



Sisäministeriö

Suojatilalaitteiden ilmansuodattimissa käytettävän aktiivihiihen pidätyskyky- tutkimus



PVTUTKL

Raportin nimi	Suojatilalaitteiden ilmansuodattimissa käytettävän aktiivihii- län pidätyskykytutkimus
Raportin tyyppi	Raportti
Tutkimusala	CBRNE-teknologiat
Tiivistelmä	<p>Sisäministeriö tilasi selvityksen väestönsuojien suojatilalaitteistojen aktiivihii- län pidätyskykyä Puolustusvoimien tutkimuslaitokselta.</p> <p>Vuoteen 2005 asti väestönsuojien suodattimille oli vaatimuksena taistelukaasujen pidätyskyky. Vuonna 2005 (asetus 660/2005) tuli lisäksi vaatimus teollisuuskaasujen sekä radioaktiivisen metyylijodidin pidätyskyvylle. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia millainen pidätyskyky on tällä hetkellä suojatiloissa käytössä olevilla ja varastoiduilla aktiivihii- län suodattimilla. Testaus suoritettiin saatavilla olevilla sertifioituilla teollisuuskaasuseoksilla. Taistelukaasuja ei ole saatavana sertifioituina seoksina joten niitä ei voitu testata.</p> <p>Tutkitut aktiivihii- län näytteet (29 kpl) on kerätty käytössä olevista suojalaitteistoista ympäri Suomea. Näytteiden määrä on pieni suhteutettuna suojatilalaitteistojen suureen määrään, joten tulokset eivät ole tilastollisesti merkittäviä kuvaamaan kaikkia suojatilalaitteistoja sekä niiden aktiivihii- län suodattimia. Aktiivihii- län näytteet on ottanut ammattimainen näytteenottaja pitäen huolen yksittäisten näytteiden edustavuudesta.</p> <p>Tulosten perusteella aktiivihii- län näytteet olivat edelleen pääosin toimintakuntoisia, mutta eivät kaikilta osin uudenveroisia. Ammoniakin pidätyskyvyssä oli eniten puutteita, mutta toisaalta ammoniakin pidätyskykyä parantaa tutkittujen aktiivihii- län korkeampi kosteusprosentti. Aktiivihii- län korkea (>15%) kosteusprosentti on indikaattori aktiivihii- län mahdolliselle ikäntymiselle.</p> <p>Tuloksista nähdään, että aktiivihii- län suodattimen ikä ei korreloi merkitsevästi aktiivihii- län pidätyskykyominaisuuksiin. Testien perusteella jopa 1960-luvulla valmistetut aktiivihii- län ovat toimivia testatuille kemikaaleille oikein säilytettyinä.</p>

Sisällys

1. Johdanto	4
1.1. Lainsäädäntö väestönsuojalaitteista	4
1.2. Aktiivihiihinsuodattimet.....	4
1.3. Aktiivihiihien pidätyskyky ja siihen vaikuttavat tekijät	5
1.4. Prosessit aktiivihiihien pidätyskyvyn heikkenemisen taustalla	6
2. Aktiivihiihien pidätyskyvyn mittaaminen.....	6
2.1. Aktiivihiihinäytteet	6
2.2. Testiperiaate	6
3. Tulokset.....	8
4. Johtopäätökset	11
5. Yhteenveto	11
Lähdeluettelo	12

Kuvat

Kuva 1. Väestönsuojalaitteiston kaaviokuva (Kuva PVTUTKL).....	5
Kuva 2. Aktiivihiihien pidätyskykymittauksen periaate.....	7
Kuva 3 Aktiivihiihien pidätyskyky kiloina vs. aktiivihiihinsuodattimen valmistusvuosi	9
Kuva 4 Aktiivihiihien pidätyskyky kiloina vs. mitattu aktiivihiihien kosteusprosentti	10

1. Johdanto

Sisäministeriö tilasi selvityksen väestönsuojien suojatilalaitteistojen aktiivihiihisuodattimien pidätyskyvystä Puolustusvoimien tutkimuslaitokselta.

1.1. Lainsäädäntö väestönsuojalaitteista

Vuonna 2005 annetun asetuksen (660/2005 Sisäasiainministeriön asetus väestönsuojan laitteista) mukaan suodattimilta vaaditaan suodatuskykyä myös teollisuuskaasuille ja –kemikaaleille sekä radioaktiiviselle metyylijididille. Tämä on johtanut uudentyyppisen aktiivihiihen (NBC-ABEK) käyttöönottoon suodattimissa. Aiemmin suojatiloissa on käytetty perinteistä NBC-aktiivihiihtä, joka on tarkoitettu suojautumiseen taisteluaaineita vastaan.

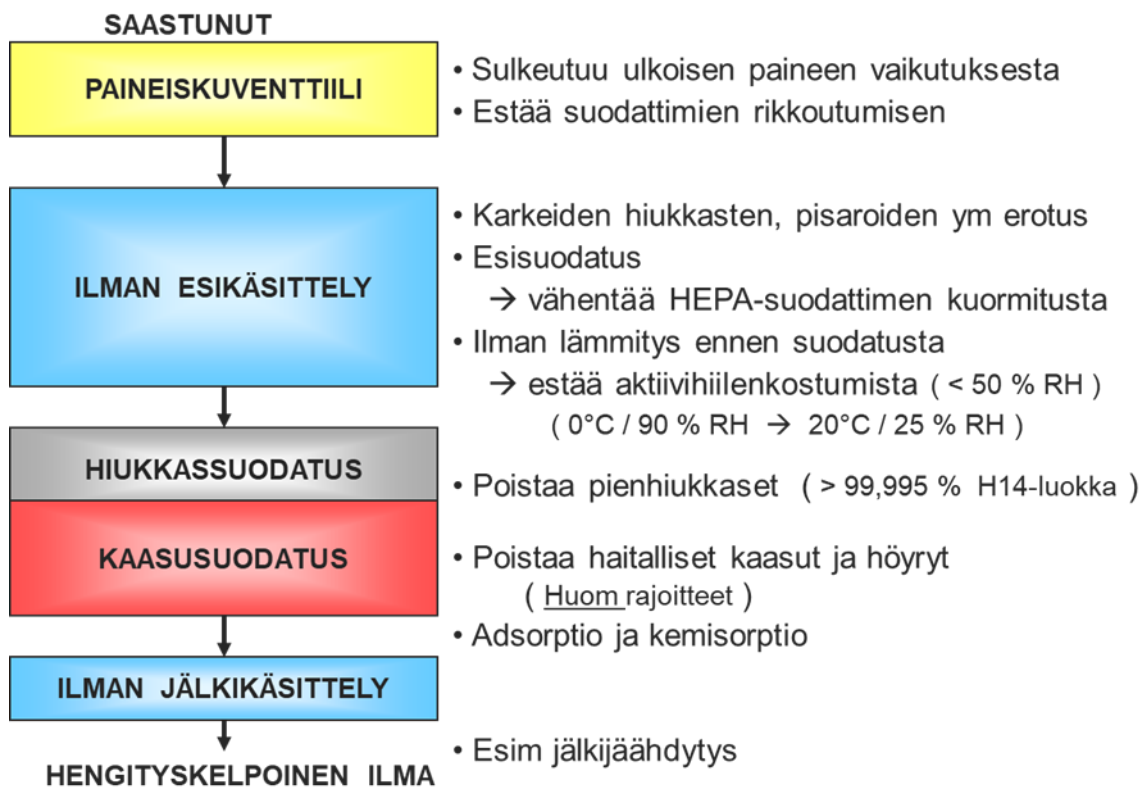
Tällä hetkellä on voimassa 409/2011 Valtioneuvoston asetus väestönsuojan laitteista ja varusteista, joka sisältää pidätyskykyvaatimuksia uudelle aktiivihiihisuodattimelle. Valmiin erityissuodattimen pidätyskyky kuivalla hiilellä taistelukaasuille ja muille haitallisille kaasuille on taulukossa 1. Kapasiteettivaatimus on annettu kaasukiloina/suodattimen nimellisilmavirta.

Taulukko 1. Valmiin erityissuodattimen pidätyskyky kuivalla hiilellä taistelukaasuille ja muille haitallisille kaasuille.

Taistelukaasu	Kaasupitoisuus tilavuus %	Läpituloraja mg/m ³	Kapasiteetti kg/dm ³ /s ES-1, ES-3
Klooripikriini	0,2	2	0,125
Kloorisyaani	0,2	20	0,015
Syaanivety	0,2	11	0,02
Kloori	0,2	1,5	0,038
Rikkidioksidi	0,2	13	0,025
Ammoniakki	0,2	18	0,005

1.2. Aktiivihiihisuodattimet

Aktiivihiihisuodattimet ovat keskeinen osa väestönsuojan suojatilalaitteistoa. Suojatilaan sisään tuleva ilma pitää käsitellä ennen kuin se johdetaan suojatilaan. Väestönsuojatilaan sisään tuleva ilma kulkee paineiskuventtiilien, hiukkassuodattimen ja esilämmityksen kautta aktiivihiihisuodattimelle, jossa poistetaan haitalliset kaasut ja yhdisteet. Tarvittaessa sisään tulevaa ilmaa myös voidaan joutua jälkikäsittelemään esimerkiksi jäähdyttämällä. Suojatilalaitteistoissa on yleensä useampi aktiivihiihisuodattimen rinnakkain, mikä lisää suojatilalaitteiston suodatuskapasiteettia. Kuvassa 1. on väestönsuojalaitteiston kaaviokuva.



Kuva 1. Väestönsuojalaitteiston kaaviokuva (Kuva PVTUTKL)

Aktiivihiilisuodattimet eivät suodata häkää eli hiilimonoksidia, keveitä hiilivetyjä esim. maa-kaasua ja jalokaasuja. Yleissääntönä voidaan pitää, että aktiivihiilisuodatin ei suodata pienimolekyylisiä matalan kiehumispisteen omaavia yhdisteitä

1.3. Aktiivihiilen pidätyskyky ja siihen vaikuttavat tekijät

Kaasujen suodattaminen aktiivihiilellä perustuu adsorptioon aineen sisällä olevissa huokosissa. Molekyylisuuruisilla hiukkasilla on taipumus hakeutua paikkaan missä sitä ei vielä ole. Tätä prosessia kutsutaan diffuusioksi. Diffuusio pyrkii tasoittamaan konsentraatiota, kunnes tasapainotila on saavutettu. Tämä prosessi vastaa hiukkasille samaa kuin energian siirtyminen lämpimästä kappaleesta kylmempään, kunnes on saavutettu termodynaaminen tasapaino. (1)

Kaasujen suodattamisessa käytettävät suodatinaineet, esimerkiksi aktiivihiili, ovat rakenteeltaan huokoisia kiinteitä aineita. Molekyylin joutuessa huokosen rakeen sisään, se kulkee huokosissa, kunnes tarttuu huokosen seinämään kiinni adsorptiolla. Riippuen suodatettavasta kaasusta, voidaan puhua joko fysikaalisesta adsorptiosta (fysisorptio) tai kemiallisesta adsorptiosta (kemisorptio). Adsorptioon vaikuttavia tekijöitä ovat huokosen koko, kaasumolekyylien koko sekä kaasumolekyylin ja kiinteän aineen välinen vuorovaikutus. Adsorptio on lämpöä vapauttava prosessi.

1.4. Prosessit aktiivihii- län pidätyskyvyn heikkenemisen taustalla

Suurimpia haasteita aktiivihii-
län toimintakyvylle ja säilyvyydelle on korkea ilmakosteus ja lämpötila. Kosteuden ja lämpötilan vaikutuksesta aktiivihii-
län impregnoituihin (kyllästetyt) ai-
neet liukenevat ja uudelleenkiertyvät aktiivihii-
län pinnalla. Tämä prosessi muuttaa aktiivihii-
län impregnoituihin pinnan pinta-alaa. Tämä prosessi voi heikentää huomattavasti kemisorp-
tiokapasiteettia. (2)

Aktiivihii-
län pinta voi myös hapettua kosteuden ja lämpötilan vaikutuksesta. Aktiivihii-
län pinnalle
syntyy happea sisältäviä yhdisteitä, jotka muuttavat aktiivihii-
län pH:ta ja pidätyskykyä.
Hapettuminen muuttaa hii-
län pidätyskykyä polaariseen suuntaan. (3)

Vesihöyryn adsorptio aktiivihii-
län riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta. Aktiivihii-
län kos-
tuminen vähentää aktiivihii-
län aktiivista pinta-alaa ja tämä heikentää aktiivihii-
län pidätysky-
kyä.

2. Aktiivihii- län pidätyskyvyn mittaaminen

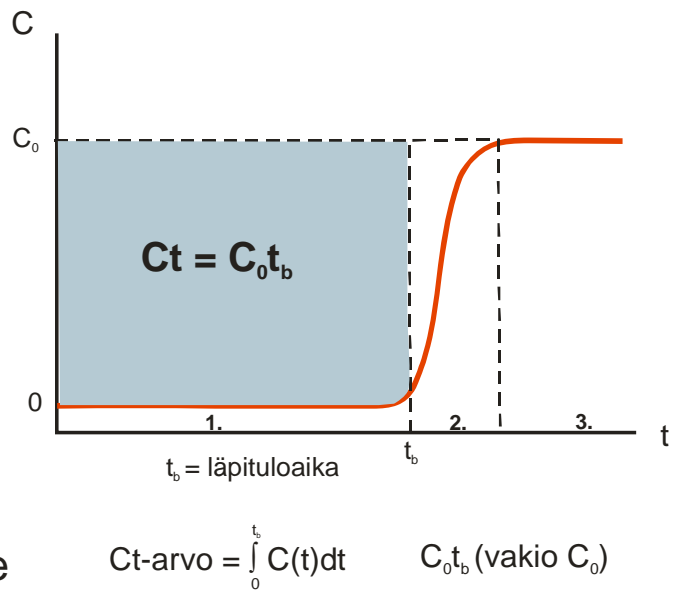
Testauksen tavoitteena oli tutkia millainen pidätyskyky suojatiloissa käytössä olevilla ja va-
rastoiduilla aktiivihii-
län suodattimilla on ja verrata sitä uudelle kuivalle aktiivihii-
län asetuksessa
409/2011 annettuihin vaatimuksiin. Testaus suoritettiin saatavilla olevilla sertifioiduilla teolli-
suuskaasuseoksilla. Taistelukaasuja ei ole saatavana sertifioituina kaasuseoksina, joten niitä
ei voitu testata.

2.1. Aktiivihii- län näytteet

Tutkitut aktiivihii-
län näytteet (29 kpl) on kerätty käytössä olevista suojatiloista ympäri Suomea.
Näytteiden määrä on pieni suhteutettuna suojatilojen suureen määrään, joten tulokset eivät
ole tilastollisesti merkittäviä kuvaamaan kaikkia suojatiloja ja niiden suojatilalaitteistojen aktii-
vihii-
län suodattimia. Aktiivihii-
län näytteet on ottanut ammattimainen näytteenottaja pitäen huolen
näytteiden edustavuudesta.

2.2. Testiperiaate

Aktiivihii-
län pidätyskykyä testattiin käyttämällä asetuksessa 409/2011, määrättyjä testiolo-
suhteita. Testauksessa aktiivihii-
län johdettiin kostutettua ja lämmitettyä ilmaa halutulla vir-
tausnopeudella, johon on lisätty testiyhdistettä, esimerkiksi 0,2 (til-%) ammoniak-
kia. Testissä
mitataan aikaa (min) kuinka kauan kestää, että aktiivihii-
län ei enää pidätä tutkittavaa yhdistettä
ja läpituloaika t_b saavutetaan. Katso kuva 2.



- Vaiheet
1. Suodatusvaihe
 2. Läpitulo vaihe
 3. Kyllästymisvaihe

$$Ct\text{-arvo} = \int_0^{t_b} C(t)dt \quad C_0 t_b \text{ (vakio } C_0)$$

Kuva 2. Aktiivihiilen pidätyskykymittauksen periaate.

Pidätysaikamittaukset suoritettiin kloorilla, rikkidioksidilla ja ammoniakilla. Näytteestä määritettiin myös kosteusprosentti. Yksityiskohtaiset tiedot määryksistä on esitetty taulukossa 2. Pidätyskykymittaukset tehtiin PVTUTKL:n ohjeiden mukaisesti. PVTUTKL on tehnyt samoilla menetelmillä aktiivihiilen vastaanottovaatimustestejä teollisuudelle.

Taulukko 2. Asetuksen 409/2011 mukaiset mittaukset kaasuilla.

Kaasu	Pitoisuus		Läpituloraja mg/m ³
	til-%	(g/m ³)	
Kloori Cl ₂	0,2	(6,0)	1,5 (0,5 ppm)
Rikkidioksidi SO ₂	0,2	(5,3)	13 (5 ppm)
Ammoniakki NH ₃	0,2	(1,4)	18 (25 ppm)
Mittauslämpötila/suhteellinen kosteus 20 °C / 80 %			

Mittaukset tehtiin asetuksen mukaisilla kaasuilla ja pitoisuuksilla. Teknisistä syistä johtuen mittauslämpötila oli 21 ± 1 °C ja suhteellinen kosteus oli 80 ± 3 %.

Mittauksissa käytettiin S-1 luokan erityissuodattimen parametreja: hiilikerroksen korkeus oli 125 ± 2 mm, etupintanopeus 17,5 ± 0,5 cm/s ja laskennallinen viipymäaika hiilikerroksessa 0,71 ± 0,02 sekuntia. Mittaukset tehtiin halkaisijaltaan 60,5 mm:n lasiputkessa.

3. Tulokset

Tulokset kosteusprosentti- ja pidätyskykymittauksista on taulukossa 3.

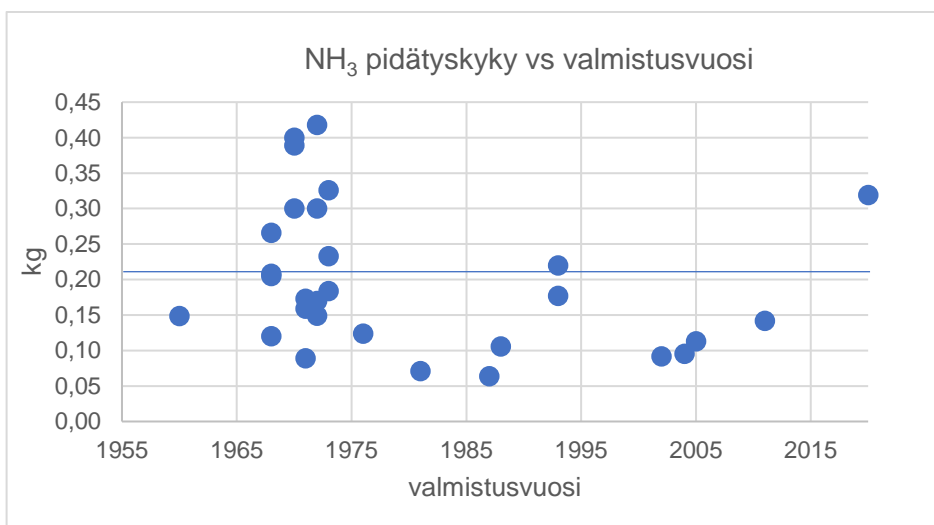
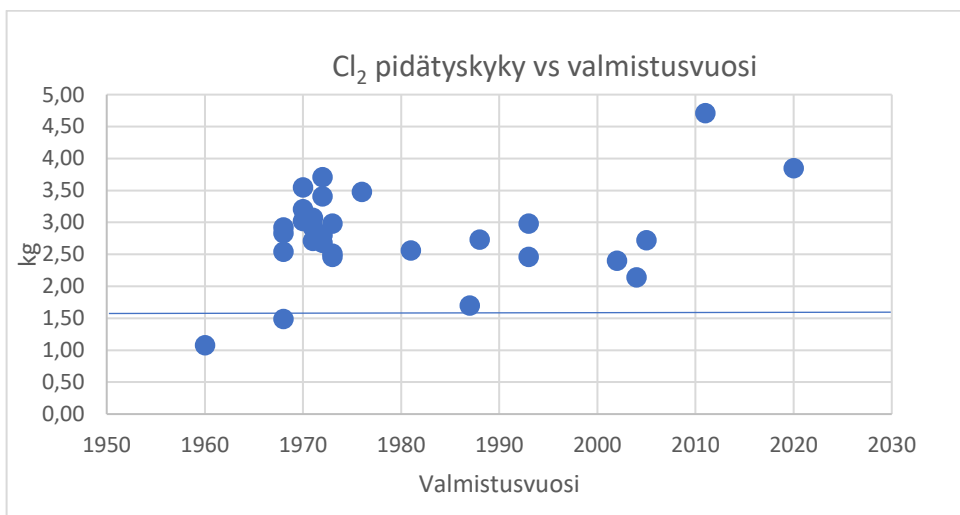
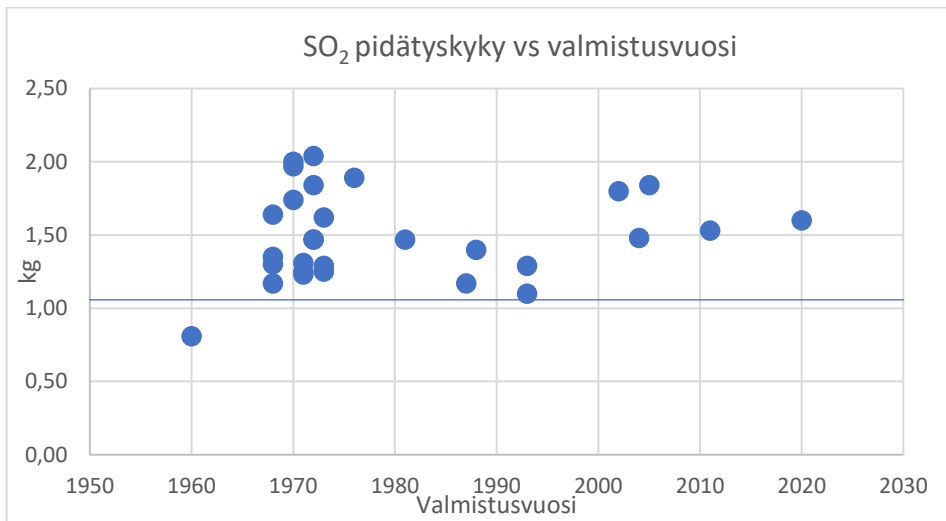
Taulukossa on tulokset esitetty näytteittäin kullekin tutkittavalle yhdisteelle pidätyskykyaikana minuutteina ja se muutettuna S-1-luokan erityissuodattimen pidätyskyvyksi (kg/suodatin).

Taulukossa on laskettuna asetuksen mukaiset vaatimukset uudelle S-1-luokan erityissuodattimelle sekä tummennettuna asetuksen vaatimustason alittavat tulokset.

Taulukko 3. Asetuksen 409/2011 mukaiset mittaukset kaasuilla.

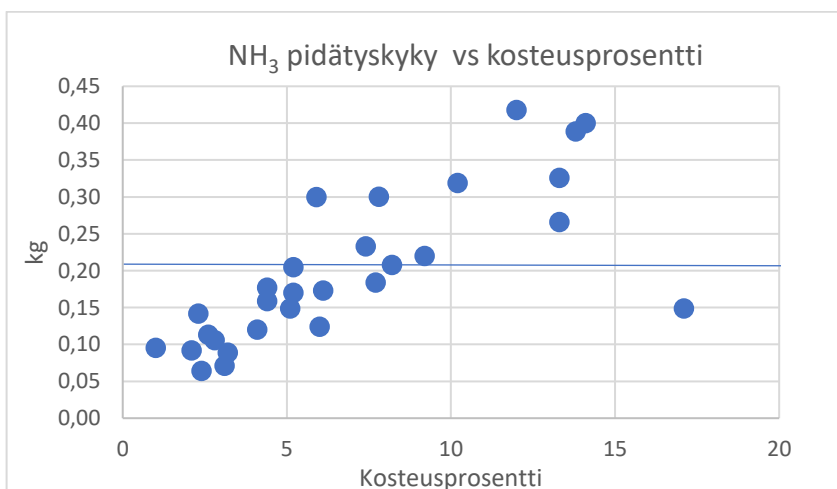
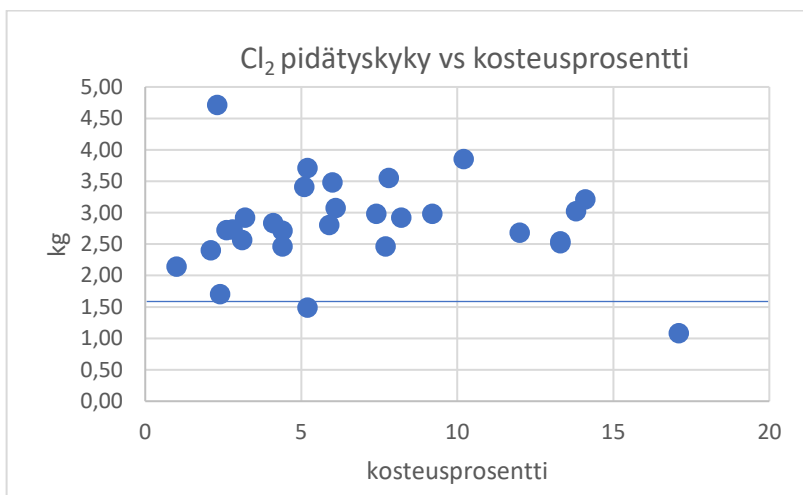
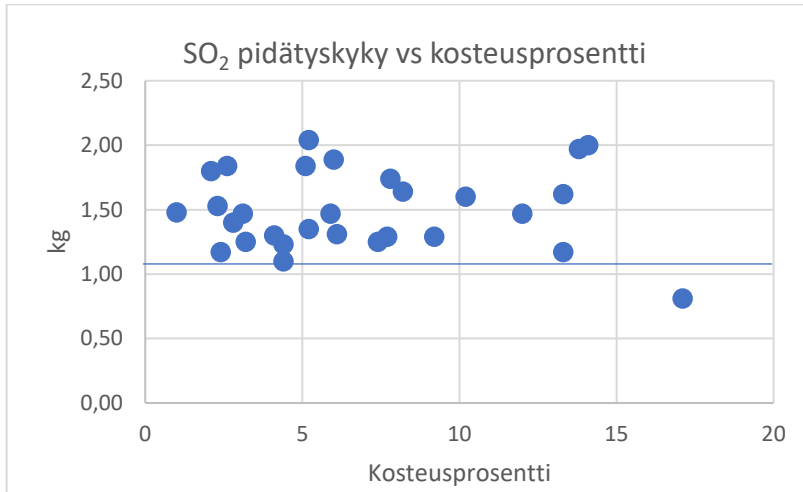
Valmistusvuosi		Kosteus %	SO ₂ min kg		NH ₃ min kg		Cl ₂ min kg	
Asetuksen 409/2011 vaatimus 150m ³ /h virtauksella		5	78	1,042	59	0,208	107	1,58
Näyte 1	2011	2,3	115	1,53	40	0,142	320	4,71
Näyte 2	2004	1	111	1,48	27	0,096	145	2,14
Näyte 3	1988	2,8	105	1,4	30	0,106	185	2,73
Näyte 4	2005	2,6	138	1,84	32	0,113	185	2,72
Näyte 5	2020	10,2	120	1,6	90	0,319	261	3,85
Näyte 6	1987	2,4	88	1,17	18	0,064	115	1,70
Näyte 7	1981	3,1	110	1,47	20	0,071	174	2,56
Näyte 8	2002	2,1	135	1,8	26	0,092	163	2,40
Näyte 9	1976	6	142	1,89	35	0,124	236	3,48
Näyte 10	1970	7,8	131	1,74	85	0,300	241	3,55
Näyte 11	1972	12	110	1,47	118	0,418	182	2,68
Näyte 12	1973	13,3	122	1,62	92	0,326	170	2,51
Näyte 13	1968	13,3	88	1,17	75	0,266	172	2,54
Näyte 14	1970	14,1	150	2	113	0,400	218	3,21
Näyte 15	1972	5,2	153	2,04	48	0,170	252	3,71
Näyte 16	1972	5,9	110	1,47	85	0,300	190	2,80
Näyte 17	1968	5,2	101	1,35	58	0,205	101	1,49
Näyte 18	1993	4,4	83	1,1	50	0,177	167	2,46
Näyte 19	1973	7,7	97	1,29	52	0,184	167	2,46
Näyte 20	1993	9,2	97	1,29	62	0,220	202	2,98
Näyte 21	1960	17,1	61	0,81	42	0,149	73	1,08
Näyte 22	1971	3,2	94	1,25	25	0,089	198	2,92
Näyte 23	1973	7,4	94	1,25	63	0,233	202	2,98
Näyte 24	1971	4,4	92	1,23	45	0,159	184	2,71
Näyte 25	1968	4,1	98	1,3	34	0,120	192	2,83
Näyte 26	1971	6,1	98	1,31	49	0,173	208	3,07
Näyte 27	1972	5,1	138	1,84	42	0,149	231	3,41
Näyte 28	1968	8,2	123	1,64	58	0,208	198	2,92
Näyte 29	1970	13,8	148	1,97	110	0,389	205	3,02

Alla olevat kuvaajat havainnollistavat aktiivihiilen pidätyskyvyn ja valmistusvuoden suhdetta. Kuvassa oleva viiva kuvaa uuden S-1 erityissuodattimen pidätyskykyvaatimusta kiloina.



Kuva 3 Aktiivihiilen pidätyskyky kiloina vs. aktiivihiilisuodattimen valmistusvuosi

Alla olevat kuvaajat havainnollistavat aktiivihiilen pidätyskyvyn ja suhteellisen kosteuden suhdetta. Kuvassa oleva vaakaviiva kuvaa uuden S-1-erityissuodattimen pidätyskykyvaatimusta kiloina.



Kuva 4 Aktiivihiilen pidätyskyky kiloina vs. mitattu aktiivihiilen kosteusprosentti

4. Johtopäätökset

Pidätyskykymittausten perusteella suurin osa aktiivihii-
län toimintakuntoisia ja omaavat hyvän pidätyskyvyn teollisuuskaasuja vastaan, vaikka sitä ei ole aktiivihii-
län valmistushetkellä vaadittu. Teollisuuskaasusta ammoniakkiin pidätyskyvyssä oli eniten puutteita ver-
rattuna uuteen aktiivihii-
län. Toisaalta ammoniakkiin pidätyskykyä parantaa tutkittujen aktiivihii-
län korkeampi kosteusprosentti (taulukko 3).

Tuloksista nähdään, että aktiivihii-
län ikä ei korreloi merkitsevästi aktiivihii-
län pidätyskykyyn. Testien perusteella jopa 1960-luvulla valmistetut aktiivihii-
län ovat toimintakun-
toisia oikein säilytettynä.

5. Yhteenveto

Aktiivihii-
län valmistamille tuli vuonna 2005 sisäministeriöltä vaatimus teollisuuskaasujen pidä-
tyskyvylle ja vaatimuksia tarkennettiin vuonna 2011. Tutkituista aktiivihii-
län pääosa oli val-
mistettu ennen vuotta 2005, joten teollisuuskaasujen pidätyskykyä ei ole vaadittu aktiivihii-
län valmistushetkellä.

Tulosten perusteella aktiivihii-
län olivat edelleen toimintakun-
toisia mutta eivät kai-
kilta osin uudenveroisia. Joidenkin aktiivihii-
län pidätyskyky oli alkanut jo laskea
mutta yksikään aktiivihii-
län ei ollut täysin menettänyt pidätyskykyään.

Pidätyskykymittausten perusteella ammoniakkiin pidätyskyvyssä oli eniten puutteita, mutta toi-
saalta ammoniakkiin pidätyskykyä parantaa tutkittujen aktiivihii-
län korkeampi kosteusprosentti
(taulukko 3).

Aiempien PVTUTKL aktiivihii-
län tutkimustulosten perusteella korkea (>15%) kosteusprosentti
on indikaattori aktiivihii-
län mahdolliselle ikääntymiselle.

Tuloksista nähdään, että aktiivihii-
län ikä ei korreloi merkitsevästi aktiivihii-
län pidä-
tyskykyominaisuuksiin. Testien perusteella jopa 1960-luvulla valmistetut aktiivihii-
län ovat toi-
mivia oikein säilytettynä.

Lähdeluettelo

- [1] H. Marsh, F. Rodriguez-Reinoso, Activated Carbon: Elsevier, 2006.
- [2] T. Amitay-Rosen et al., J. Occup. Environ. hyg. **12**, 130-137
- [3] S.S. Barton et al., Carbon, **34** 975-982 (1996)