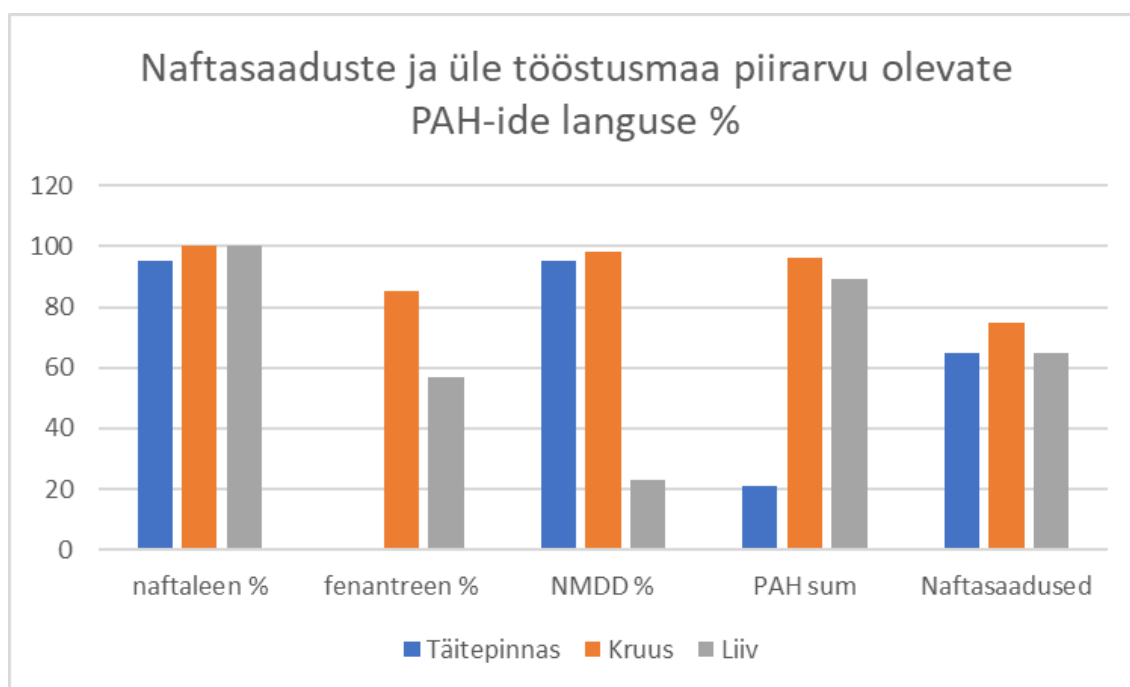
Naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus langes täitepinnases 95%, kruusas 98% ja liivas kõige vähem: 23%. Tööstusmaa piirarvust püsivalt madalam sisaldus saavutati liivapinnase puhul pärast 5. kuud ja kruusapinnase puhul pärast 7. kuud. Täitepinnases jäi naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus katse lõpuks üle tööstusmaa piiraru.

Fenantreeni sisaldus langes liiva- ja kruusapinnases, kuid katse lõppedes oli täitepinnases suurem võrreldes katse algusega (71 mg/kg katse alguses ja 150 mg/kg katse lõpus). Liivas langes fenantreeni sisaldus 57% ja kruusas 85%.

PAH summa sisaldus langes täitepinnases 21%, kruusas 96% ja liivas 89%. Sealjuures saavutati nii liiva kui ka kruusapinnases püsivalt tööstusmaa piirarvust madalam väärtus pärast 8. kuud. Täitepinnases jäi PAH summa sisaldus katse lõppedes üle tööstusmaa piirarvu.

Naftasaaduste sisaldus langes täitepinnases 65%, kruusas 75% ja liivas 65%.

Bioloogiline katse toimis kõige paremini kruusapinnase puhul, kus üle tööstusmaa piirarvu olevad PAH komponendid ja naftasaadused langesid keskmiselt 91%. Liivapinnases oli langus 67% ja täitepinnases 55% (Joonis 4).



Joonis 4. Bioloogilise katse käigus naftasaaduste ja üle tööstusmaa piirarvu olevate PAH-ide languse%.

4.3 Keemilise katse tulemused

Sarnaselt füüsikalise ja bioloogilise katsega, langes keemilise katse käigus **naftaleeni** sisaldus kiiresti alla tööstusmaa piirarvu. Liivapinnases saavutati tööstusmaa piirarvust püsivalt väiksem sisaldus juba pärast 2. kuud ning kruusa ja täitepinnase puhul pärast 3. kuud. Kruusas langes naftaleeni sisaldus 99%, liivas 98% ja täitepinnases 97%.

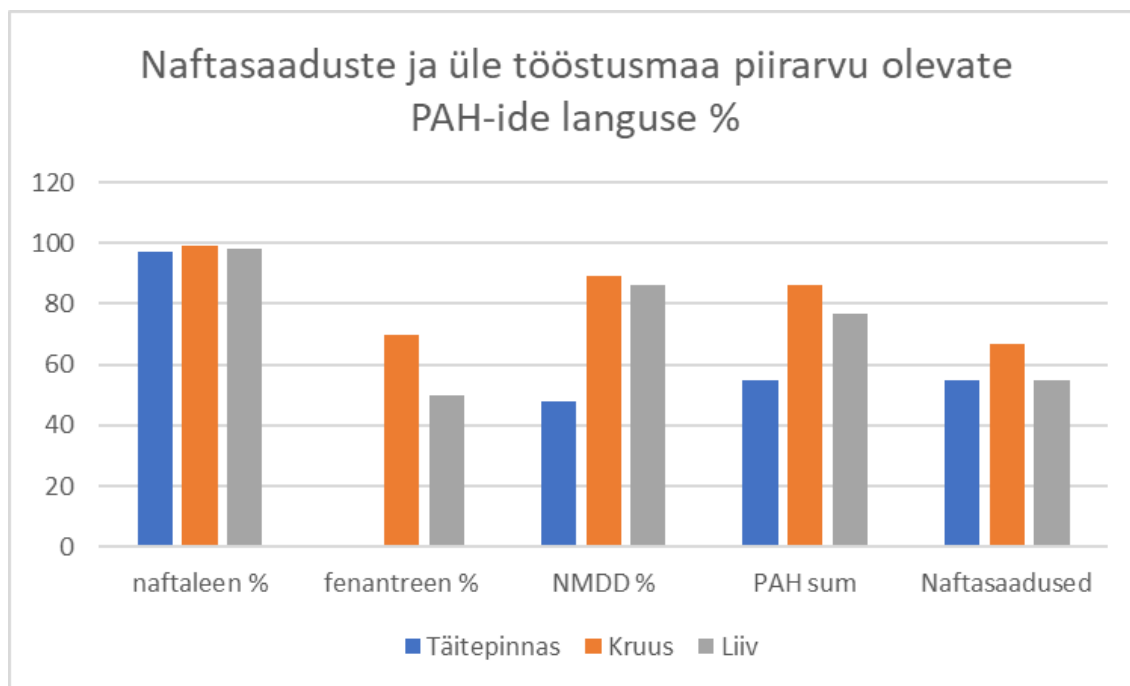
Naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus langes kruusas 89%, liivas 86% ja täitepinnases 48%. Tööstusmaa piirarvust püsivalt madalam sisaldus saavutati liiva- ja kruusapinnases vastavalt pärast 7. ja 8. kuud. Täitepinnases jäi naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus katse lõppedes üle tööstusmaa piirarvu.

Fenantreeni sisaldus liiva- ja kruusapinnases langes katse lõppedes samuti alla tööstusmaa piirarvu (vastavalt pärast 7. ja 8. kuud), kuid täitepinnases sisaldused ei langenud. Kruusas langes fenantreeni sisaldus 70% ja liivas 50%.

PAH summa sisaldus langes täitepinnases 55%, kruusas 86% ja liivas 77%. Liivapinnases saavutati püsivalt tööstusmaa piirarvust madalam väärtus pärast 7. kuud ja kruusas pärast 8. kuud. Täitepinnases jäi PAH summa sisaldus katse lõppedes üle tööstusmaa piirarvu.

Naftasaaduste sisaldus langes kruusas 67% ning täitepinnases ja liivas 55%.

Keemiline katse näitas parimaid tulemusi samuti kruusapinnase puhul, kus üle tööstusmaa piirarvu olevad PAH komponendid ja naftasaadused langesid keskmiselt 82%. Liivapinnases oli langus 73% ja täitepinnases 51% (Joonis 5).



Joonis 5. Keemilise katse käigus naftasaaduste ja üle tööstusmaa piiraru olevate PAH-ide languse%.

4.4 Kombineeritud katse tulemused

Kombineeritud katse näitas ootuspäraselt kõige paremaid tulemusi. Kombineeritud katse käigus langes **naftaleeni** sisaldus pärast 2. kuud püsivalt alla tööstusmaa piiraru kõikide pinnasetüüpide puhul. Täitepinnases ja liivas oli langus 100% ja kruusas 98%.

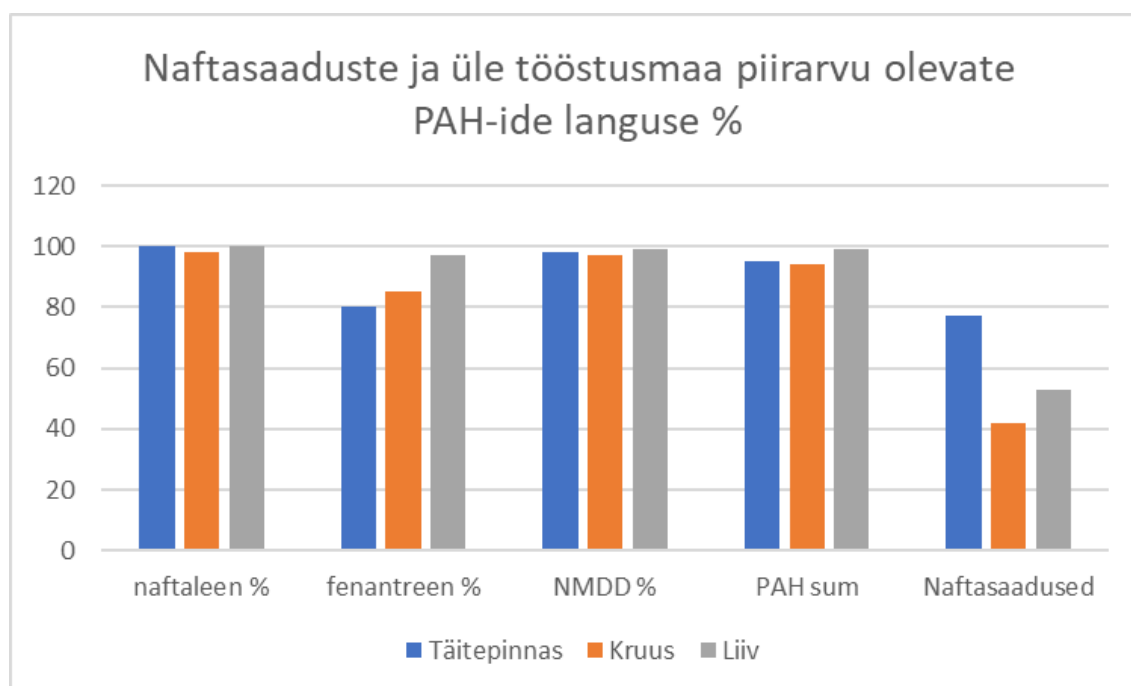
Naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus langes katse lõppedes kõikides kastides alla tööstusmaa piiraru. Liivas pärast 6. kuud ja täitepinnases ning kruusas pärast 7. kuud. Liivas langes naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus 99%, täitepinnases 98% ja kruusas 97%.

Fenantreeni sisaldus langes katse lõppedes kõikides pinnasetüüpides alla tööstusmaa piiraru, mida teiste katsete puhul ei saavutatud. Liiva- ja täitepinnases puhul saavutati püsivalt tööstusmaa piirarvust madalam väärtus 5. kuuga ja kruusapinnases 7. kuuga. Kokku langes fenantreeni sisaldus liivas 97%, kruusas 85% ja täitepinnases 80%.

PAH summa sisalduse langus näitas kombineeritud katse puhul samuti väga head langust. Kokku langes PAH summa sisaldus liivas 99%, täitepinnases 95% ja kruusas 94%. Liivapinnases saavutati püsivalt tööstusmaa piirarvust madalam väärtus pärast 7. kuud ning kruusas ja täitepinnases pärast 8. kuud.

Naftasaaduste sisaldus langes kõige paremini täitepinnases: 77%, liivas 53% ja kruusas 42%.

Kombineeritud katse näitas parimaid tulemusi täitepinnase puhul, kus üle tööstusmaa piirarvu olevad PAH komponendid ja naftasaadused langesid keskmiselt 90%. Liivapinnases oli langus 89,6% ja kruusapinnases 83%. PAH komponendid ja PAH summa langesid kõige enam liivapinnases (Joonis 6).



Joonis 6. Kombineeritud katse käigus naftasaaduste ja üle tööstusmaa piirarvu olevate PAH-ide languse%.

4.5 Meetodite plussid/miinused

Laboratoorsete katsete põhjal saab järeldada, et kõige paremini toimunud in-situ puhastusmeetod oli keemilise ja bioloogilise meetodi kombinatsioon. Kui teiste katsetatud meetodite puhul toimis mõne pinnase puhul meetod kehvemini, siis kombineeritud katse käigus langesid kõikide pinnasetüüpide puhul PAH-ide ja naftasaaduste sisaldused enam-vähem võrdselt hästi. Lisaks oli kombineeritud katse ainuke, mille käigus langes ka fenantreeni sisaldus alla tööstusmaa piirarvu. Vaata lisa 1.

Alljärgnevalt on toodud töö käigus selgunud erinevate katsete tugevused ja nõrkused.

Füüsikaline katse

Füüsikaline katse vajab kõige vähem lisatööd. Ettevalmistavate tööde käigus paigaldati igasse kasti 4 metallist elektroodi, mis ühendati kaablitega Ekogrid kontrolliga. Tarvis oli jälgida visuaalselt pinnaseniiskust ja pinnast aeg-ajalt kasta veega. Muid lisategevusi meetod ei vajanud. Meetod sobib väga hästi objektidele, kus sealset tööd tohib minimaalselt häirida.

Negatiivse poole pealt saab välja tuua, et meetod toimis võrreldes teiste katsetatud meetoditega kõige vähem efektiivselt, sh kõige vähem tulemuslikult kruusapinnase puhul. Samas on Ekogrid Oy ekspertide sõnul ohtlike ainete lagundamise tõhustamiseks võimalik lisada pinnasele toitaineid, mis oluliselt soodustavad mikroorganismide tööd pinnases, kes ohtlike aineid lagundavad.

Bioloogiline, füüsikaline ja kombineeritud katse näitasid ohtlike ainete lagundamisel paremaid tulemusi võrreldes füüsikalise katsega. Bioloogilise ja keemilise katse võrdluses näitas bioloogiline katse mõnevõrra paremat toimet, kuid mõlema katse kombinatsioon oli katsetatud meetoditest kõige efektiivsem.

Kõik need meetodid vajavad aga enam sekkumist tööprotsessi. Vastavalt analüüsitulemustele, tuli üle vaadata tööplaan ja välja kalkuleerida lisatavate ainete (Remsoil, vesinikperoksiid) kogused ja seejärel uuesti/vajadusel puhastusprotsessi muuta. See tähendab, et objektile tuleb arvestada puhastusprotsessi läbi viivate töötajate kohalolekuga. Samuti võib keeruline olla välja kalkuleerida vajaminevat Remsoili ja vesinikperoksiidi kogust.

5. Meetodite maksumuse võrdlus

Järgmise etapi (vt ptk 6) käigus on plaanis kasutada in-situ puhastusmeetodit Pahnimäe ABT territooriumil, mille käigus puhastatakse orienteeruvalt 400 m³ pinnast kohalikes keskkonna tingimustes. Vastavalt Soome ekspertide (puhastustööd) ja OÜ Maves (täpsustav reostusuuring, seiretööd) maksumuste kalkulatsioonidele on töö esialgsed maksumused toodud tabelis 3. Arvestada tuleb, et töö täpsed maksumused selguvad järgmise etapi hanke korraldamise staadiumis. Seire maksumuse kalkuleerimisel on arvestatud, et seiret alustatakse kuu pärast puhastustöödega alustamist ja seda tehakse kokku 11 kuud. 400 m³ pinnase puhastamise käigus rajatakse tööalale seireks igakuiselt 5 puurauku ja võetakse igast puuraugust 2 pinnaseproovi PAH sisalduste määramiseks. Täpne seireplaan pannakse kokku II etapi töökava koostamise käigus.

Tabel 3. 400 m³ pinnase puhastamise orienteeruvad maksumused. Hinnad on toodud ilma käibemaksuta.

Meetodi tüüp	Orienteeruv maksumus ilma seireta	Orienteeruv maksumus seirega
Füüsikaline meetod	65 000	100 000
Bioloogiline meetod	65 000	100 000
Keemiline meetod	105 000	140 000
Kombineeritud meetod	75 000	110 000

6. Järgmine etapp

Järgmise etapiga (edaspidi II etapp) on kavas pilootkatse Pahnimäe ABT territooriumil, kus puhastatakse in-situ meetodil vähemalt 400 m³ pinnast tööstusmaa piirarvudeni. Reostuskomponentideks on polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud (PAH). Vastavalt Pahnimäe ABT pinnase puhastamise in-situ pilootkatsete tulemustele on eelistatuim bioloogilise ja keemilise meetodi kombinatsioon.

II etapi tööde kava on järgmine:

- Eeltööd – reostusuuringu läbi viimine reostustasemete kindlaks tegemiseks, katseala valik,

- Töökava koostamine (sh seirekava koostamine)
- Puhastustööd – puuraukude rajamine Remsoili ja vesinikperoksiidi lisamiseks, tulemuste seire
- Aruandlus

6.1 Eeltööd

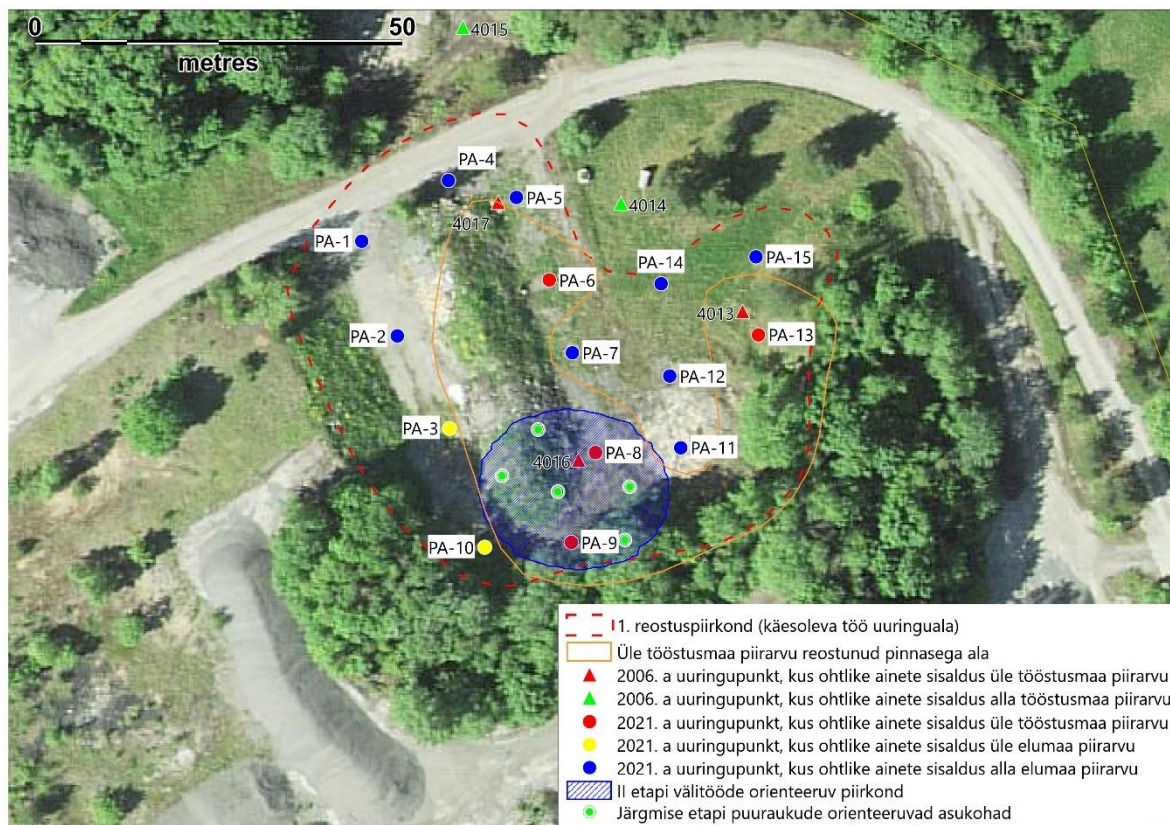
Enne puhastustöödega alustamist tuleb välja valida puhastusmeetodi kasutamise maa-ala täpne asukoht. Vastavalt 2021. a läbi viidud reostusuuringu tulemustele, oli kõige enam reostunud pinnas puuraukude PA-8 ja PA-9 ümbruses. Puuraugu PA-9 ümbrusest kaevati 2021. a pinnast välja, mida kasutati pilootkatsete läbi viimisel. Seetõttu ei ole see ala enam kõige sobivam II etapi tööde läbi viimiseks. Otstarbekas on viia läbi täiendav reostusuuring joonisel 7 välja toodud asukohas. Reostusuuringu käigus tuleb rajada 5 puurauku ja võtta igast puuraugust vähemalt 2 pinnaseproovi. Pinnaseproovides analüüsitakse Keskkonnaministri määruses nr 26¹¹ loetletud PAH komponentide ja PAH summa sisaldusi. Puuraugud rajatakse sellise sügavusega, et oleks läbitud terve reostunud pinnase kiht. Enne reostusuuringu läbi viimist tuleb eemaldada ja ümber tõsta pinnasekuhi, mis planeeritavasse tööalasse jääb. Pinnasekuhja ümber tõstmine tuleb kooskõlastada territooriumi valdajaga.

6.2 Töökava

Reostusuuringu tulemuste põhjal koostatakse töökava, mis sisaldab järgmist infot:

- Kirjeldatakse reostusuuringu käigus kindlaks tehtud reostustasemeid ning reostuse horisontaalset ja vertikaalset levikut;
- tuuakse välja sobiv maa-ala pinnase in-situ puhastamiseks;
- valitakse välja puhastusmeetodi tarbeks vajalikud puuraukude asukohad ja nende arv;
- koostatakse seirekava, millega määratakse igakuiselt rajatavate puuraukude ja pinnaseproovide arv;
- kirjeldatakse üldist tööprotsessi ja aruandlust.

¹¹ Keskkonnaministri 28.06.2019. a määrus nr 26 „Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases“. <https://www.riigiteataja.ee/akt/104072019006>



Joonis 7. Järgmise etapi plaan. Aluskaart: Maa-amet.

6.3 Puhastustööd

In-situ puhastustööde käigus tuleb rajada Pahnimäe ABT territooriumile katsealaks valitud asukohta puuraugud. Puuraukudesse paigaldatakse perforatsioonid torud, mille kaudu toimub edaspidi vesilahusena patenteeritud Remsoil toote ja keemilise oksüdeerija vesinikperoksiidi (H_2O_2) lisamine pinnasesse. Remsoil toode on täielikult lõhna ja tolmuva. Tootes olevad looduslikud toitained stimuleerivad pinnases olevate mikroobide aktiivsust ja kiirendavad kahjulike ainete lagundamist. Vesinikperoksiidi (H_2O_2) lisatakse keemiliste reaktsioonide aktiveerimiseks, mis saasteaineid pinnases lagundavad. Selle efektiivsus põhineb Fentoni reaktsioonil, mille puhul on oksüdeerijaks vesinikperoksiid ja katalüsaatoriks rauaioonid ning rauasoolad. Enne katsega alustamist tuleb määrata pinnases üldraua kontsentratsioonid.

Puhastustööde efektiivsust seiratakse igakuiselt võttes pinnaseproove ning analüüsides PAH-ide sisaldusi. Puhastustööd kestavad seni, kuni on saavutatud tööstusmaa piirarvudele vastav pinnas.

Puhastustööde järel koostatakse aruanne, kus kirjeldatakse detailselt II etapi töid ja antakse vajadusel täiendavad soovitused kogu Pahnimäe ABT reostunud pinnase puhastamiseks.

Tööprotsessi orienteeruv kestus on 8–12 kuud (arvestades pilootprojekti tulemusi), kuid täpne ajakulu selgub tööde käigus.

II etapi tööd tuleb kooskõlastada Pahnimäe territooriumi valdajaga.

7. Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärk oli laborikatsete abil leida vähemalt kolme erineva in-situ tehnoloogia võrdlemise teel optimaalseim meetod Pahnimäe ABT pinnase puhastamiseks tööstusmaa piirarvuni ning saada katselisel teel kinnitus metoodika toimivusele reaalses oludes. Töö koosnes neljast etapist: töökava koostamine, täpsustava reostusuuringu läbi viimine, katseala ettevalmistus ja välitööd pinnase väljakaevamisega ning laboratoorne katse.

Endine Pahnimäe asfaltbetoonitehase (ABT) jääkreostusobjekt asub Lääne-Viru maakonnas, Rakvere vallas, Päide külas. 2006. a läbi viidud uuringuga tehti kindlaks neljas erinevas piirkonnas asuva pinnasereostuse olemasolu, mille kogumaht on 21 300 m³.

Käesoleva töö käigus viidi läbi täiendav reostusuuring 2021. a. Reostusuuringu alaks (ka hilisemaks katsealaks) oli 2006. a reostusuuringus kontuuritud 1. reostuspiirkond. Uuringu käigus rajati 15 puurauku ja võeti kokku 34 pinnaseproovi. Pinnaseproovides analüüsiti naftasaaduste ja PAH-ide sisaldusi. Reostusuuringuga piiritleti üle tööstusmaa piirarvu reostunud pinnasega ala, mille suurus on hinnanguliselt 1600 m² ja reostunud pinnase maht on hinnanguliselt 4240 m³.

Laborikatsete läbi viimiseks valmistati ette katseala Rae vallas Aaviku külas Kesk tee 36 aadressil. Katseala valmistati ette nelja erineva pinnase puhastamise katse läbi viimiseks: füüsikaline katse, bioloogiline katse, keemiline katse ja kombineeritud katse (bioloogilise ja keemilise katse kombinatsioon). Igat meetodit katsetati 3 erineva Pahnimäe ABT territooriumilt pärit pinnasetüübi jaoks: täitepinnas, liiv, kruus.

Kõige paremaid tulemusi näitas kombineeritud katse. Kombineeritud katse käigus langes naftaleeni sisaldus pärast 2. kuud püsivalt alla tööstusmaa piirarvu kõikide pinnasetüüpide puhul. Täitepinnases ja liivas oli langus 100% ja kruusas 98%.

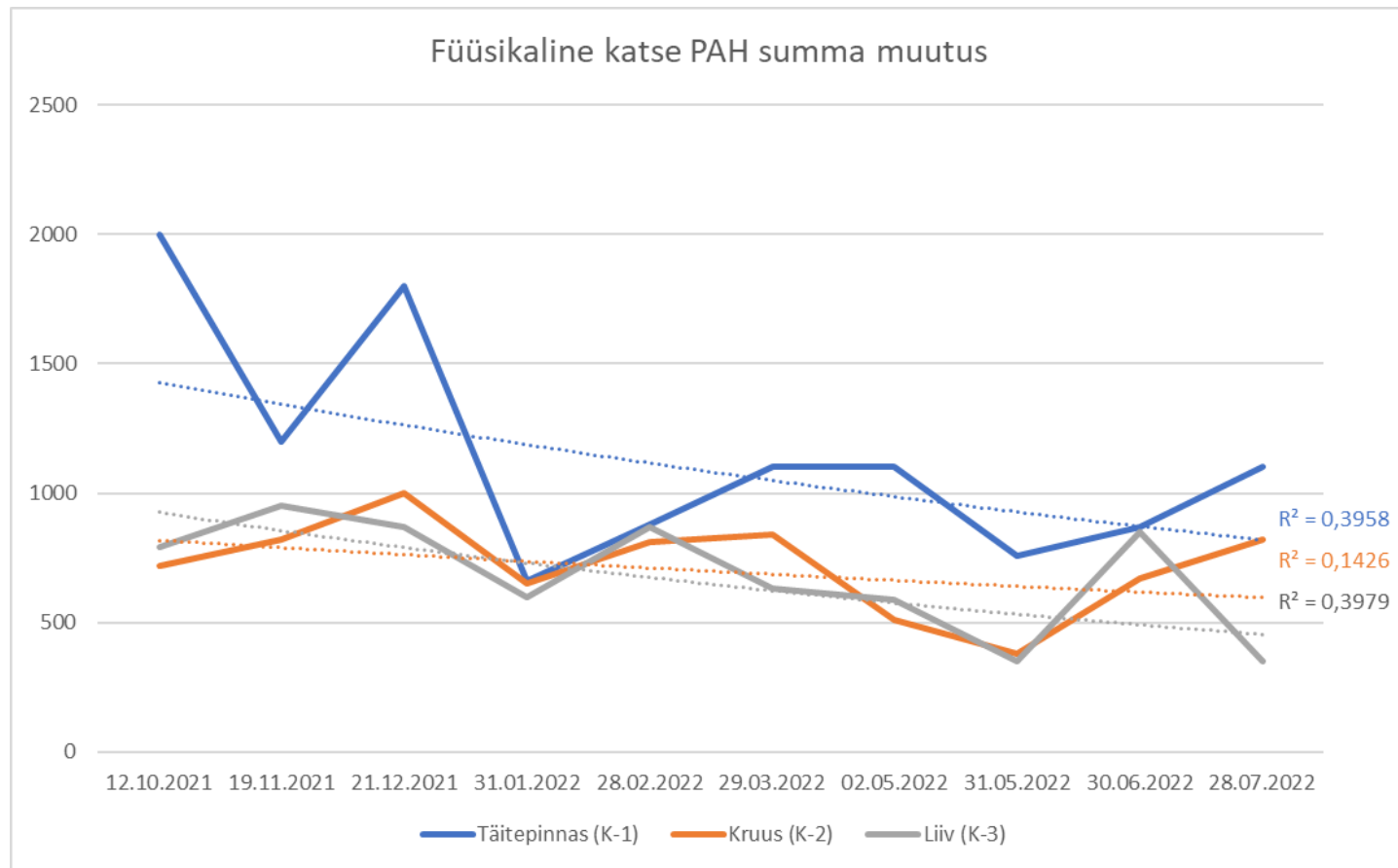
Naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus langes katse lõppedes kõikides kastides alla tööstusmaa piirarvu. Liivas langes naftaleeni metüül- ja dimetüül-derivaatide sisaldus 99%, täitepinnases 98% ja kruusas 97%.

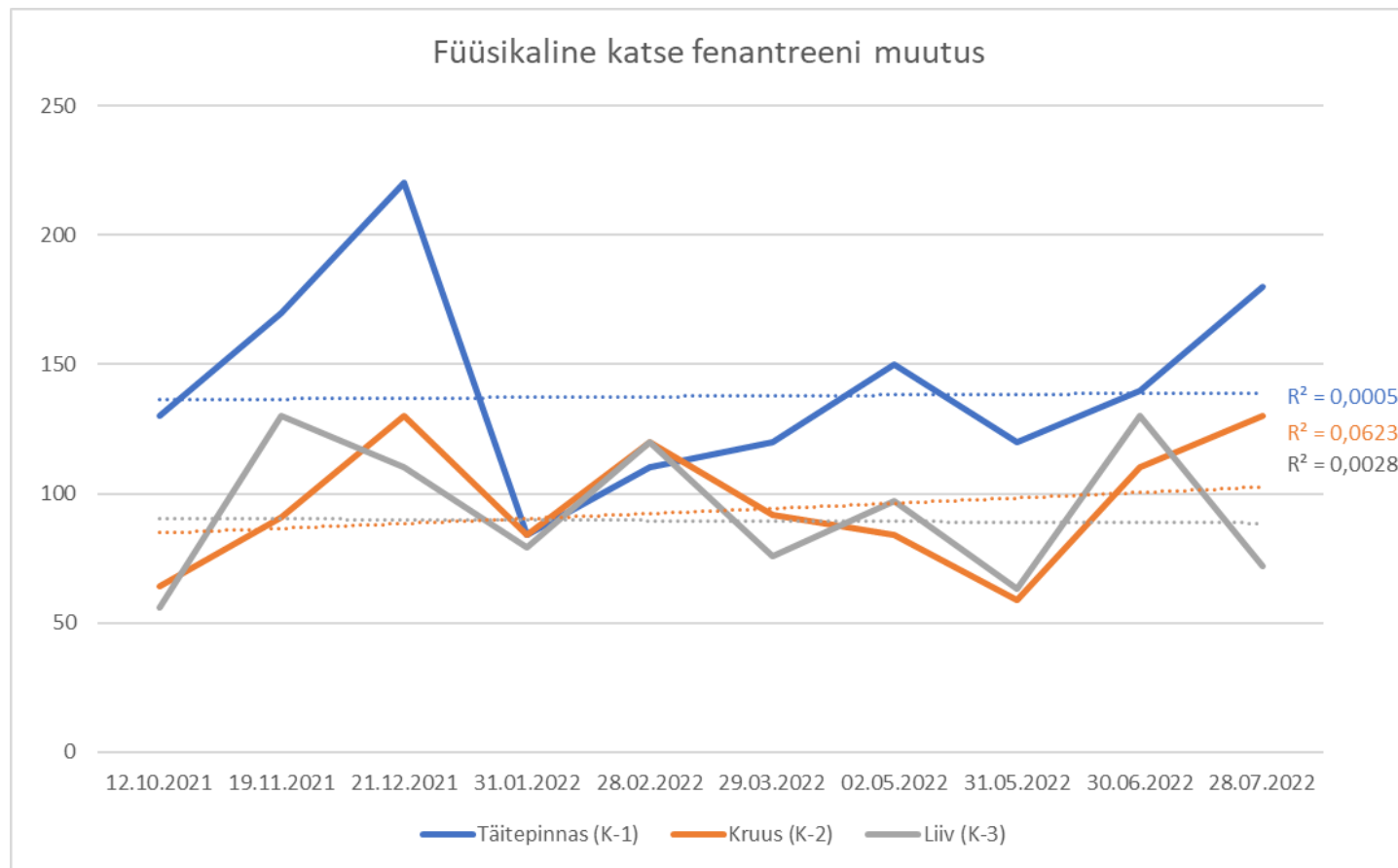
Fenantreeni sisaldus langes katse lõppedes kõikides pinnasetüüpides alla tööstusmaa piirarvu, mida teiste katsete puhul ei saavutatud. Liiva- ja täitepinnase puhul saavutati püsivalt tööstusmaa piirarvust madalam väärtus 5. kuuga ja kruusapinnases 7. kuuga. Kokku langes fenantreeni sisaldus liivas 97%, kruusas 85% ja täitepinnases 80%.

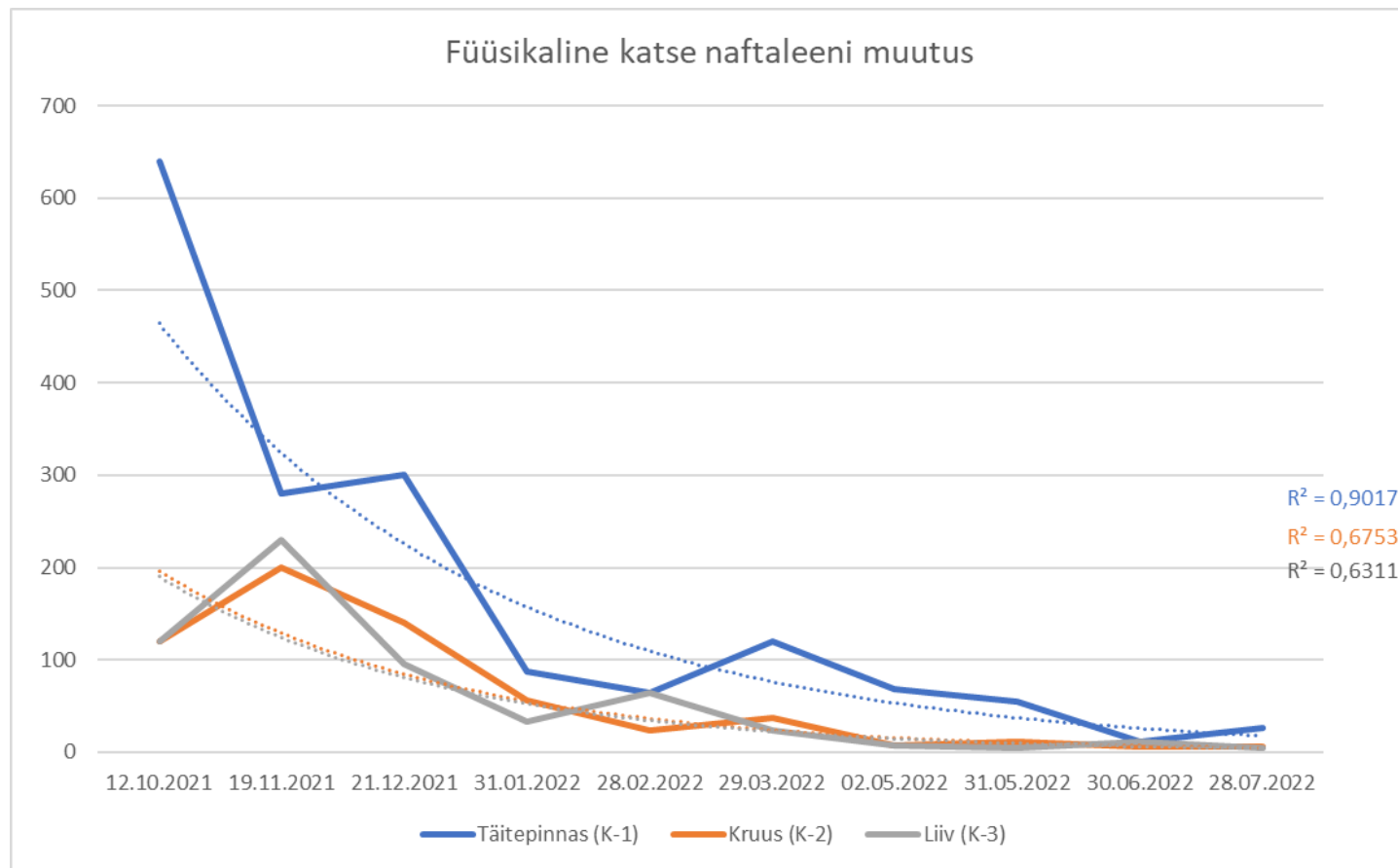
PAH summa sisalduse langus näitas kombineeritud katse puhul samuti väga head langust. Kokku langes PAH summa sisaldus liivas 99%, täitepinnases 95% ja kruusas 94%.

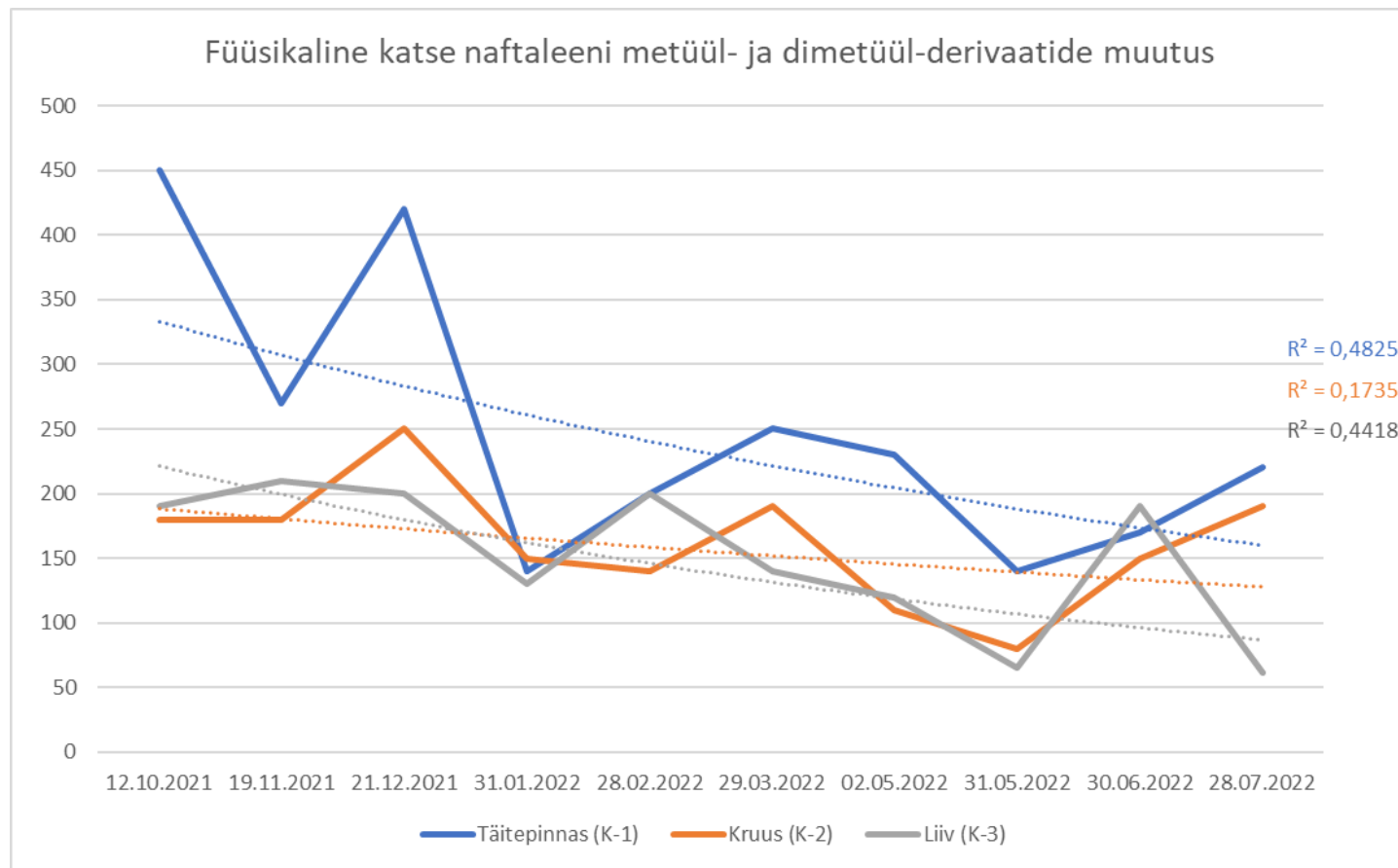
Naftasaaduste sisaldus langes kõige paremini täitepinnases: 77%, liivas 53% ja kruusas 42%.

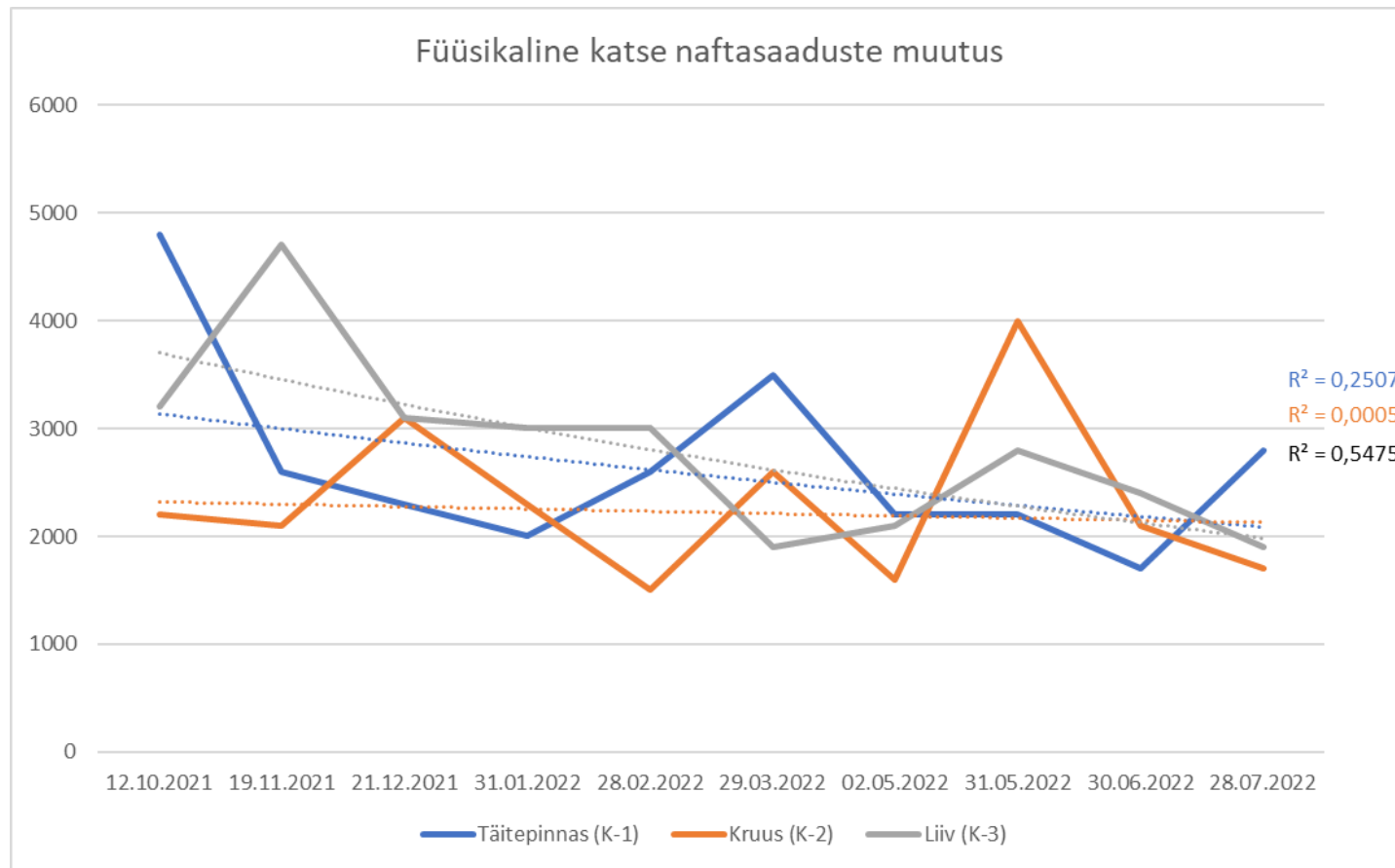
Lisa 1. Füüsikalise katse ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid



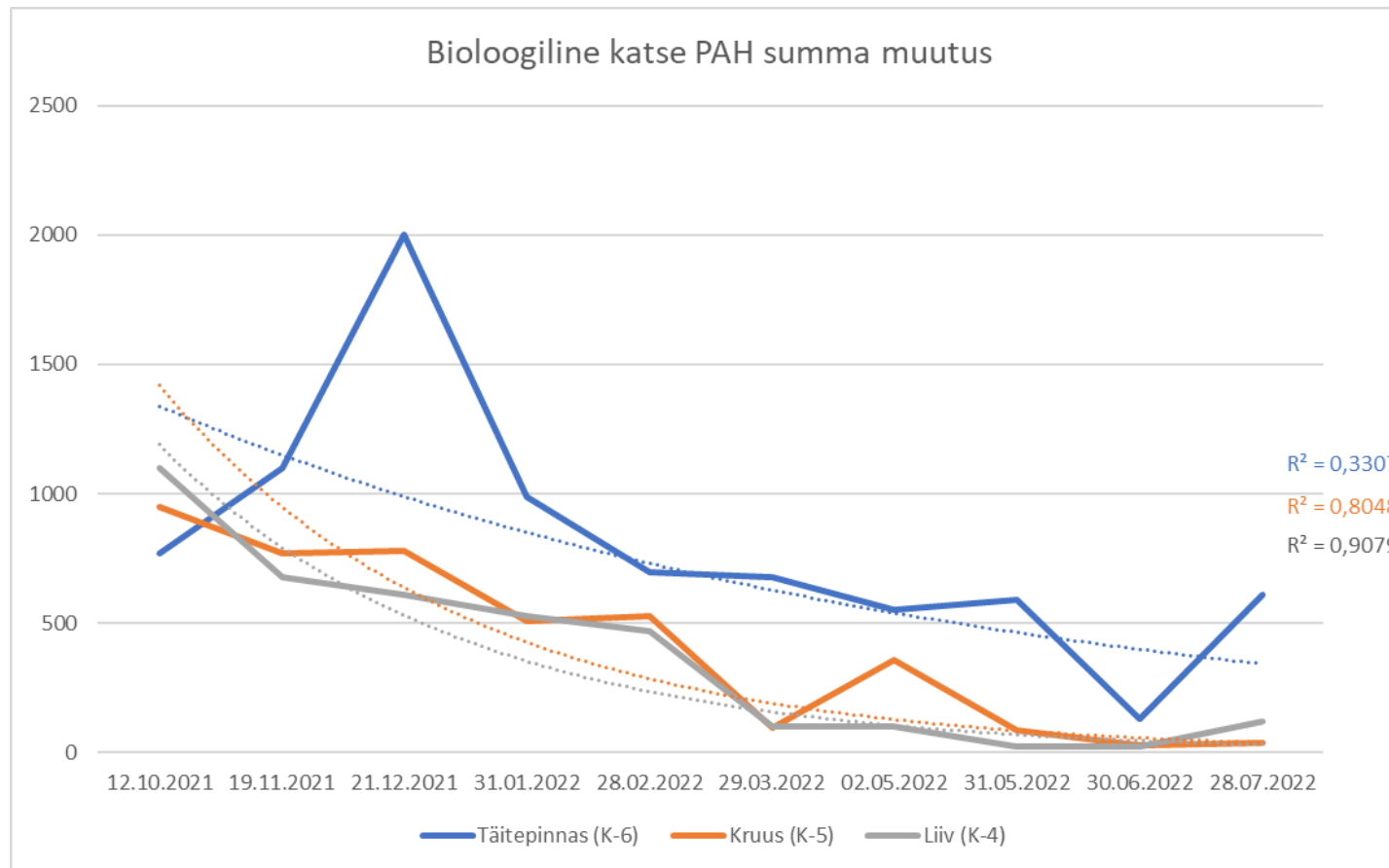


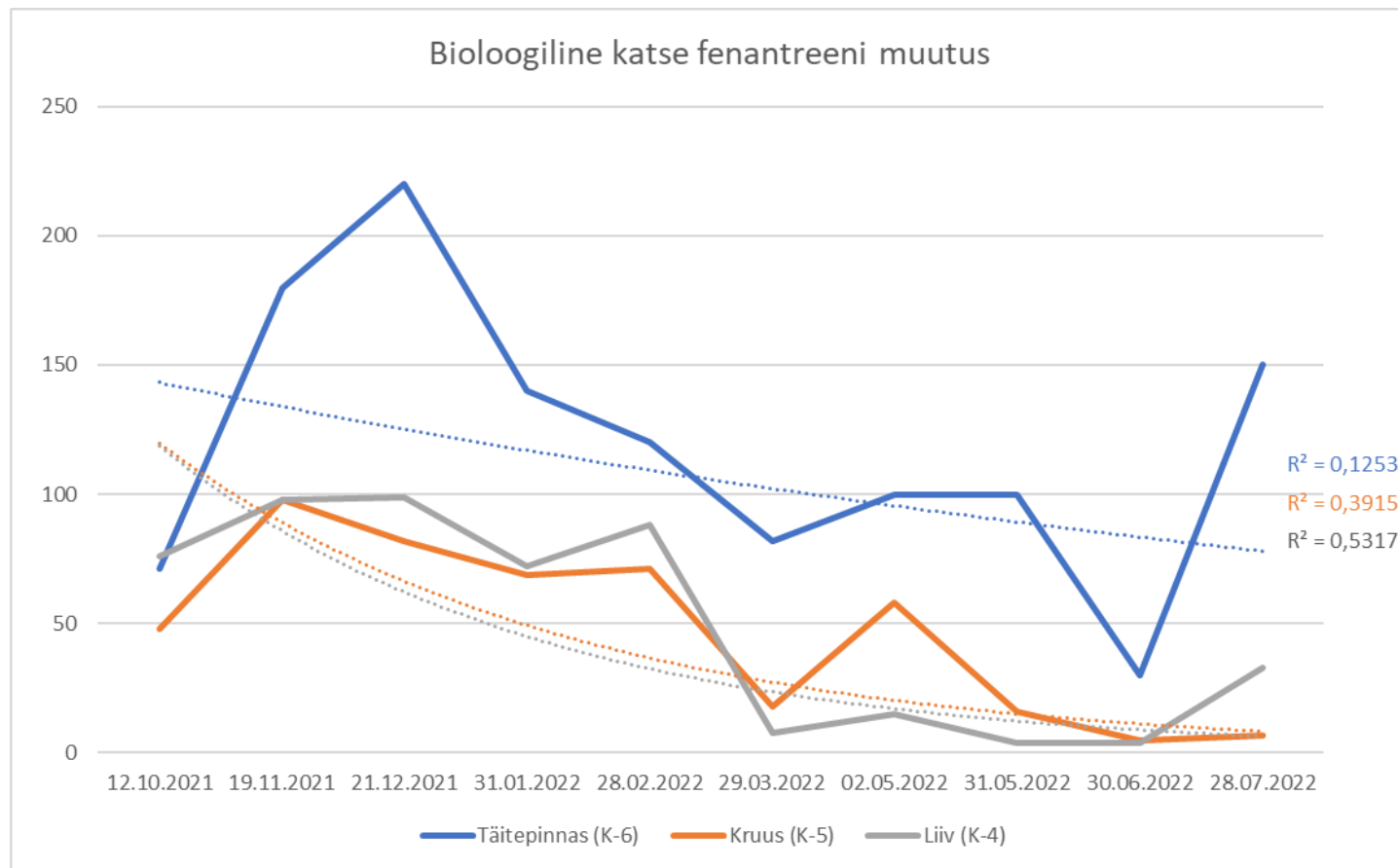


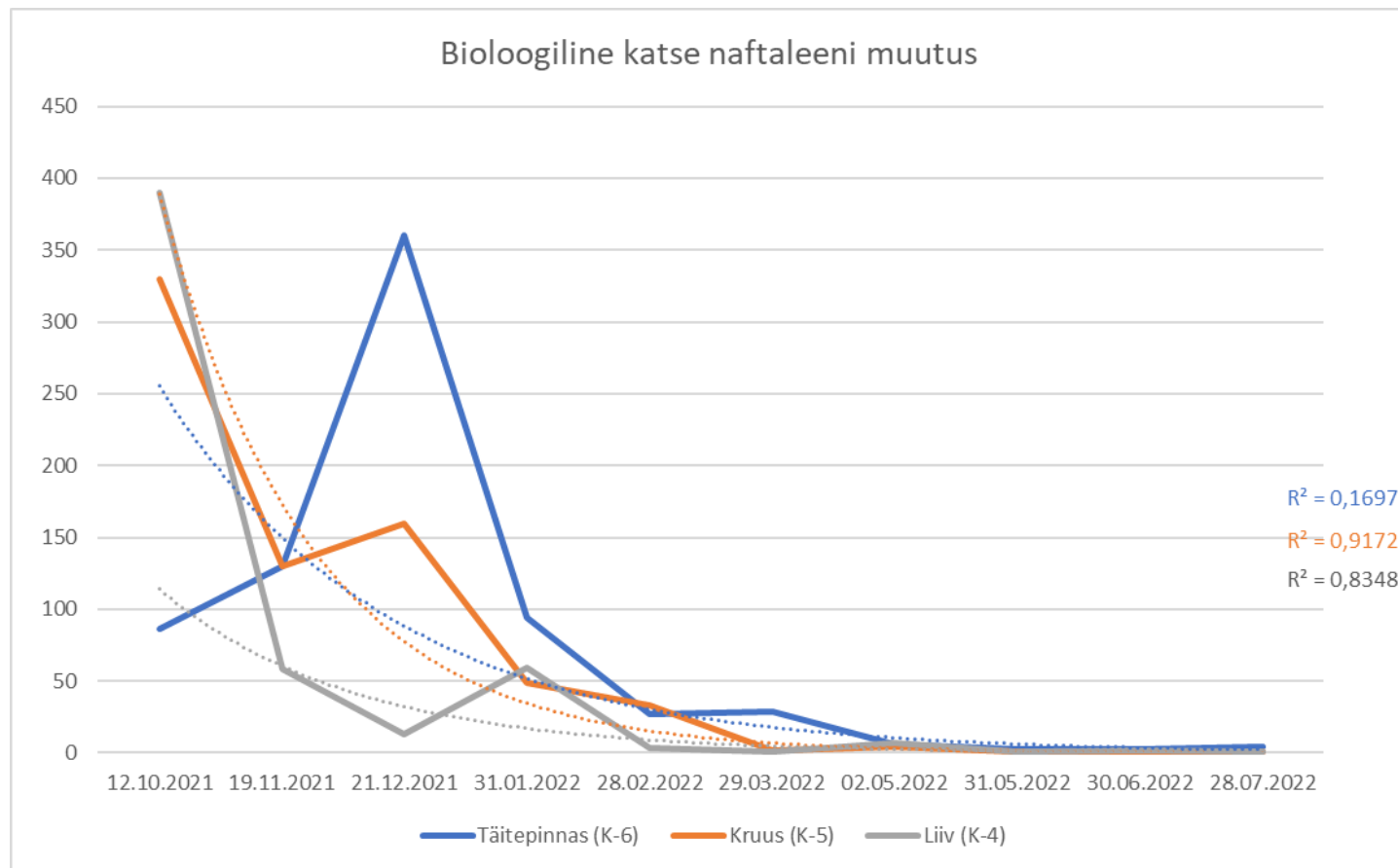


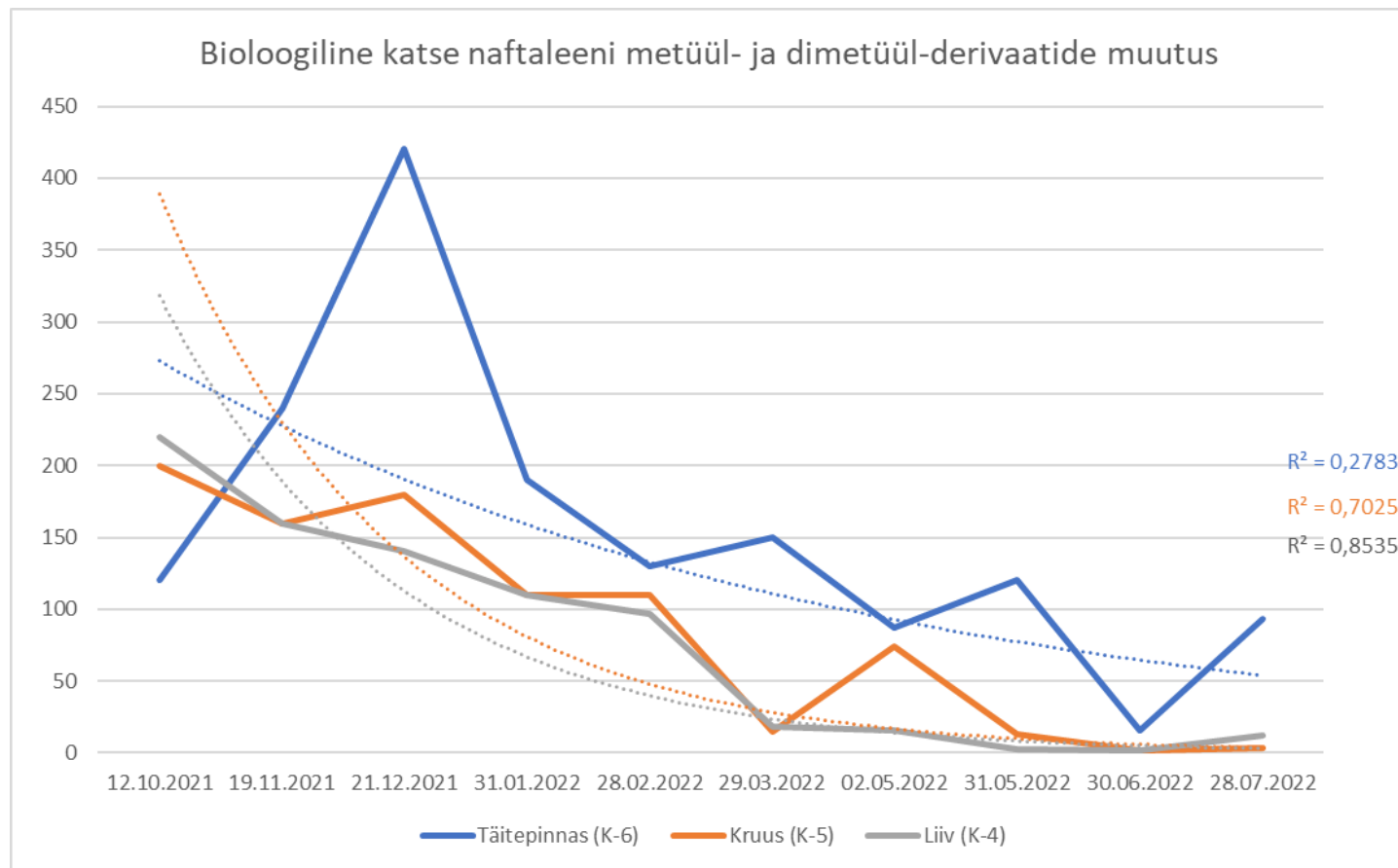


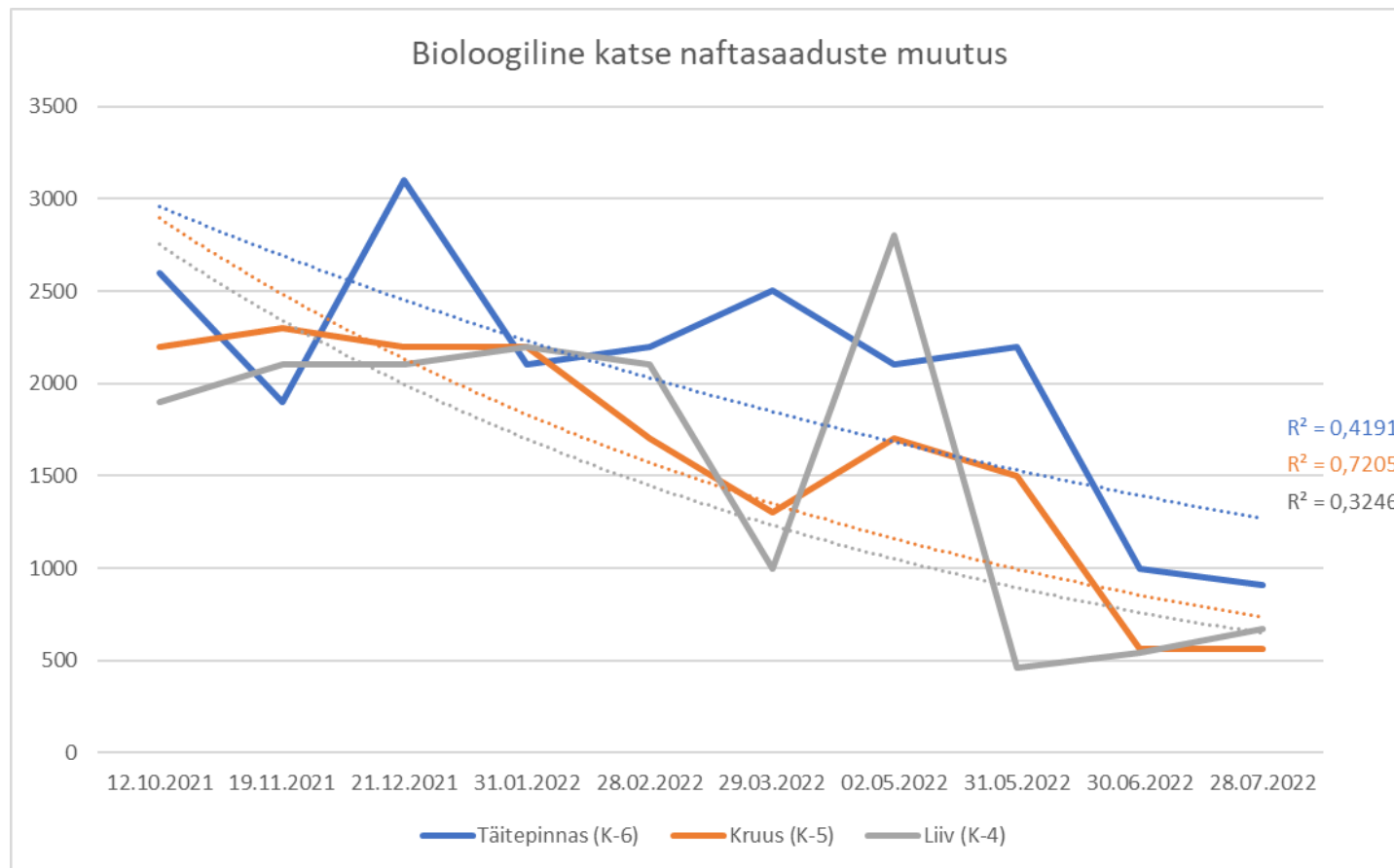
Lisa 2. Bioloogilise katse ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid



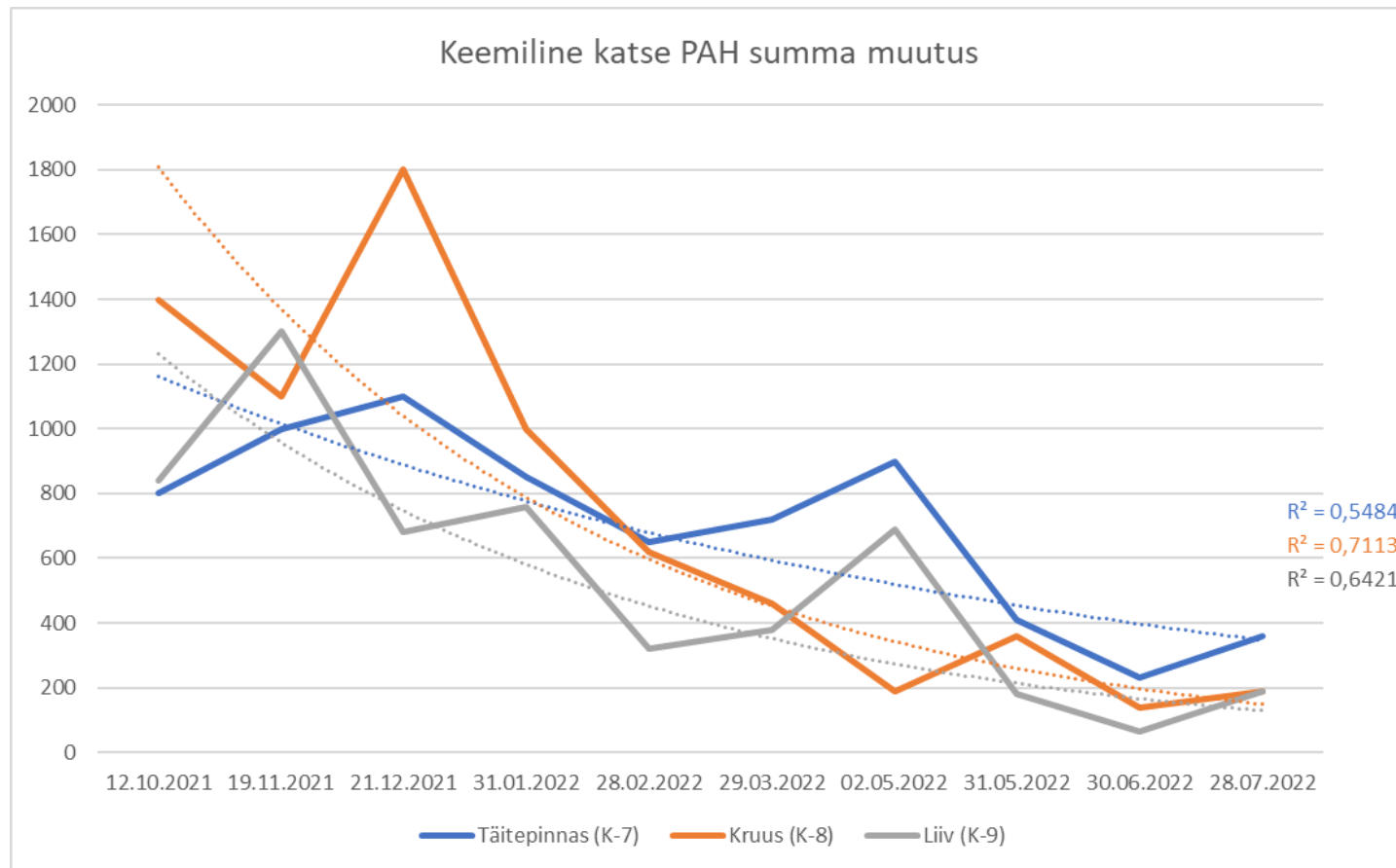


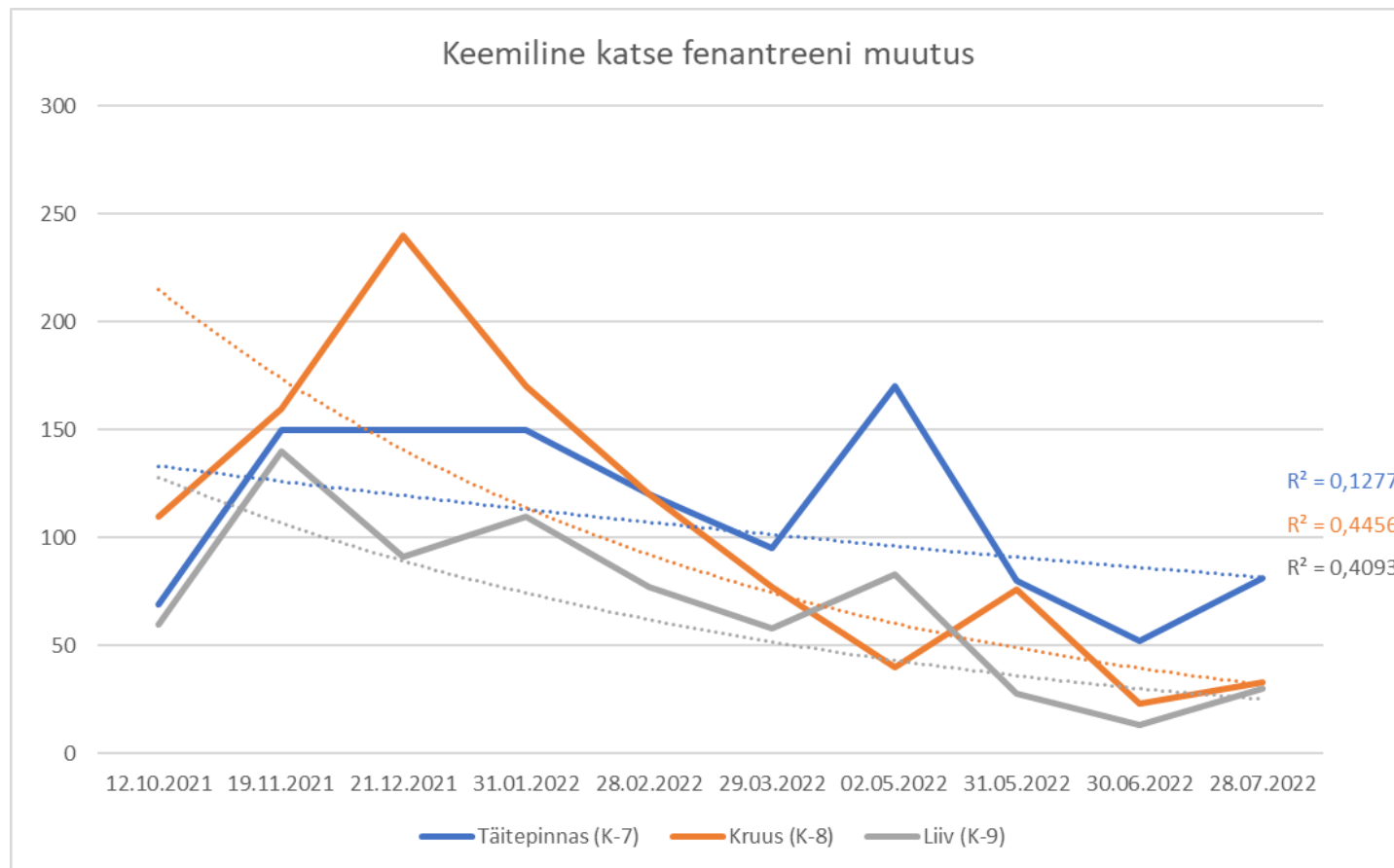


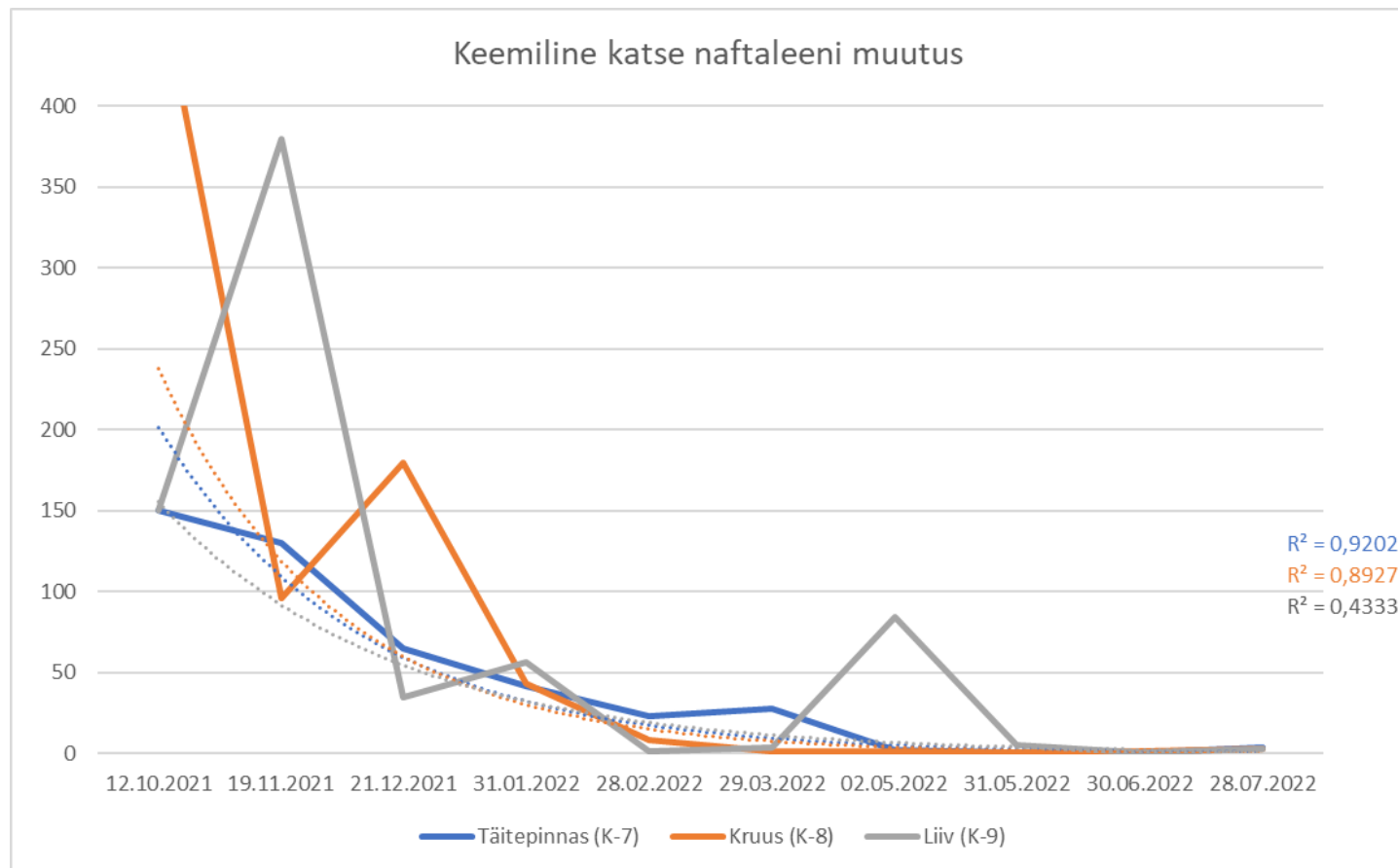


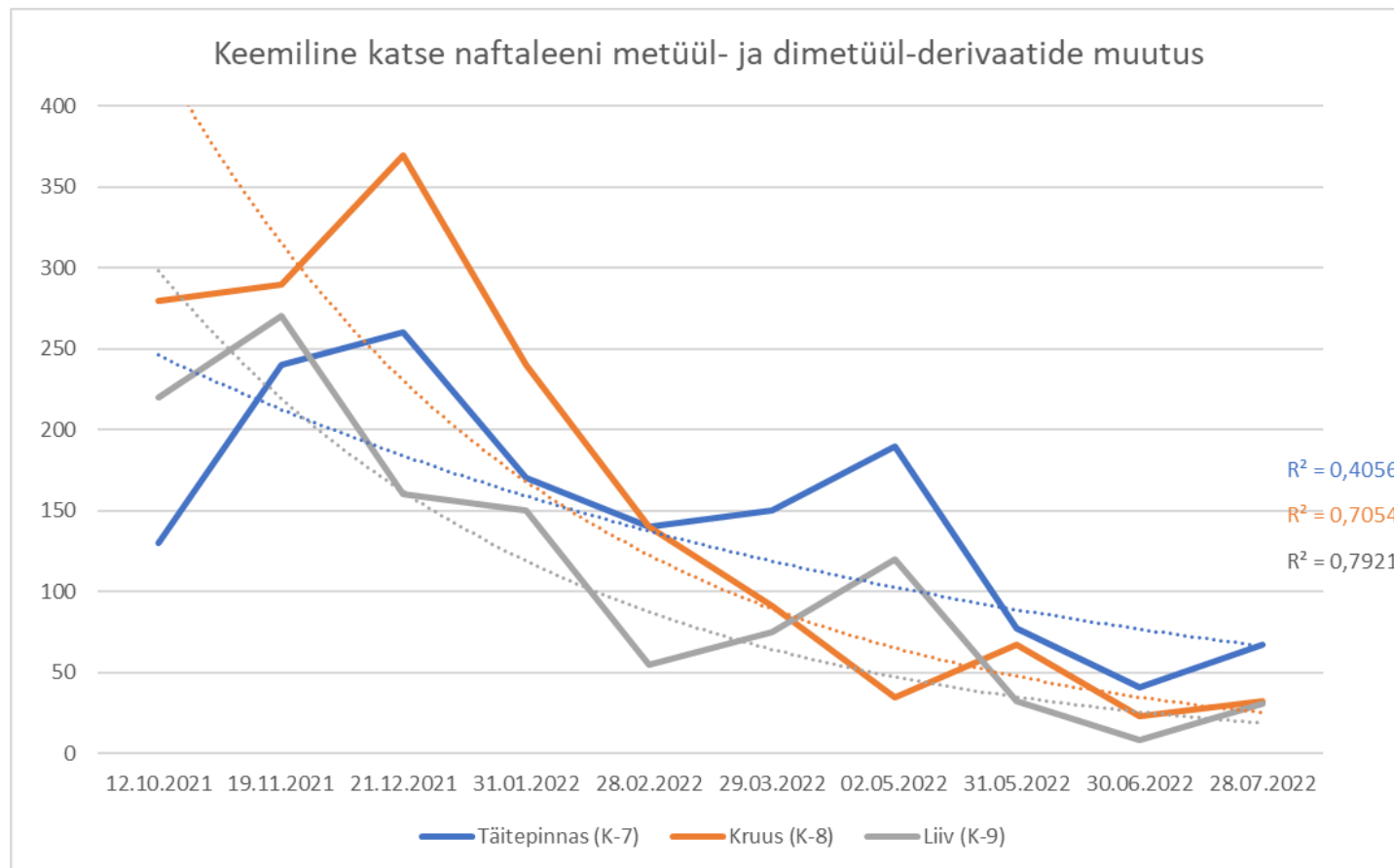


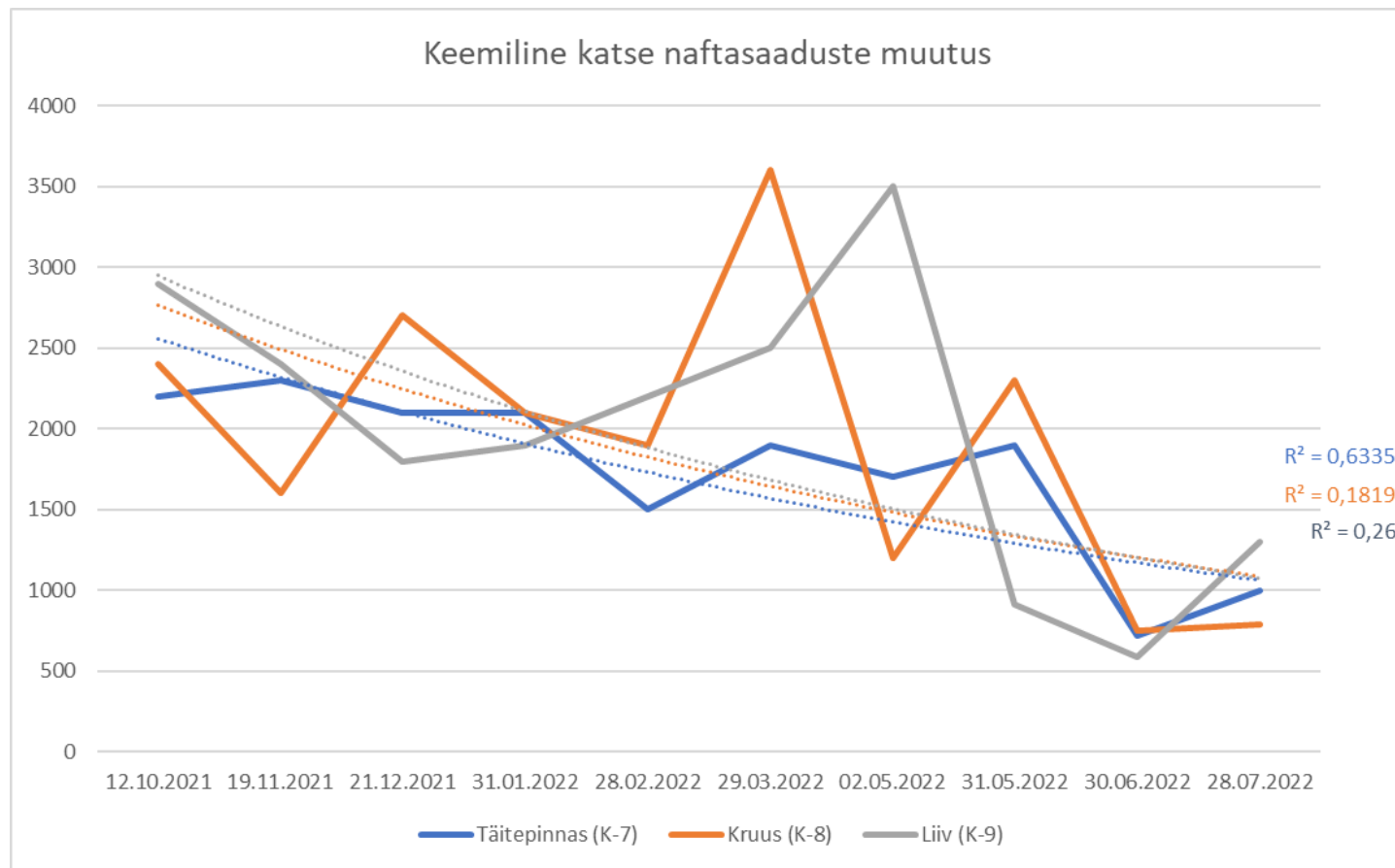
Lisa 3. Keemilise katse ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid



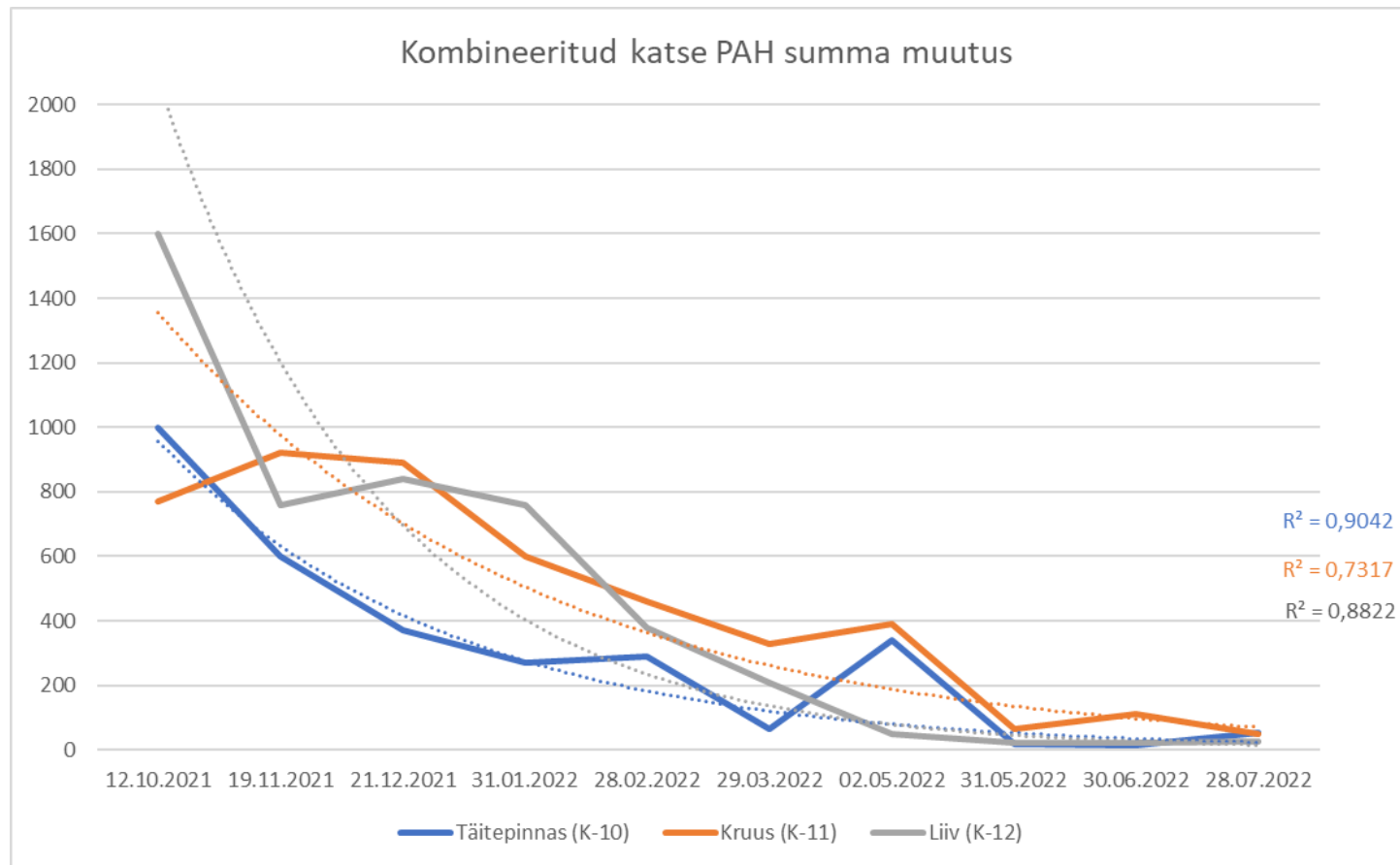


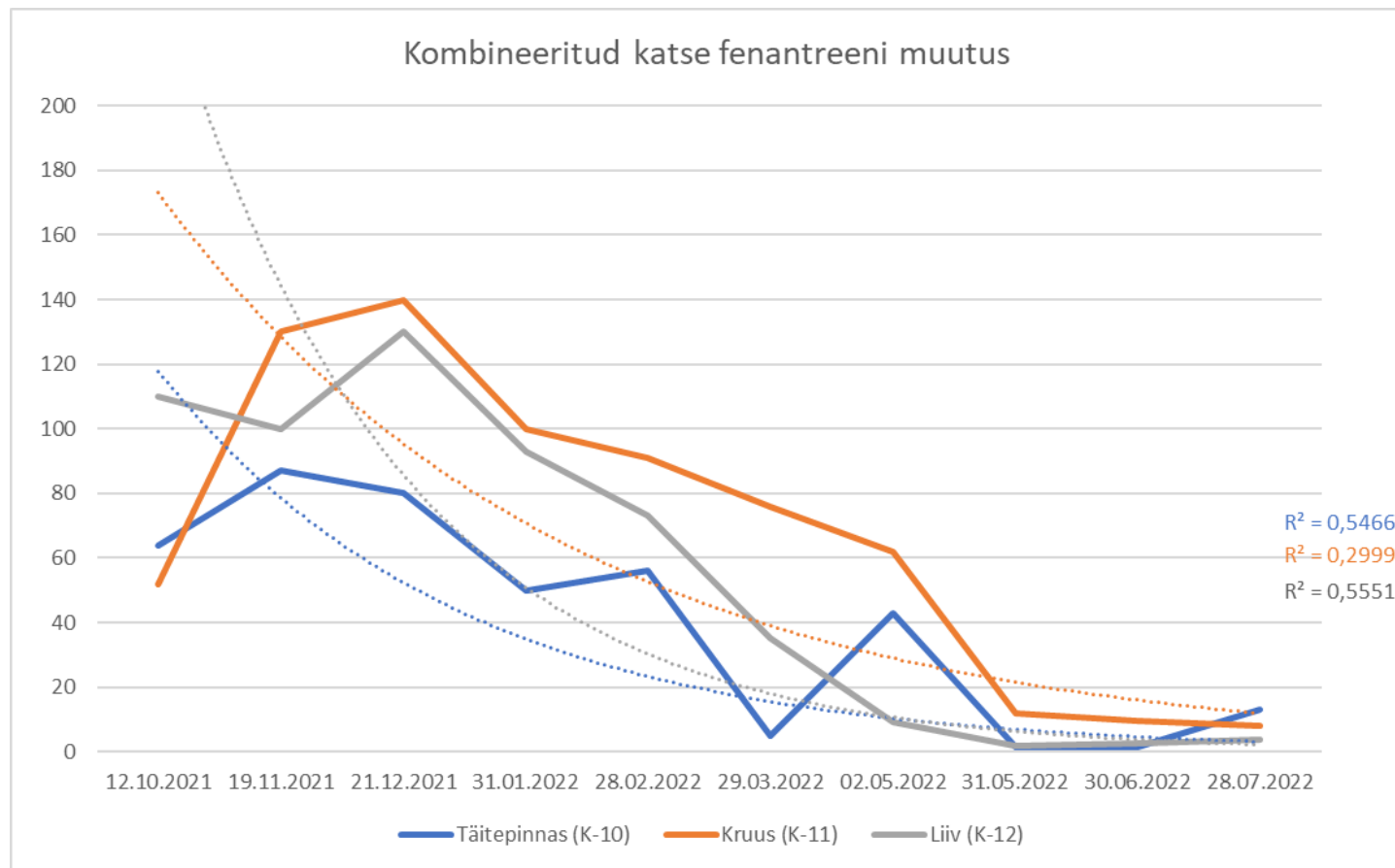


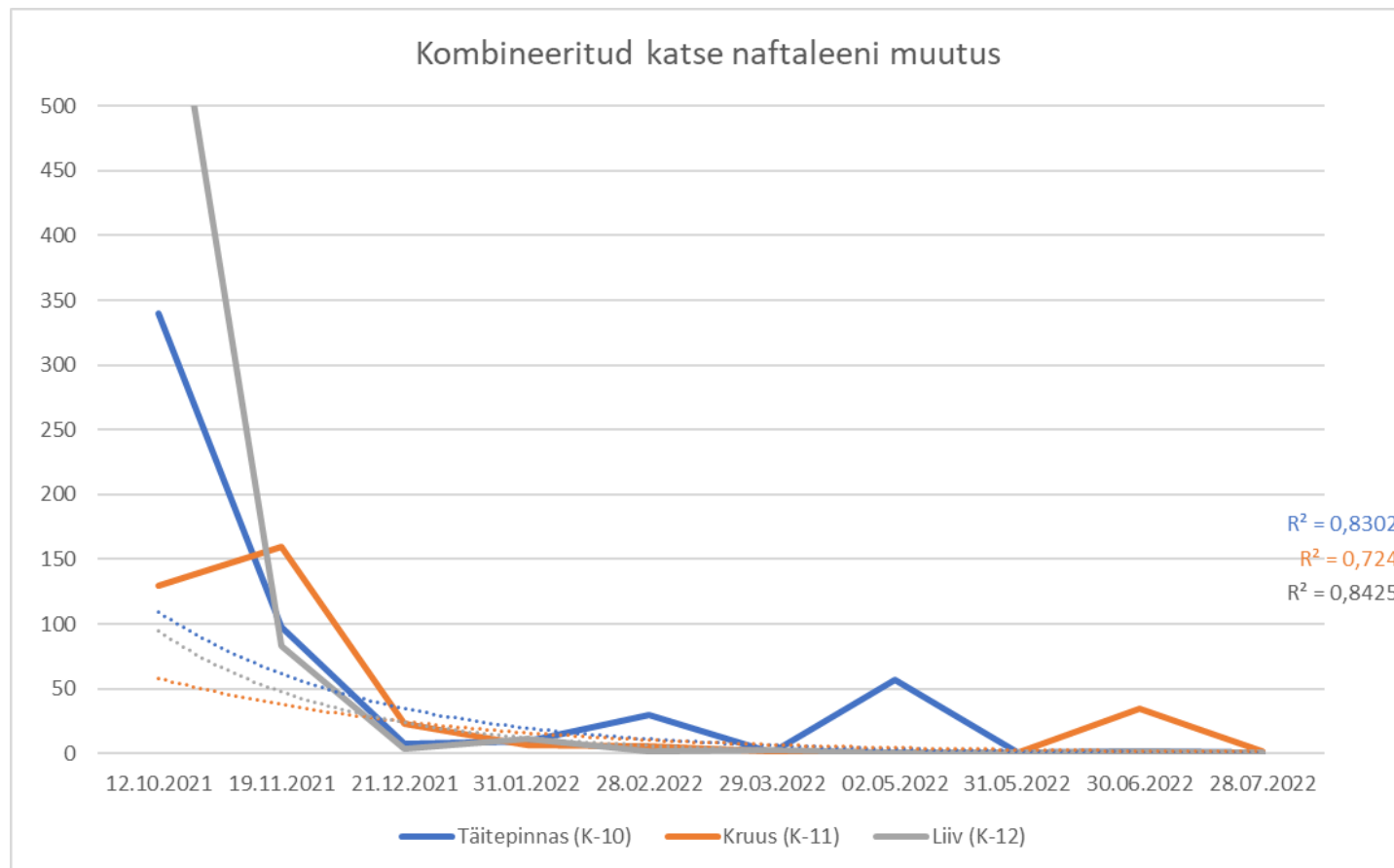


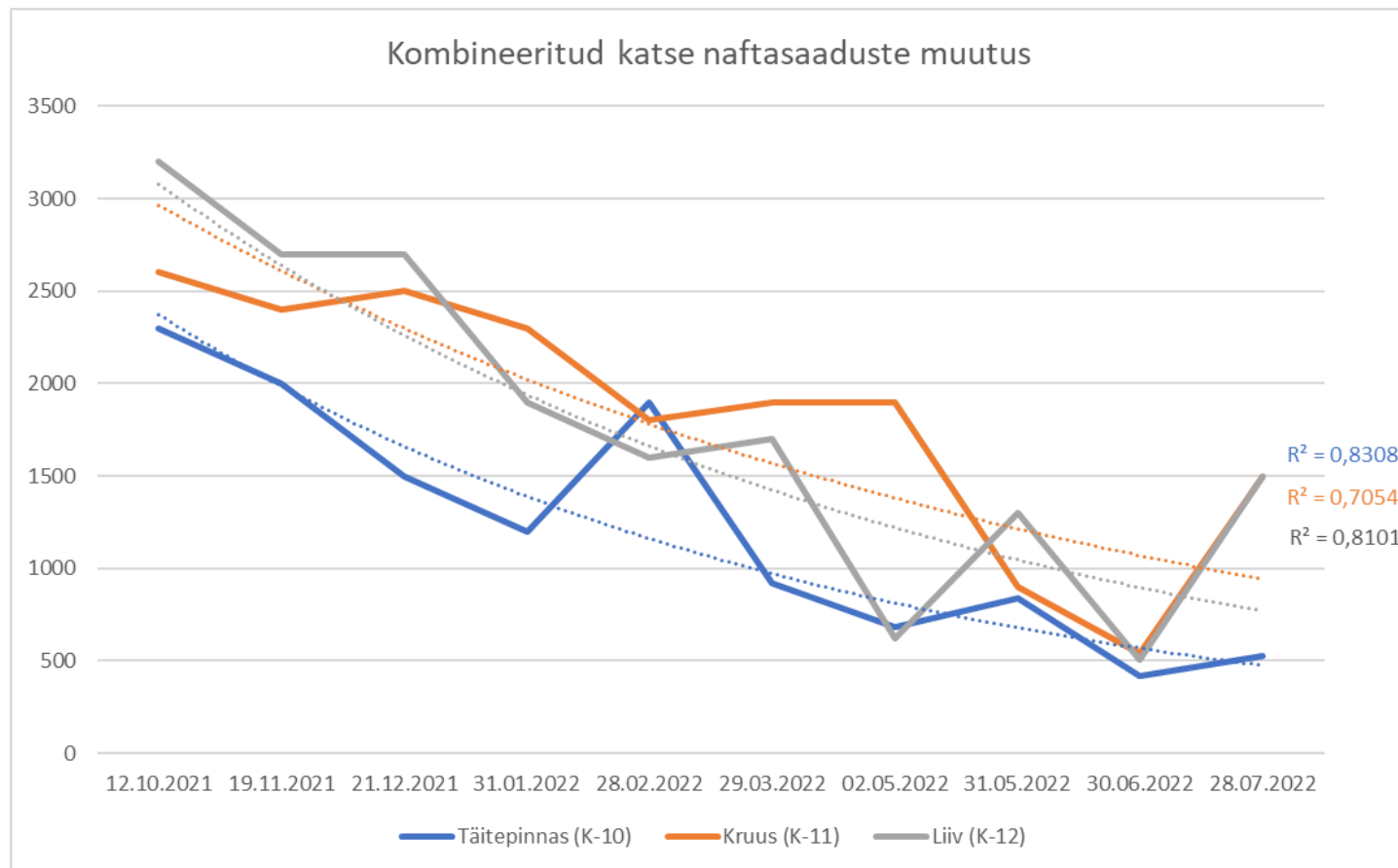


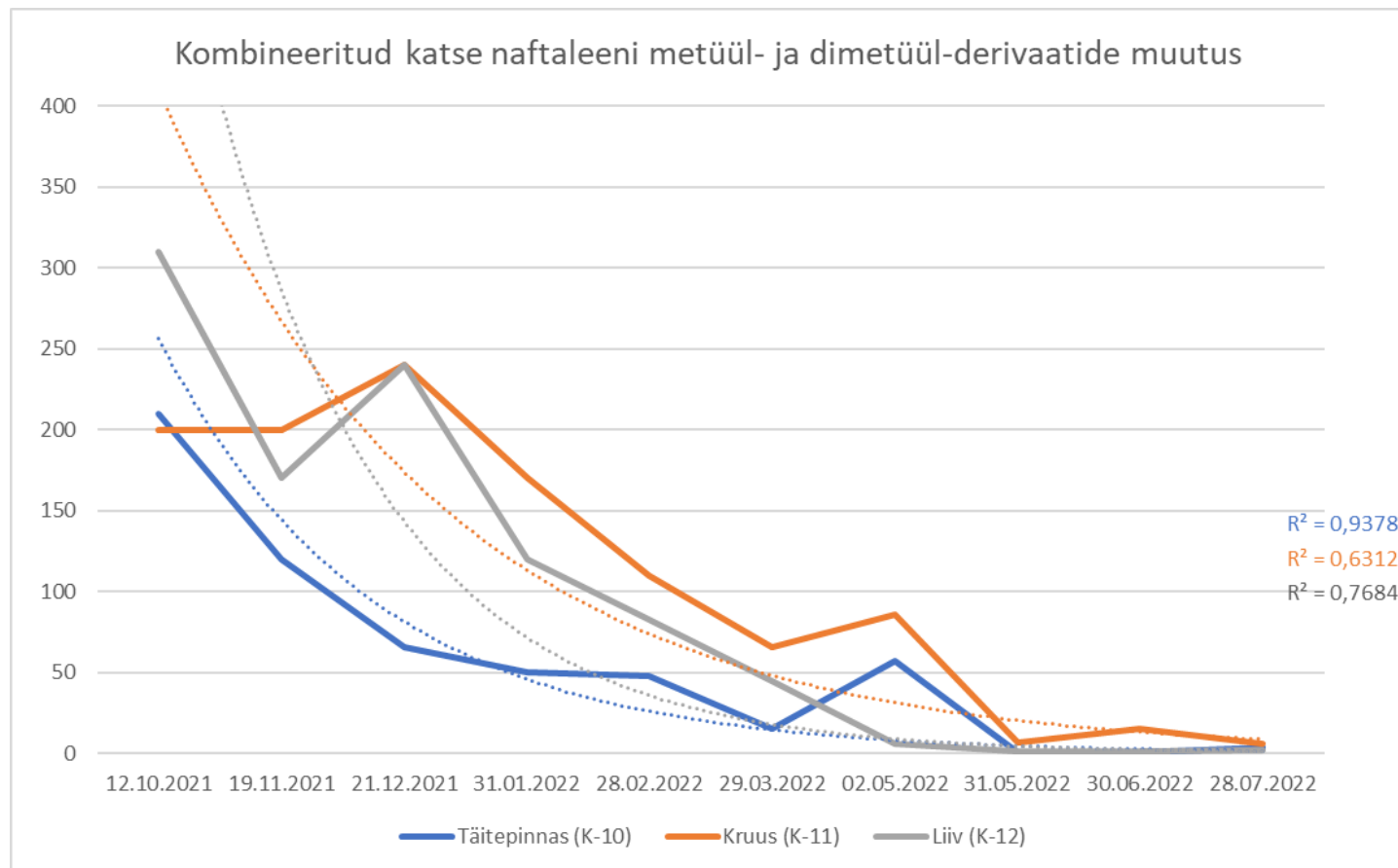
Lisa 4. Kombineeritud katse ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid











Lisa 5. Tausta proovide ohtlike ainete sisalduste muutuste graafikud ja trendid

