



Finavian lentoasemien kantavuuslaskentamenetelmä

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Liikenneala, Riihimäki

Kevät 2024

Jere Paldanius

Liikenneala

Tekijä Jere Paldanius

Työn nimi Finavian lentoasemien kantavuuslaskentamenetelmä

Ohjaaja Oskar Eklöf (HAMK), Jenny Kälvälä (Finavia Oyj)

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Finavia toteuttaa hallinnoimiensa asemien kenttäalueille kantavuuslaskennat päivitettyillä laskentamenetelmillä. Tässä opinnäytetyössä on esitetty Finavian nykyaikaisten kantavuuslaskenta metodien toteuttamistavat ja periaatteet. Työn toimeksiantaja on Finavia Oyj.

Keskeisenä sisältönä opinnäytetyössä esitetään Finavian uudenlainen ACR-PCR laskentamenetelmä ja kerrotaan eri kantavuusrakenteista, sekä niiden mittaustavoista ja merkityksestä kokonaisuuteen.

Työn tavoite on esittää kattavasti lentoasemien kantavuuslaskenta metodit ja tuottaa kokonaisuus, jota voidaan hyödyntää Finavialla tulevaisuudessakin esimerkiksi aiheen esittely tai henkilön perehdytykseen aiheeseen.

Työn taustalla toimii Euroopan unionin lentoturvallisuusviraston (EASA) antama ohjeistus Euroopan lentoasemien uudelleenlaskentojen toteutuksesta lentoalueille.

Pääasialliset tiedonhankinnan lähteet työtä varten olivat lentoturvallisuusviraston ohjeistukset sekä tilaajan antamat materiaalit työn toteuttamista varten. Ammatillisia termejä työssä on käytetty jonkin verran ja niiden pohjalta työ sisältää termistön, jossa näitä on pyritty selittämään kattavasti.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi myös kehitysehdotuksia. Kehitysehdotukset keskittyvät tulevaisuuden toimintatapoihin eivätkä varsinaisesti kyseisen kantavuuslaskennan toteuttamiseen. Opinnäytetyön tarkoitus ja sille asetetut tavoitteet toteutuivat.

Avainsanat Kantavuus, laskentamenetelmä, rakenteet, lentoalueet

Sivut 16

Finavia is executing load capacity calculations for their own airports. This thesis introduces and discusses the method that Finavia is using for the capacity calculations. The commissioner of this thesis is Finavia Oyj. The discussion in this thesis is focused on Finavia's new ACR-PCR calculation method. In addition, load capacity structures and measurement methods are explored. The goal of the work is to produce a comprehensive presentation that Finavia can use also in the future. The work can be used for orientation or introducing the topic.

The implementation of the work is based on the instructions of the European Safety Agency. Information was mainly obtained from the instructions of the Aviation Safety Agency and a lot of material has also received from the Finavia. To facilitate the comprehension of this work, a glossary of key terms is provided in the thesis. The work includes improvement suggestions for future methods. The aim and purpose of the thesis were fulfilled.

Keywords Capacity, calculation method, structures, airport

Pages 16

Sisällys

Termistö

1	Johdanto	1
2	ACR-PCR menetelmä	1
2.1	ACR-määritelmä	3
2.2	PCR-määritelmä	3
2.3	Järjestelmän metodologia	3
3	Pohjamaa.....	3
4	Päällysteet	4
5	Laskentaperiaatteet	6
5.1	Päällysrakenne	6
5.2	Kantava rakenne.....	7
5.3	Jakava rakenne	7
5.4	Liikenne-ennuste.....	7
6	FAARFIELD	9
7	Kantavuustutkimus.....	11
7.1	Mittaus	12
7.2	Tutkimuspisteet.....	12
7.3	Kiitotiet.....	12
7.4	Rullaustiet	12
7.5	Asematasot.....	13
8	Yhteenveto.....	14
	Lähteet	16

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1 PCR-arvon ilmoittaminen (ICAO, 2024)	2
Kuva 2 Menetelmän vakioluokitukset (Finavia Oyj, 2014)	4
Kuva 3 Ilma-alusten viitekoodit (Finavia Oyj, 2023).....	7
Kuva 4 Kuusamo operoinnit 2018–2022 (Finavia Oyj, 2024).....	8

Kuva 5 Helsinki-Vantaa operoinnit 2018–2022 (Finavia Oyj, 2024).....	9
Kuva 6 FAARFIELD ilma-alus kirjasto (Finavia Oyj, 2023).....	10
Kuva 7 FAARFIELD rakenne (Finavia Oyj, 2023)	11
Kuva 8 Mittauspistekartta (Finavia Oyj, 2014).....	13

Liitteet

Liite 1. Aineistonhallintasuunnitelma

Termistö

Lentoliikennealalla on runsaasti termejä, jotka voivat olla useille ihmisille melko vieraita tai hieman epäselviä tarkoitukseltaan. Esimerkiksi puhuttaessa lentokoneiden operoinneista, sillä tarkoitetaan lentokoneiden lentoonlähtöjä tai laskeutumisia. Tässä osiossa on avattu muutamia yleisiä termejä, joita löytyy myös opinnäytetyöstäni. (Trafi, 2012)

Lentoasema on yksinkertaisuudessaan paikka, joka vastaa pysyvästi ilmaliikennepalveluista. Lentoasemalta järjestetään lennonjohto, neuvonta, tiedotus- ja hälytyspalvelut.

Lentokenttäalue on lentoaseman keskeisin alue. Lentokenttäalueeseen kuuluu kiitotiet, rullautiet, asematasot sekä ulkopuolisilta kielletyt alueet. Lentokenttäalue kattaa turvaidojen sisäpuolisen alueen.

Asemataso on määrätty maalentopaikan osa, jossa suoritetaan lentokoneiden sekä helikopterien lastaukset, purkamiset, tankkaukset- ja muut huoltotoimenpiteet.

Seisontapaikka on määrätty alue asematasolla lentokoneiden ja kopterien paikoitusta varten.

Kenttäalue on alue, joka on tarkoitettu lentoonlähtöä, laskeutumista ja rullauksia varten.

Kiitotie on määritetty alue lentoonlähtöjä ja laskeutumisia varten.

Rullaustie on kulkuväylä lentokoneiden ja helikopterien rullausta varten. Rullaustie luo yhteyden kentän eri osien välille.

1 Johdanto

Kansainvälinen siviili-ilmailu järjestö ICAO (International Civil Aviation Organization) otti 1980-luvun alussa käyttöön kantavuuksien ilmoitusmenetelmän ACN-PCN. Menetelmä on standardoitu kansainvälinen päällystejärjestelmä lentokentille ja se on toiminut virallisena luokitusjärjestelmänä kenttäalueiden päällysteille. (Finavia Oyj, 2014)

ACN-PCN menetelmä perustuu kehitelmiin, jotka on alun perin kehitetty 1930-luvun loppupuolella ja sen ei koeta täyttävän nykypäivän vaatimuksia esimerkiksi kehittyneiden päällysmateriaalien huomioon ottamisen suhteen. (Finavia Oyj, 2014)

ICAO perusti vuonna 2009 Study Groupin, jonka tehtävänä oli tutkia päällysteen vahvuuksien raportointimenetelmiä. Tutkimusryhmä havaitsi puutteita ja kehitti uuden ACR-PCR menetelmän, jonka avulla on mahdollista ilmaista yksittäisen ilma-aluksen vaikutus päällysteeseen yksittäisellä numerolla. Tämä uusi menetelmä ACR-PCR korvaa aiemmin käytetyn menetelmän vuoden 2026 aikana. (Federal Aviation Administration, 2022)

Tämä työ on esitys Finavian uudesta kantavuuslaskentamenetelmästä. Se kattaa kokonaisvaltaisesti menetelmän lähtökohdat, sekä kertoo mitä kaikkea on otettava huomioon, jotta kantavuuslaskennat saadaan toteutettua. Työssä kerron mitä laskentaperiaatteet pitää sisällään, miten kantavuustutkimukset toteutetaan ja millaisia päällysrakenteita käytetään.

Opiskelijana itse olen ollut työharjoittelussa mukana kyseisessä projektissa. Harjoittelun alkaessa projekti oli edennyt siihen vaiheeseen, että työharjoitteluni pääpaino oli liikenne-ennusteiden rakentamisessa.

2 ACR-PCR menetelmä

ACR-PCR menetelmässä käytetään hyvin pitkälle samoja käsitteitä, kuin ACN-PCN menetelmässä. Uusi menetelmä pystyy kuitenkin täyttämään vanhan menetelmän puutteet ja sitä kautta täyttämään nykyaikaiset kriteerit. ACR-PCR menetelmän avulla päällysteen vahvuutta voidaan raportoida jatkuvasti. Sama asteikko kykenee mittaamaan ilma-alusten sekä päällysteiden kuormitusluokituksia.

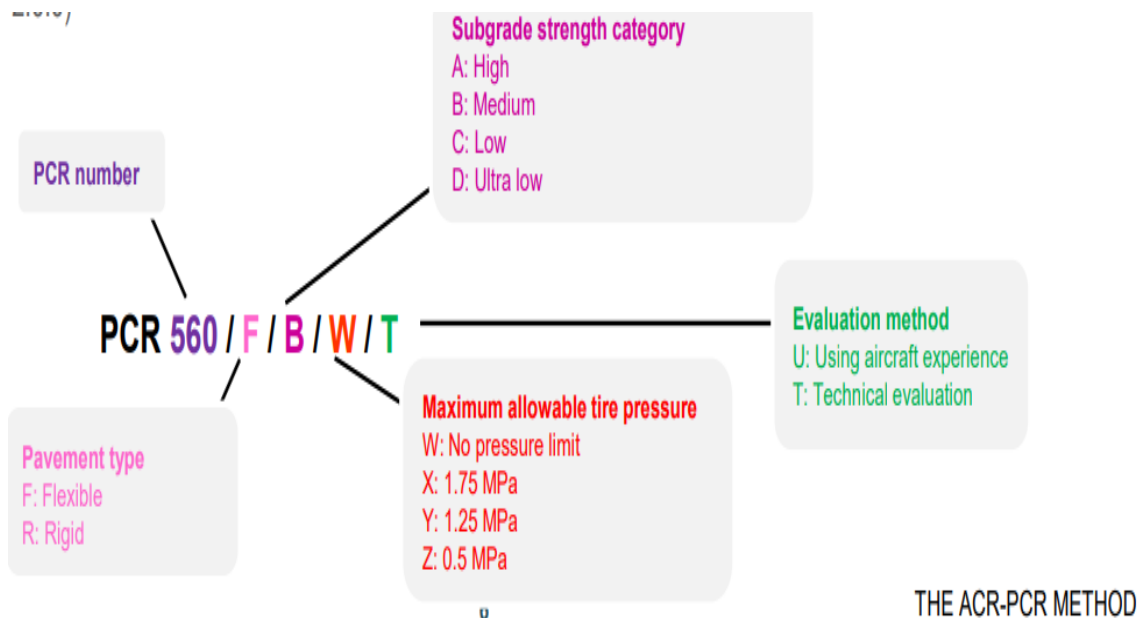
ACR-PCR ei ole itsessään ole suunnittelunormi päällysteille, vaan se on päällysteen lujuustietojen julkaisemiseen tarkoitettu menetelmä.

ACR-PCR menetelmän pääpaino on ilma-alusten kuormitusluokituksissa ja se sisältää omanlaisensa vakiomenettelyn kuormitusluokituksien suhteen. Menetelmässä päällysteen lujuus raportoidaan ilma-alusten kuormitusluokituksena. Kuvassa 1 on esitetty PCR-arvon ilmoitustapa. Arvot julkaistaan myös ilmailukäsikirjassa.

ACR-PCR menetelmässä käytetään neljää standardia pohjamaaluokkaa. Pohjaluokat on nimetty korkeaksi, keskitasoksi, matalaksi ja erittäin matalaksi. Jokaiselle pohjaluokalle on määritetty numeeriset arvot.

Nykyaikainen menetelmä kykenee huomioimaan lentokoneiden sallitut painot, sekä mahdollistamaan optimoidun käytön jo olemassa olevilla ja tulevilla päällysteillä. Se myös vähentää päällysteiden aiheuttamia painorajoituksia ilma-alusten käyttäjille. Uudesta järjestelmästä hyötyvät myös lentoasemien pitäjät, joiden on helpompi tulevaisuudessa optimoida ja arvioida päällysteiden käyttöä lentoalueilla sekä parantaa päällysteiden rakenteellisia elinkaaren ennusteita. (EASA, 2022; ICAO, 2022)

Kuva 1. PCR-arvon ilmoittaminen (ICAO, 2024)



2.1 ACR-määritelmä

ACR on luku, joka ilmaisee lentokoneen painon suhteellisen vaikutuksen päällysrakenteeseen. Suhteelliseen vaikutukseen vaikuttavia tekijöitä lentokoneen oman painon lisäksi ovat pyörien lukumäärä, renkaiden etäisyys toisistaan ja rengaspaineet.

ACR:n arvon laskeminen vaatii yksityiskohtaisia tietoja ilma-aluksen ominaisuuksista. Kuten suurimman peräpainopisteen, rengasvälin sekä rengaspaineet. (ICAO, 2024)

2.2 PCR-määritelmä

PCR on luku, joka ilmaisee päällysrakenteen kantokyvyn rajoittamattomassa toiminnassa. Lentoaseman pitäjän tulee määrittää PCR-arvo kaikille yli 5,7 tonnia painaville ilma-aluksille tarkoitetuille päällysteille. (ICAO, 2024)

2.3 Järjestelmän metodologia

ACR-PCR järjestelmän rakenne pohjautuu siihen, että tietyn PCR-arvon omaava päällyste pystyy kantamaan operoivaa ilma-alusta, jonka ACR-arvo on yhtä suuri tai pienempi kuin päällysteen oma PCR-arvo.

Ilma-alukset, joiden ACR-arvo ei ylitä edes satunnaisessa liikkeessä 10:tä prosenttia raportoidusta PCR-arvosta ei saisi vaikuttaa haitallisesti päällysteeseen. Raskaiden ilma-alusten ylikuormitus liikkeiden määrä ei saisi ylittää 5:tä prosenttia vuosittaisista kokonaisliikkeistä. Ylikuormitus toimenpiteitä tarkastellaan tapauskohtaisesti. (ICAO, 2024)

3 Pohjamaa

Päällysrakenteiden mitoituksessa yhtenä lähtökohtana toimii pohjamaan kantavuus. Vanhassa laskentatavassa joustavilla päällysteillä pohjamaan kantavuuden ilmoittamiseen käytettiin pohjamaan CBR-arvoa (%) ja jäykillä päällysteillä pohjamaan alustalukua k ($MN/m^2/m$). Uudessa PCR-metodissa kantavuuden ilmoittamiseen käytetään E-moduuleja.

PCR menetelmässä käytetään neljää eri lujuuustasoa (A-D) jäykille ja joustaville päällysteille. Näillä lujuuustasoilla määritetään myös pohjamaan kantavuus. Kuvassa 2 on esitetty taulukko menetelmän vakioluokituksista.

Alusrakenteen kosteustilalla on merkittävä vaikutus kantavuuden kannalta. Päällys- ja alusrakenteiden kuivana pitoa hoidetaan salaojituksen ja sadevesiviemärintien avulla. Mitä ohuempi päällysrakennekerros on, niin sitä tärkeämpää on rakenteen asianmukainen kuivatus. (Finavia Oyj, 2014)

Kuva 2. Menetelmän vakioluokitukset (Finavia Oyj, 2014)

Subgrade Strength Category	Subgrade Support E (Elastic Modulus) psi (MPa)	Represents E (Elastic Modulus) psi (MPa)	Code Designation
High	29008 (200)	$E \geq 21,756$ (≥ 150)	A
Medium	17405 (120)	$E \geq 14,504 < 21,756$ ($\geq 100 < 150$)	B
Low	11603 (80)	$E \geq 8,702 < 14,504$ ($\geq 60 < 100$)	C
Ultra Low	7252 (50)	$E < 8,702$ (< 60)	D

4 Päällysteet

Lentokenttä päällysteet varmistavat omalta osaltaan turvalliset ilma-alusten operaatiot. Päällysteissä huomioidaan aina päällystealue ja päällysteen rakennekerroksen sijainti.

Päällysteiden on oltava tasaisia ja omattava hyvät kitkaominaisuudet. Suuria rengaspaineita ja raskaita pyöräkuormia varten päällysteissä on oltava korkea jäykkyys ja stabiilitetti. Päällysteiden on myös kestävä taloudellista kunnossapitoa, kulutusta ja ilmastoa riittävästi, etteivät päällysteistä irtoavat kiviainekset tai muut materiaalit vaaranna ilma-alusten toimintaa lentoalueilla. Mikäli päällystevaurio tapahtuu, on syynä yleensä liian suuri kuormitus suhteutettuna päällysteen kuormituksen kantokykyyn. Määritettyä kuormitusta ylittävät kuormat lyhentävät päällysteen käyttöikä.

Päällysteiden elinkaarena rakenteellisessa mitoituksessa pidetään joustavalla asfalttipäällysteellä 20 vuotta, ja jäykällä betonipäällysteellä 30 vuotta. (Finavia Oyj, 2022)

Suomen olosuhteissa päällysteitä joudutaan kuitenkin korjaamaan ja huoltamaan useampia kertoja niiden elinkaaren aikana.

Päällystetyyppejä ovat jäykkä ja joustava päällyste. Päällystetyypin valintaan vaikuttaa päällysteille asetetut vaatimukset sekä eri tyyppien kustannukset.

Ensisijaisesti jäykkiä betonipäällysteitä käytetään seisontapaikoilla, jotta ilma-alusten pyörien alle ei pääse muodostumaan painaumuksia. Vanhoja betonilaattoja on vielä jossain määrin jäljellä kiitoteiden päissä ja rullausteilla asfaltin alla. Joustavan asfalttipäällysteen tasaisuus on parempi ja sen vuoksi se kestää paremmin epätasaisia muutoksia.

Suomen olosuhteissa routivan pohjamaan takia betonipäällysrakenne (jäykkä) on mitoitettava routimattomaksi. Asfalttipäällysrakenne (joustava) kestää routaliikkeitä paremmin eikä se vaurioidu tai sen toiminnallisuus heikkene routaliikkeistä kovinkaan helposti. Joustavan päällysteen korjaaminen on myös huomattavasti helpompaa kuin jäykän päällysteen. Brittien käyttämässä toteutustavassa betonilaatan alle tulee stabiloitu kantava kerros, mutta Suomessa jäykät- ja joustavat päällysrakenteet rakennetaan paksujen sitomattomien kerrosten varaan.

1970–1980-luvuilla käytössä olleiden lentokonetyyppien vaatimukset mahdollistivat päällysrakenteiden suunnittelun nykypäivän vaatimuksiin nähden huomattavan ohuina. Alueiden tehokas salaojitus on kuitenkin auttanut estämään haitallista routimista.

Historian aikana on käytetty monenlaisia päällystetyyppejä, mutta nykypäivänä käytetään kulutuskerroksena tyyppillisesti asfalttobetoneita AB ja KBAB (kumibitumiasfalttibetoni), kantavan kerroksen asfalttobetoneita ABK ja KBABK sekä toisinaan sidekerroksen asfalttibetonia ABS. (Finavia Oyj, 2022)

5 Laskentaperiaatteet

Finavia on päättänyt hyödyntää kantavuuslaskennoissa Federal Aviation Administration (FAA) kehittämää laskenta ohjelmaa FAARFIELD lentokenttien päällysteille.

Laskennassa käytetyt E-moduuliarvot perustuvat pääosin raskaspudotuspainotesteihin (Heavy Weight Deflectometer).

Tilanteisiin, joissa mittaustuloksia ei ole ollut käytettävissä, on johdettu keskimääräiset arvot kullekin rakennekerrokselle perustuen Väyläviraston ohjeistukseen sekä geoteknisten asiantuntijoiden kanssa käytyihin keskusteluihin.

Laskentametodista on käyty keskusteluja muiden Pohjoismaiden lentoasemien pitäjien kesken. Muissakin Pohjoismaissa on havaittu samankaltaisia haasteista laskentamenetelmiin liittyen. Kukin maa on valinnut hieman toisistaan poikkeavan tavan määrittää PCR-arvot.

Laskentaohjelman ilma-aluskirjaston rakentamiseen puuttuvien ilma-alusten osalta on hyödynnetty lentoyhtiöiden tuottamaa materiaalia, kuten NORRA:lta (Nordic Regional Airlines Oy) saatua dataa ATR 72 ilma-aluksen mallinnukseen. ATR:n mallinnusta on myös verrattu Ruotsin lentoaseman pitäjän (Swedavia) rakentamaan malliin. (Finavia Oyj, 2023)

Kappaleissa 5.1–5.3 on esitelty peruslaskentaperiaate kullekin rakennekerrokselle. Tietyissä tapauksissa näitä periaatteita on jouduttu soveltamaan ja käyttämään asiantuntija-arvioita järkevän suuruisen PCR-arvon saavuttamiseksi.

5.1 Päällysrakenne

Päällyskerros mallinnetaan yhtenä kerroksena, koska laskentaohjelman avulla on todettu, etteivät asfalttikerrokset vaadi jaottelua laskennassa. E-moduuli saadaan HDW-mittausten mukaisesti heikoimman alueen reunaviivojen sisäpuolen keskiarvon mukaan.

Mikäli mittauksia ei ole saatavilla, niin E-moduulin arvoksi valitaan 4000 MPa. (Finavia Oyj, 2023)

5.2 Kantava rakenne

Kantavan rakenteen E-moduuli määritetään HDW-mittausten heikoimman alueen reunaviivojen sisäpuolen keskiarvon mukaan.

Mikäli mittauksia ei ole saatavilla niin E-moduulin arvoksi valitaan 300 MPa. (Finavia Oyj, 2023)

5.3 Jakava rakenne

Jakava rakenne käsitellään osana pohjamaata ja pohjamaa määräytyy jakavan rakenteen mukaisesti.

Jakavan rakenteen E-moduuli määritetään HDW-mittausten heikoimman alueen reunaviivojen sisäpuolen keskiarvon mukaan.

Mikäli mittauksia ei ole saatavilla niin E-moduulin arvoksi valitaan 200 MPa. (Finavia Oyj, 2023)

5.4 Liikenne-ennuste

Liikenne-ennusteissa on päädytty laskemaan lentokoneiden operointimäärien eli lentoonlähtöjen keskiarvot vuosilta 2018, 2019 ja 2022. Vuosilta 2020–2021 operointimäärien keskiarvoja ei sisällytetä laskentaan, koska koronaepidemian vaikutus ilma-alusten operointimääriin oli merkittävä eikä täten verrattavissa nykyaikaan.

Liikenne-ennuste laskentaan valitaan lähtökohtaisesti kaikki C-viitekoodin (ks. kuva 3) ja sitä suuremmat ilma-alukset. Kevyillä A- ja B-viitekoodin ilma-aluksilla ei ole kantavuuslaskennan lopputulokseen merkittävää vaikutusta. PCR-menetelmä koskee määritelmänsä mukaisesti yli 5700 kg ilma-aluksia.

Eri lentoasemilla ja vuodenajoilla on merkittävä vaikutus lentokoneiden vuosittaisiin operointimääriin sekä määrien muutosprosentteihin. Esimerkki vertailukohteina kuvat 4 ja 5. Kuvissa Kuusamon sekä Helsinki-Vantaan lentoasemat, joista voi havaita merkittäviä eroja vuoden keskimääräisissä operointimäärissä. (Finavia Oyj, 2023)

Kuva 5. Helsinki-Vantaa operoinnit vuosina 2018–2022 (Finavia Oyj, 2024)

Helsinki-Vantaa (EFHK) operointimäärät vuosina 2018-2022			
Lentoonlähtö			
Konetyyppi	k.a. vuodessa	Konetyyppi	k.a. vuodessa
AT75	13760	A332	249
A321	13408	B733	240
E190	11175	SU95	221
A320	10999	E120	215
B738	9030	B739	206
A319	6419	SB20	204
A359	3814	A21N	188
A333	2122	AT43	186
CRJ9	1826	AN26	164
B38M	1209	B736	148
DH8D	1170	F50	143
SF34	744	AT72	135
A20N	735	GLEX	111
B737	735	GLF5	106
BCS3	583	FA7X	96
B752	488	B735	85
B734	465	CRJX	57
B789	406	C295	51
AT76	371	A310	34
B763	325	B762	15
A306	323	AN12	13
E290	292	C17	10
B788	255	B77L	6

6 FAARFIELD

FAARFIELD (FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design) on vapaasti saatavilla oleva kantavuuslaskentaohjelmisto, joka sisältää ilma-aluksien kuormitusta mitoittavan 3D-elementtivasteen. Sen avulla voidaan laskea, suunnitella ja arvioida eri päällysteiden kantavuuksia. FAARFIELD-ohjelmaa voidaan käyttää päällysrakenteen kestävyys- ja ominaisuuksien optimointiin.

Ohjelma sisältää ilma-alus kirjaston (ks. kuva 6), joka kattaa lähes kaikki suurimmat kaupalliset koneet. Kirjastossa olevien ilma-alusten ominaisuudet ovat toteutettu ICAO:n standardi ehtojen mukaisesti ja ne vastaavat täsmällisesti oikeiden koneiden mitoituksia. Kattava kirjasto ja ohjelman monipuolinen tekniikka mahdollistaa ACR laskennan suorittamisen. Kuvassa 7 on esimerkki suunnitteluohjelman rakenteesta Kuusamon lentoaseman kiitotieltä.

Finavian näkemys suunnitteluohjelmistosta FAARFIELD on, että se ei ole täysin optimaalinen ohjelmisto pohjoismaisiin ilmasto-olosuhteisiin. Haasteita on tuonut ohjelman antamat kohtuuttoman korkeat PCR-arvot paksun pohjakerroksen ollessa louherakennetta,

jolla pyritään estämään epätasaiset routanousut. Ratkaisuna tähän Finavia on joutunut yhdistämään eri kerrokset sopiviksi.

Myös FAARFIELD-materiaalikirjaston ja Suomessa käytettyjen rakennusmateriaalien välillä on havaittu eroja. Tämän vuoksi materiaalien ominaisuuksia on pyritty optimoimaan. (Federal Aviation Administration, 2023)

Kuva 6. FAARFIELD ilma-alus kirjasto (Finavia Oyj, 2023)

Section

Job Name: PCR Run Status Gear Structure

Section Name: Include in Summary Report Add To Batch

Pavement Layers

Pavement Type: New Flexible

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
User Defined	140	9 369.00	
--> User Defined	150	275.00	
Subgrade		142.00	13.73

Design Life (Years): P/T/C Ratio:

The standard design life for pavement section is 20 years (1 to 50 allowed).

Results

Calculated Life (Years): Total thickness to the top of the subgrade:

Traffic

Stored Aircraft Mix: KS_2018-2022_lahteivat

Airplane Name	Gross Taxi Weight (kg)	Annual Departures	Annual Growth (%)	Total Departures	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio	Tire Pressure (kPa)	Percent GW on Gear	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm ²)	ACR	
B737-700	70 307	87	1.5	2,001	0	0	0	1358.27	0.918	366	586	168 619	0	0
A319-100 opt	68 400	74	1.5	1,702	0	0	0	1247.95	0.914	313	500	122 819	0	0
A320-200 opt	78 400	73	1.5	1,679	0	0	0	1441.00	0.928	314	502	123 787	0	0
EMB-190 STD	47 950	49	1.5	1,127	0	0	0	1013.53	0.95	296	474	110 187	0	0
B737-800	79 242	43	1.5	989	0	0	0	1406.53	0.936	321	513	129 232	0	0
A321-200 opt	93 900	36	1.5	828	0	0	0	1500.30	0.946	340	544	145 167	0	0
B757-200	116 100	27	1.5	621	0	0	0	1261.74	0.912	286	458	102 864	0	0
B737-8/8-200/BBJ MAX 8	82 417	5	1.5	115	0	0	0	1413.43	0.936	326	522	133 722	0	0
A320neo	70 400	3	1.5	69	0	0	0	1220.37	0.938	325	520	132 658	0	0
ATR 72-500 (UDA)	23 170	281	1.5	6,463	0	0	0	790.00	0.95	233	373	68 310	0	0

Kuva 7. FAARFIELD rakenne (Finavia Oyj, 2023)

Section

Job Name: PCR Status Gear Structure

Section Name: Include in Summary Report Add To Batch

Pavement Layers

Pavement Type:

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
User Defined	140	9 369,00	
--> User Defined	150	275,00	
Subgrade		142,00	13,73

Design Life (Years): P/TC Ratio:

The standard design life for pavement section is 20 years (1 to 50 allowed).

Results

Calculated Life (Years): Total thickness to the top of the subgrade:

7 Kantavuustutkimus

Finavian lentokentillä kantavuustutkimukset on tehty raskaalla painonpudotuslaitteella (HWD) vuodesta 1992 lähtien. Kantavuustutkimuksien toteuttamisen apuna ovat olleet myös maailmanlaajuisesti kantavuustutkimuksia tekevät ulkomaiset konsultit. Suomen kaikilla lentoasemilla tutkimuksia on tehty vähintään yhden kerran ja joillakin asemilla useamman kerran.

Kantavuustutkimuksia tehdään silloin kuin niille arvioidaan olevan tarvetta. Mittauksia pyritään tekemään kerralla useammalle kentälle. Esimerkiksi uuden päällysteen/päällysrakenteen rakentaminen, lentoliikennealueen laajentaminen tai kiitotien uudelleen päällystys ovat syitä toteuttaa kantavuustutkimus. Yleinen suositus on, että kantavuuksia mitattaisiin noin 10 vuoden välein, ellei tarvetta aikaisemmin havaita. Kantavuusselvityspyynnön voi esittää esimerkiksi lentoasema, ilmavoimien esikunta tai operoiva lentoyhtiö. (Finavia Oyj, 2014)

7.1 Mittaus

Raskas pudotuspainolaitteisto (Heavy Weight Deflectometer, HWD) on noin 1500–1700 kg painoinen ja yleensä kiinteästi asennettuna peräkärryn tai vaihtoehtoisesti pakettiauton sisään. Auton ohjaamosta seurataan laitteiden avulla tutkimusten etenemistä ja monitoreja, joista tutkimuspiste on nähtävissä. Mittauksen suoritus ja tulokset tapahtuu automatisoidusti, joten mittajaan tehtävänä on käynnistää mittaus ja tallettaa tutkimuspisteen numero.

Mittauksessa päällysteen kohdistetaan noin 150–250 kN voima ja sen aiheuttama taipuma mitataan antureilla. Voima- ja taipumatietojen lisäksi tulosten laskentaan tarvittavia tietoja ovat myös päällysrakennekerrosten paksuudet ja materiaalit. (Finavia Oyj, 2014)

7.2 Tutkimuspisteet

Kantavuustutkimusta tehdessä kenttäalueelle asetetaan tutkimuspisteitä ja jokainen piste käydään tutkimuksessa läpi. Yhdellä mittauspisteellä aikaa menee kahdesta kolmeen minuuttia. Tässä osiossa on esitelty tutkimuspisteiden määrät ja sijainnit eri kenttäalueilla. Esittelyn tukena on kuva oikeasta mittauspistekartasta (ks. kuva 8). Tutkimuspisteiden määrät vaihtelevat riippuen tutkittavasta alueesta. (Finavia Oyj, 2014)

7.3 Kiitotiet

Kiitoteillä tutkimuspisteet asetetaan kahteen ryhmään, joiden etäisyys keskilinjasta noin 3 metriä kumpaankin suuntaan. Kummankin linjan omien tutkimuspisteiden väli on noin 100 metriä ja kokonaisuutena linjojen pisteet kulkevat 50 metrin välein aina vuoroin keskilinjan kummallakin puolella. Tutkimuspistemäärä kiitotiellä on noin 50–60 kappaletta, riippuen kiitotien pituudesta. (Finavia Oyj, 2014)

7.4 Rullaustiet

Rullausteillä tutkimuspisteet sijoitetaan yleensä yhtenäiseen linjaan, jossa pisteiden sijoitus keskilinjasta on sama kuin kiitoteillä. Pisteiden väli pituussuunnassa on 30–50 metriä. Lyhyillä rullausteillä tutkimuspisteiden väli on mahdollista jäädä pienemmäksi. (Finavia Oyj, 2014)

7.5 Asematasot

Asematasoilla pisteiden sijoituksessa käytetään useampaa linjaa, joissa tutkimuspisteiden väli on noin 50 metriä ja linjojen välinen etäisyys noin 50–70 metriä.

Seisontapaikoille linjat ja tutkimuspisteet asetetaan niin, että ainakin yksi linja kulkee seisontapaikkojen kohdalla ja jokaiselle seisontapaikalle osuu tutkimuspiste.

Seisontapaikkojen ulkopuolella sijoittelu toteutetaan asematasolle niin, että koko alue tulee kokonaisvaltaisesti tutkittua. (Finavia Oyj, 2014)

Kuva 8. Mittauspistekartta (Finavia Oyj, 2014)



8 Yhteenveto

Tämän työn ensisijainen tavoite oli esittää ACR-PCR laskentamenetelmä ja tuoda esiin Finavian lentoliikennealueiden kantavuustutkimuksiin liittyvät käytännöt ja toimintatavat.

Työssä esittelen laskentamenetelmän metodologian ja pyrin avaamaan mitä ACR-PCR määritelmä käytännössä tarkoittaa. Kerron pohjamaan tärkeydestä, sekä päällysteiden kokonaisuuksista ja niiden vaatimista spekseistä. Myös eri päällystetyypit ja niiden ominaisuudet on esitelty.

Työssä on esitelty laskentaperiaatteiden pääkohdat jokaisen rakenteen osalta, ja sen lisäksi kerron mitä liikenne-ennusteiden rakentaminen on pitänyt sisällään. Lisäksi kerron FAARFIELD ohjelman toimintatavasta ja sen hyödyntämisestä laskentamenetelmään.

Kantavuustutkimusten, mittausten ja tutkimuspisteiden kokonaisuuden olen pyrkinyt tuomaan mahdollisimman kattavasti esille.

Pyrin liikenne-ennuste osiossa havainnoimaan operointimäärien eroja niin tekstin kuin kuvien avulla. Kuvista 3 ja 4 voi tulkita, että riippuen lentoasemasta on lentoonlähtö määrissä todella suuria eroja, jolla on myös suuri merkitys kantavuuslaskentoihin toteutettaessa.

ACR-PCR menetelmä helpottaa lentokoneiden sallittujen painojen huomiointia, sekä se mahdollistaa optimoidun käytön tämänhetkisillä ja tulevilla päällysteillä. Menetelmä on kehittynyt versio vanhasta ACN-PCN menetelmästä ja se kykenee täyttämään aiemman menetelmän puutteet. Uskon menetelmän vaikuttavan myös tulevaisuudessa kaluston operointiin positiivisella tavalla ottaen huomioon kyvyn huomioida lentokoneiden sallitut painot ja optimoidun päällysteiden käytön. Laskentamenetelmällä lasketut uudet arvot myös varmasti helpottavat lentokenttä päällysteiden kantavuuksien seuraamista. Tutkimuksissa voidaan verrata saatuja arvoja valmiiksi laskettuihin arvoihin ja sitä kautta todeta mahdollisia puutteita, mikäli tutkimuksesta saadut arvot eivät täytä kriteereitä.

Opinnäytetyötä ja Finavialla harjoittelua tehdessäni huomasin, että joidenkin lentoasemien tutkimuspistekartat ja niiden ympärillä olevat materiaalit olivat melko epäselviä ja hankalia tulkita. Myös Finavian kokeneet työntekijät joutuivat perehtyä kuviin tarkasti, jotta he ymmärsivät ja löysivät karttoihin merkityt asiat.

Kehitysideaksi siis sanoisin, että jatkossa kun kantavuustutkimuksia tilataan niin tutkimuksen toteuttaja kiinnittäisi erityistä huomiota siihen, että annetuissa materiaaleissa tutkimuspisteet ovat selkeästi eroteltuna ja helposti löydettävissä tutkimuspistekartoilta.

Toinen kehitysehdotukseni olisi, että kun uusi järjestelmä otetaan käyttöön ja Finavia on määrittellyt uudet PCR-arvot laskennallisesti, niin lentoasemat mitattaisiin pudotuspainolaitteella, jotta voidaan verrata laskettuja arvoja mittauskonsultin saamiin tuloksiin.

Työstäni toivon, että Finavia saa kattavan ja selkeän esittely kokonaisuuden, jota he voivat tulevaisuudessa hyödyntää tilanteissa, joissa kyseisestä aiheesta halutaan antaa esimerkiksi perehdytys tai helppolukuinen tietopaketti aiheesta kiinnostuneille.

Lähteet

EASA. (2022). *New method to report pavement strength (ACR-PCR)*.

<https://www.easa.europa.eu/en/print/pdf/node/136759>

Federal Aviation Administration. (2022) *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCR*

https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5335-5D-pavement-strength.pdf

Federal Aviation Administration. (2023) *FAARFIELD 2.1.1*

<https://www.airporttech.tc.faa.gov/Products/Airport-Safety-Papers-Publications/Airport-Safety-Detail/ArtMID/3682/ArticleID/2841/FAARFIELD-20>

Finavia, henkilökohtainen tiedonanto, 2014.

Finavia, henkilökohtainen tiedonanto, 2022.

Finavia, henkilökohtainen tiedonanto, 2023.

ICAO. (2022-a). *Aerodrome Design Manual – DOC 9157: ADM, Part 3*

<https://www.bazl.admin.ch/bazl/en/home/themen/legislation/anhaenge-icao/manuals-zu-icao-annex-14.html>

ICAO. (2022-b). *Overview of ICAO Airport Pavement Strength Rating – New concept of ACR/PCR*.

<https://www.icao.int/MID/Documents/2023/ASPIG5/PPT22.pdf>

ICAO. (2024). *Aircraft/Pavement classification rating ACR/PCR*.

<https://www.icao.int/WACAF/Documents/Meetings/2024/Workshop-ACR-PCR/FR/1.2.%20ACR-PCR%20CF08032024-final.pdf>

Trafi. (2012). *AGA M3-sarjan ilmailumääräyksissä käytettyjen käsitteiden määritelmiä*.

https://finlex.fi/data/normit/5329/TRAFI_20487_03.04.00.00_2012_Fi.pdf

Liite 1: Aineistonhallintasuunnitelma

Opinnäytetyön aineistoja käsitellään opiskelijan omalla tietokoneella ja ne tallennetaan niille tarkoitettuun kansioon. Aineistoista tehdään varmuuskopioita opiskelijan henkilökohtaiseen OneDrive -palveluun. Vain opiskelijalla on pääsy omaan opinnäytetyöhön ja siihen hankittuihin materiaaleihin. Työ ei sisällä arkaluontoista materiaalia, jotka vaatisivat erityisiä toimenpiteitä tietoturvan tai tietosuojan kannalta. Työssä ei käsitellä henkilötietoja eikä muita luottamuksellisia tai salassa pidettäviä tietoja. Aineiston käsittelyyn on toimeksiantajan lupa.

Työn tilaajalta on saatu oikeudet tarvittavien taustamateriaalien käyttöön. Opiskelija omistaa aineiston opinnäytetyön ajan ja työn valmistuttua luovuttaa sen tilaajan käyttöön.

Opinnäytetyöaineiston jatkokäyttö työn valmistumisen jälkeen

Opiskelija ei halua hyödyntää tai antaa tutkimusaineistoaan jatkokäyttöön.

Opinnäytetyön tekijä säilyttää aineiston tietoturvallisesti vuoden ajan opinnäytetyön hyväksymispäivästä, jotta opinnäytetyön tulokset voidaan tarvittaessa varmistaa ja hävittää tämän jälkeen aineiston tietoturvallisesti. Tutkimusaineistoa ei jatkokäytetä.