



Tutkintaselostus

C 7/1998 L

Akkujen ylikuumeneminen lennolla 5.3.1998

OH-LMH

DC-9-82

Kansainvälisen siviili-ilmailun yleissopimuksen liitteen 13 (Annex 13) kohdan 3.1 mukaan ilmailuonnettomuuden ja sen vaaratilanteen tutkinnan tarkoituksena on onnettomuuksien ennaltaehkäiseminen. Ilmailuonnettomuuden tutkinnan ja tutkintaselostuksen tarkoituksena ei ole käsitellä onnettomuudesta mahdollisesti johtuvaa vastuuta tai vahingonkorvausvelvollisuutta. Tämä perussääntö on ilmaistu myös onnettomuuksien tutkinnasta annetussa laissa (373/85) sekä Euroopan Unionin neuvoston direktiivissä 94/56/EY. Tutkintaselostuksen käyttämistä muuhun tarkoitukseen kuin turvallisuuden parantamiseen on vältettävä.



SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE	3
1 TAPAHTUMAT JA TUTKIMUKSET	4
1.1 Tapahtumien kulku	4
1.2 Perustiedot	4
2.2.1 Ilma-alus	4
1.2.2 Lennon tyyppi	4
1.2.3 Henkilömäärä	4
1.2.4 Henkilövahingot	4
1.2.5 Ilma-aluksen vauriot	4
1.2.6 Muut vahingot	5
1.3 Tekniset tutkimukset	5
1.3.1 Akkujen tarkastus ja kunto	5
1.3.2 Akkulataajat	9
1.3.3 Aikaisemmat ylikuumentumistapaukset	9
2 ANALYYSI	11
2.1 Akun lämpötilan valvontajärjestelmän puuttuminen	11
2.2 Lentoturvallisuusriskit	12
3 JOHTOPÄÄTÖKSET	13
3.1 Toteamukset	13
3.2 Akkuvaurion syy	13
4 TURVALLISUUSSUOSITUKSET	14
LIITTEET:	15
LÄHDEAINEISTOLUETTELO:	15



ALKULAUSE

Torstaina 5.3.1998 klo 12.15 Ruotsissa Arlandan lentoasemalla Finnair Oyj:n omistaman Douglas DC-9-82, OH-LMH liikennelentokoneen akkujen havaittiin ylikuumentuneen.

Onnettomuustutkintakeskus määräsi johtava tutkija Seppo Hämäläisen ja erikoistutkija Esko Lähteenmäen suorittamaan tapauksesta tutkimuksen (C 7/1998 L).

1 TAPAHTUMAT JA TUTKIMUKSET

1.1 Tapahtumien kulku

Lentokoneen saavuttua seisonapaikalle matkustajasiltaan mekaanikko havaitsi, että akkujen huohotinputkista tuli höyryä ja totesi akkujen ylikuumentuneen. Kun lentokoneen etuovi oli avattu, matkustamon vanhin tuli kertomaan ohjaamoon haistamastaan oudosta hajusta. Samanlaisen havainnon oli tehnyt myös koneen perämies. Heti tämän jälkeen mekaanikko ilmoitti radion välityksellä, että rungon alta tulee "savua". Kapteeni meni ovelle katsomaan tilannetta, jolloin mekaanikko kertoi akkujen olevan kuumentuneina ja ehdotti ottamaan kaikki matkustajat ulos. Samalla mekaanikko kytki koneen virrattomaksi.

Koska kone oli virrattomana kapteeni ei voinut käyttää normaalia kuulutusjärjestelmää, vaan meni matkustamoon ja kehotti matkustajia siirtymään välittömästi ulos. Matkustajat poistuivat pääoven kautta lentoasemarakennukseen.

Lennon aikana akkujen kunnosta tai ylikuumenemisesta ei esiintynyt mitään merkkejä, koska kyseisessä lentokonetyypissä ei ole minkäänlaista akkujen lämmönvalvontajärjestelmää.

Lentokoneeseen vaihdettiin akut, akkulataaja, latausrele ja akkujen lämpötuntopää. Sen jälkeen kone koekäytettiin, jolloin lataus toimi normaalisti ja lentokone todettiin lentokuntoiseksi.

1.2 Perustiedot

2.2.1 Ilma-alus

Liikennelentokone Douglas DC-9-82, OH-LMH, valmistusnumero 53245, -vuosi 1992.

1.2.2 Lennon tyyppi

Liikennelento, reittilento.

1.2.3 Henkilömäärä

Miehistöä 7, matkustajia 101.

1.2.4 Henkilövahingot

Ei henkilövahinkoja.

1.2.5 Ilma-aluksen vauriot

Molemmat akut vaurioituivat ylikuumenemisen seurauksena.



1.2.6 Muut vahingot

Ei muita vahinkoja.

1.3 Tekniset tutkimukset

1.3.1 Akkujen tarkastus ja kunto

Yleistä: Akku koostuu ruostumattomasta teräksestä hitsatusta kotelosta, jonka sisälle on sijoitettu 11 kpl nailon kuorisia kennoja. Kennot on kiilattu liikkumattomiksi muovilevyillä. Akkukotelon päällä on neljällä lukolla kiinnitetty tiivis kansi (Kuva 1).

Kotelosta lähtee huohotinputki, joka jatkuu lentokoneen rungon alle.

Akku 1, tyyppi SAFT nikkeli-kadmium lentokoneakku, s/n K1106, Finnair no 0073. Käyntiaika 425 h.

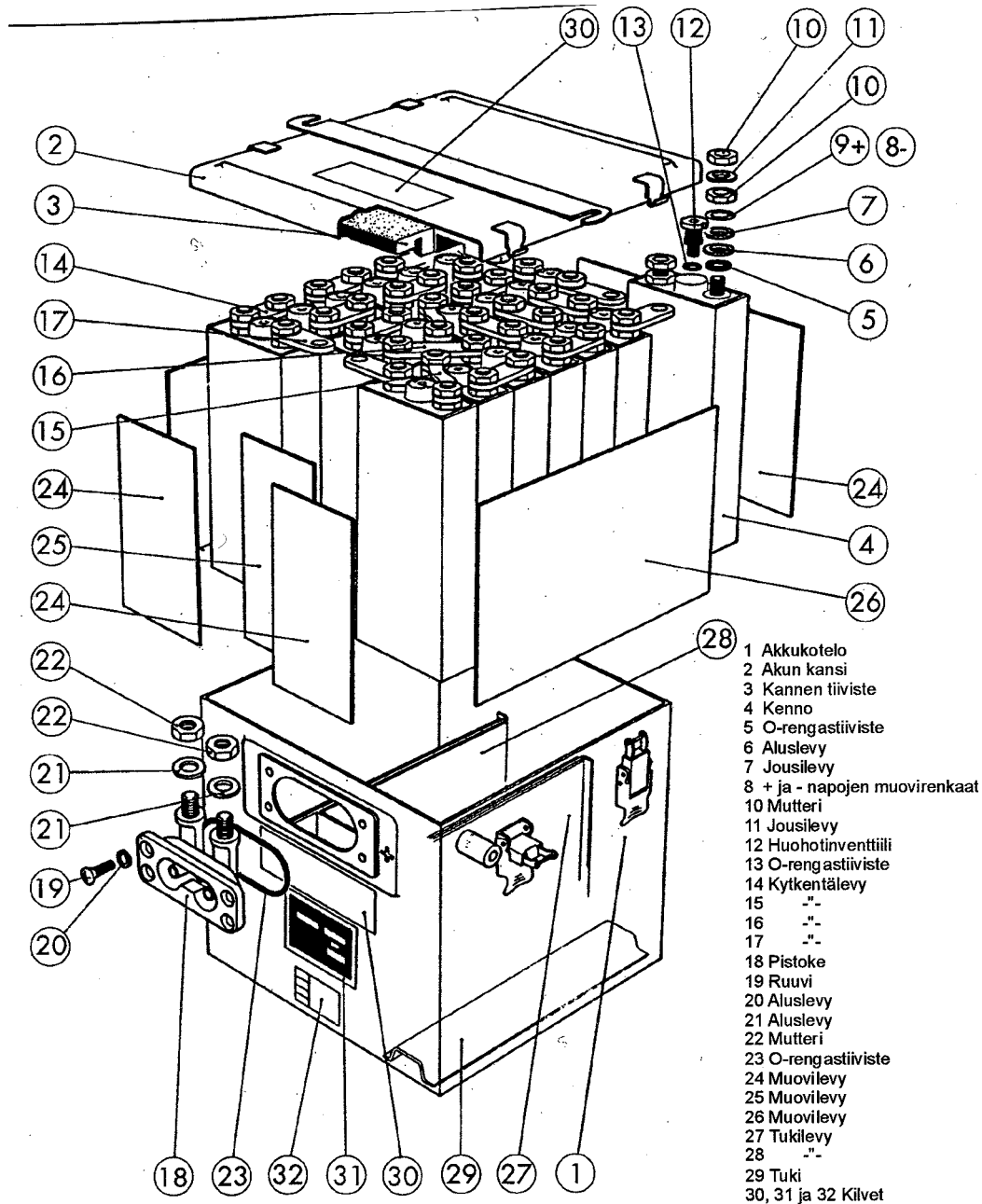
Akkukotelo oli sivuiltaan silmin havaittavasti pullistunut, mutta ehyt. Kennojen päällä oli täyttöaukon ylipaineventtiilistä ylivuotanutta elektrolyyttiä, joka oli kuivunut vaaleaksi karstaksi. Kennojen virtanapojen juuressa olleet punaiset (+) ja siniset (-) muovirenkaat olivat sulaneet kennojen yläpinnalle. Kennojen ja kotelon välisissä muovilevyissä oli kuumenemisesta aiheutunutta taipumaa.

Kennot nostettiin ylös kotelosta, jolloin todettiin, että usean kennon muovikuoreen oli sulanut reikiä. Kennoille oli tyypillistä, että myös viereisessä kennossa oli reikä samalla kohdalla. Kennot olivat lähes tyhjä elektrolyytistä. Akkukotelon pohjalla oli elektrolyyttiä noin 10 mm kerros.

Kennojännitteiden mittausta:

Tyhjänä pidetään kennoa, jonka jännite on alle yksi voltti.

<i>Kenno</i>		<i>Kenno</i>	
1	0,733 V	7	0,019
2	0,406	8	0,215
3	0,097	9	0,902
4	0,088	10	1,085
5	0,120	11	1,111
6	0,344		



Kuva 1. SAFT nikkeli-kadmium akun rakenne.

Akku 2, tyyppi SAFT nikkeli-kadmium lentokoneakku s/n K1107, Finnair no 0074. Käyntiaika 425 h. Aku oli rakenteeltaan samanlainen kuin akku 1.

Akkukotelo oli muodoltaan akku 1:n kaltainen. Kennojen yläpinnalla oli kuivunutta elektrolyyttiä ja värilliset napojen muovirenkaat olivat sulaneet. Kennojen ja kotelon väliset muovilevyt olivat taipuneet ja osassa niistä oli sulamisjälkiä.

Kennot nostettiin ylös kotelostaan. Tämän akun kennojen kuoret olivat sulaneet enemmän kuin akun 1 kennot. Niille oli myös tyypillistä, että viereisessä kennossa oli isot reiät samalla kohdalla. Pahimmin olivat sulaneet kennot 5 ja 6, joissa kennojen materiaali



(Nylon II) oli sulanut kanteen saakka ja hitsautunut yhteen. Kaikki kennot olivat lähes kuivat ja kotelon pohjalle oli nestettä vähemmän kuin akussa 1.

Kennojännitteiden mittaustulokset:

<i>Kenno</i>		<i>Kenno</i>	
1	0,460 V	7	0,157
2	0,613	8	0,201
3	0,751	9	0,898
4	0,054	10	0,863
5	0,762	11	0,187
6	0,070		



Kuva 2. Akun 1 kennoja. Kennojen virtanapojen juuressa olevat punaiset (+) ja siniset (-) muovirenkaat olivat sulaneet kennojen yläpinnalle. Myös kennoissa oli sulamisjälkiä.



Kuva 3. Akun 2 kennoja. Kennoissa oli isoja reikiä ja osa kennoista oli hitsautunut yhteen. Sulaneet reiät olivat vastakkain.



Akkulataaja: Sundstrand, osanumero 26340061-04, laitenumero 5624211, Finnair no 20.

Lataaja tarkastettiin Finnair Oyj:n laitekorjaamolla, jolloin havaittiin, että lataajan tyristori SCR 4 johti sähköä, ts. latasi akkua kaiken aikaa huolimatta siitä, oliko akun lämpöanturi (sensorin) sähköpiiri poikki tai oikosulussa.

Lisäksi tarkastuksessa havaittiin CR 10:n anodin olleen löysällä. Tällä seikalla ei ole ollut merkitystä yllilataukseen.

1.3.2 Akkulataajat

Lentoyhtiössä on käytössä kahden eri valmistajan akkulataajia, Sundstrandin ja Acme Electricin.

Sundstrandin akkulataajassa latausvirta ohjautuu suoraan tyristorisillan kautta akkuun ja tyristoreita ohjataan akun latauksen mukaan (tyhjä akku - suuri latausvirta ja akun varautuessa virta vastaavasti pienenee). Tyristorin mentyä oikosulkuun akku latautuu vakiovirralla varaustilasta huolimatta. Tällöin akun lämpöanturi ei myöskään pysty ohjaamaan latausta, vaan akku ylikuumenee.

Acme Electricin lataajassa latausvirran ohjaus on toteutettu transistoripääteasteella. Tämän lataajan ominaisuuksiin kuuluu, että sen vikaantuessa lämpölaukaisija avautuu ja lataus loppuu.

Molempien valmistajien akkulataajien kanssa käytettävät akkujen lämpötilaa valvovat tuntoanturit ovat akkukotelojen alla, mutta vanhemmissa DC 9/MD 80 malleissa tunto-pää on vain toisen akun alla, kuten nyt tutkittavassakin tapauksessa oli.

Lentoyhtiössä on päätetty vaihtaa kaikkien DC-9/MD-80 koneiden Sundstrand merkkiset akkulataajat Acme Electricin valmistamiin lataajiin Douglas Aircraft Company:n SB:n nro DC9-24-093 R02 mukaisesti, joka on julkaistu 31.10.1985. Kokemuksien mukaan nämä lataajat eivät ole ylikuumentaneet akkuja sillä rikkoutuessaan lataaja menee virratto-maksi. Näissä lataajissa on lämpötilaa mittaava anturi molempien akkujen alla. Käyttökokemukset näistä laatureista ovat olleet varsin hyviä. Tämän tutkimuksen valmistu-misajankohtana vain muutamassa ko. lentokoneessa oli enää Sundstrandin akkulataaja.

Tämä muutos ei kuitenkaan poista kaikkia ylikuumenemisen syitä, eikä korvaa lämpöti-lan mittaus- tai varoitusjärjestelmää.

1.3.3 Aikaisemmat ylikuumenemistapaukset

Lentoyhtiön akkukorjaamon tiedossa oli vuodelta 1984 nyt tutkittavan kaltainen tapaus. Tuolloin akkujen kennot olivat sulaneet ja kennojen elektrolyytti oli höyrystynyt ja tullut akkukotelojen huohotinputkista ulos.

Myös 1984 akkujen ylikuumenemisen aiheutti vika akkulataajassa. Yksi akkulataajan ty-ristorisillan kolmesta säätötyristorista jäi johtavaksi, latausjakso ei katkennut ja jatkuva latausvirta kuumensi akut. Tämän vanhan tapauksen ero nyt tutkittavaan on ainoastaan

siinä, että 1984 tapauksessa akkulataajan lämpölaukaisija avautui lennon aikana, jota ei tapahtunut nyt tutkittavassa tapauksessa.

Akkukorjaamon henkilökunnan mukaan kyseisen tyyppisissä akuissa, niiden tullessa huoltoon, on silloin tällöin havaittavissa kennojen lievempiä ylikuumentumismerkkejä ja kuumien kennojen aiheuttamaa akkukotelon pullistumista. Vuoden 1984 tapauksen jälkeen on tapahtunut akkujen tuhoutumisia yllätauksen vuoksi noin 10 kpl. Kaikissa näissä tapauksissa akkulataaja on ollut Sundstrandin valmistama.



2 ANALYYSI

2.1 Akun lämpötilan valvontajärjestelmän puuttuminen

DC-9/MD-80 lentokoneiden akuissa ei ole mitään akun lämpötilasta kertovaa ja/tai yllämmöstä varoittavaa järjestelmää. Lämmönvalvontajärjestelmä on kuitenkin miltei kaikissa muissa nykyään käytössä olevissa ilma-aluksissa, myös pienemmissä, joissa on nikkeli-cadmium akku, sillä akulle voi tapahtua muutamasta eri syystä hallitsematon lämpötilan nousu (thermal runaway).

Lämmönvalvontajärjestelmän puuttuminen DC-9/MD-80 konetyypeistä johtuu siitä, että DC-9 koneen tyyppihyväksymisen aikaan (1960-luvulla) ei vielä vaadittu akun ylikuumentumisen varoitusjärjestelmää ja myöhemmät DC-9/MD-80 sarjan konetyypit on tyyppihyväksytty samoilla vanhoilla tyyppihyväksymisperusteilla. Nykyiset tyyppihyväksymisperusteet (FAR 25 muutos ja JAR 25) vaativat ylikuumentumisen varoitusjärjestelmän Ni-Cd akuille.

Takautuvat lentokelpoisuusvaatimukset mahdollistaisivat ilma-aluksen iästä riippumatta vaatia varoitusjärjestelmän ko. konetyyppiinkin, mutta tutkimuksen yhteydessä käytyjen keskustelujen mukaan tarvittavaa halukkuutta tai motivaatiota ei näytä olevan, sillä USA:n ilmailuviranomainen ei ole pitänyt asiaa huolestuttavana ja Suomen ilmailuviranomaisen mukaa kansallinen määräys ilman painavia syitä ei ole mahdollinen.

Koska Finnair Oyj:n DC-9/MD-80 laivastossa on tapahtunut yli kymmenen vakavaa akkujen ylikuumentumistapausta, niin ko. koneille maailmassa on tapauksia todennäköisesti ollut useita satoja. Onkin ilmeistä, että kysymyksessä on konetyypissä esiintyvä vakava vika, joka ilmenee aika ajoin, mutta suhteellisen harvoin yhdelle yhtiölle. Tämän vuoksi vian vakavuutta ei ole riittävästi tiedostettu ja viasta on tullut tyyppiin kuuluva "hyväksytty ominaisuus". Vastuu määräyksen laatimisesta vian korjaamiseksi on lentokoneen valmistajamaan viranomaisella, mutta moraalinen vastuu epäkohdan korjaamiseksi on valmistajalla. Tärkeä osuus on myös lentokoneiden käyttäjillä, sillä heidän tulee tilastoida ja ilmoittaa jokainen vika ilma-aluksen valmistajalle, esittää vakava huolestuminen asiantilasta ja ehdottaa tai jopa vaatia epäkohdan poistamista.

Akkujen tuhoutumiseen johtava ylikuumentuminen lennolla, on niin vakava häiriö, että sen havaitsemiseksi olisi oltava lämpötilan mittaus- tai varoitusjärjestelmä. Tapahtuma on lisäksi sellainen, että se useimmissa tapauksissa voitaisiin estää tai seurauksia lieventää, mikäli ohjaajat olisivat asiasta tietoisia.

Koneen ohjaamossa on voltti/ampeerimittari, josta seurataan akun jännitettä ja latausjakson pituutta. Miehistö tarkistaa mittarista latauksen suuruuden ja että se toimii jaksottaisesti, mutta tämä tehdään vain ennen päivän ensimmäistä lentoa.

2.2 Lentoturvallisuusriskit

Lentokoneen akut olivat nikkeli-kadmium (Ni-Cd) akkuja, joissa elektrolyytinä on tislattua vettä ja kaliumhydroksidin alkaalinen liuos. Mikäli akkua ladataan liian suurella virralla, kuten tutkittavassa tapauksessa oli käynyt, sähkövirta ei enää mene akun lataamiseen, vaan se hajottaa vettä vedyksi ja hapeksi. Kaasuja muodostuu palamisen kannalta juuri oikeassa suhteessa. Vedyn alempi syttymisraja on ilmassa noin neljä prosenttia, joten seoksen laimetessa tämän alapuolelle syttyminen ei ole mahdollista.

Akkukotelot on tuuletettu rungon ulkopuolelle ja akkukotelon kansi on tiivistetty, joten kaasut eivät pääse lentokoneen sisälle. Mikäli huohotusjärjestelmä tukkiutuu tai akkukotelo repeytyy kennojen pullistuessa, kaasuja pääsee vuotamaan rungon sisään. Mikäli kaasun ja ilman seos muodostuu sopivaksi ja löytyy kipinä tai muu lämmönlähde, on ainakin teoreettinen mahdollisuus seoksen syttymiselle ja räjähdykselle. Akut sijaitsevat etulaitetilassa ohjaamon alla, jossa on sähkölaitteita. Kennojen lämpötila on ollut varsin korkea, sillä kennojen muovikuori, jonka sulamislämpötila on 186 °C, oli paikoitellen sulanut.

Akun räjähdys lentokoneessa on erittäin harvinaista (mahdollisesti yksi tapaus liikenne-lentokoneessa).

Vety ja happi eivät ole myrkyllisiä, mutta ylikuumenemistilanteessa elektrolyytin kiehuessa siitä irtoaa sumuna pieniä pisaroita lipeää, joka syövyttää alumiinia.

Lentoturvallisuuden kannalta on todettava, että akut ovat tässä konetyypissä sähköenergian viimeinen varajärjestelmä.



3 JOHTOPÄÄTÖKSET

3.1 Toteamukset

- 1 Molemmat akut olivat vaurioituneet pahoin kennojen ylikuumentumisen seurauksena. Akkukennojen lämpötila on ollut yli 186 °C.
- 2 Kuumentuminen aiheutui akkulataajan tyristorivian vuoksi, minkä seurauksena latausvirta oli liian suuri.
- 3 Akkujen elektrolyytti oli höyrystynyt ja purkautunut ulos huohotinputkien kautta. Vesi oli hajotessaan muodostanut vetyä ja happea.
- 4 Ko. konetyypin akuissa ei ole akun lämpötilan valvonta/varoitusjärjestelmää, koska sitä ei ollut tyyppihyväksymisperusteissa, kun DC-9 konetyyppejä aikanaan hyväksyttiin, eikä sitä ole vaadittu myöhemminkään DC-9-80 sarjan lentokoneisiin takautuvana lentokelpoisuusvaatimuksena.
5. On ilmeistä, että lentokoneen käyttäjät eivät ole reagoineet akkujen ylikuumentumistapauksiin riittävän vakavasti, eikä näin ollen läheskään kaikista tapauksista ole raportoitu valmistajalle. Tällä seikalla saattaa olla merkitystä siihen, että ko. konetyypissä ei ole asianmukaista akkujen lämpötilan valvontajärjestelmää.

3.2 Akkuvaurion syy

Akkujen vaurioitumisen syy on esitetty kohdassa Toteamukset 1-4.



4 TURVALLISUUSSUOSITUKSET

Vallitsevassa tilanteessa on epätodennäköistä, että ko. konekalustoon määrättäisiin akkujen lämmönvalvontajärjestelmä. Sen vuoksi lentoyhtiössä aloitettu akkulataajien vaihtaminen toisen valmistajan lataajaan, joka kokemuksen mukaan ei kiehuta akkuja, tulisi viedä loppuun mahdollisimman nopeasti.

Helsingissä 8.4.1999

Seppo Hämäläinen

Esko Lähteenmäki

LIITELUETTELOT

Liitteet:

Ei liitteitä

Lähdeaineistoluettelo:

Seuraava lähdeaineisto on taltioituna Onnettomuustutkintakeskuksessa:

1. Ohjaajan raportti akkuviasta.
2. Matkapäiväkirjan sivu 5.3.1998, nro 4496.
3. Rikkoutuneen lataajan vikaraportti.
4. Sundstrand akkulataajan kaaviokuva.
5. AFM:n osa 1.4.3 sivu 3 ja 4. Sähkönsyöttöjärjestelmän kaaviokuva.
6. Akkujen edellisen huollon mittauspöytäkirjat.
7. Service Bulletin nro DC9-24-093 R02.
8. Valokuvia akuista, 8 kpl.