



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**LENNUVÄLJA LIIKLUSALA KATENDITE  
HINDAMISSÜSTEEM PCR**

**AIRPORT PAVEMENT EVALUATION SYSTEM PCR**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kert Jõeäär

Üliõpilaskood 153912

Juhendaja: Ain Kendra

Tallinn 2021

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

31. mai 2021

Autor: .....  
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....  
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....  
/ nimi ja allkiri /

# LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, **Kert Jõeäär**, sünd. 22.03.1996

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

**Lennuvälja liiklusala katendite hindamissüsteem PCR,**

mille juhendaja on Ain Kendra.

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.



Ehituse ja arhitektuuri instituut

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: **KERT JÕEÄÄR**

Üliõpilaskood **153912**

Õppekava: **EATI02/15 - Teedehitus ja geodeesia**

Peeriala: Teedehitus

Lõputöö teema:

## LENNUVÄLJA LIIKLUSALA KATENDITE HINDAMISSÜSTEEM PCR

AIRPORT PAVEMENT EVALUATION SYSTEM PCR

Juhendaja: **Ain Kendra**

ain.kendra@taltech.ee

Lõputöö konsultandid:

Tiitel või ametikoht, Ees- ja Perekonnanimi	Kontakt (e-post või telefon)	Allkiri ja kuupäev
Ain Kendra	<a href="mailto:ain.kendra@taltech.ee">ain.kendra@taltech.ee</a>	
Ott Talvik	<a href="mailto:ott.talvik@sweco.ee">ott.talvik@sweco.ee</a>	

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Lennujaamade katendiarvutussüsteemidega tutvumine
2. Katendiarvutus Tallinna Lennujaama lähteandmetega

Töö keel: eesti keel



## Lõputöö etapid ja ajakava:

Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1. PCN ja PCR süsteemikirjeldus	20.12.2020
2. Tarkvaradega tutvumine	15.01.2021
3. Materjalide uurimine	31.01.2021
4. TLL lähteandmetega tutvumine	28.02.2021
5. Katsetus TLL lähteandmetega	31.03.2021
6. Analüüs	30.04.2021
Kokkuvõte eesti keeles	10.05.2021
Kokkuvõte inglise keeles	10.05.2021
	....
	....
	....
<b>Lõputööde 95% ülevaatus, mille läbimine on kaitsmise eelduseks</b>	<b>24.05.2021</b>

**Lõputöö esitamise tähtaeg:**

**31. mai 2021**

Lõputöö ülesanne välja antud: 01.12.2020

Juhendaja: Ain Kendra

Ülesande vastu võtnud:

Avalikustamise  
piirangu tingimused: puuduvad

# SISUKORD

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks.....	3
SISUKORD .....	6
EESSÕNA.....	8
LÜHEND, TÄHISED JA OLULISEMAD TERMINID.....	9
TABELITE LOETELU .....	10
JOONISTE LOETELU.....	11
SISSEJUHATUS .....	13
1. ÜLEVAADE ARVUTUSMETOODIKATEST.....	14
1.1 AC 150/5335-5C – PCN alused .....	14
1.1.1 ACN'i tuletus.....	14
1.1.2 COMFAA .....	15
1.2 AC 150/5320-6F – FAARFIELD 1.42 .....	19
1.2.1 Aluspinnas .....	19
1.2.2 PCN kasutades FAARFIELD 1.42 .....	20
1.2.3 Kumulatiivne kahjustustegur .....	27
1.2.4 Läbiku-ülekatte suhe .....	27
1.3 AC 150/5335-5D - PCR alused .....	28
1.3.1 ACR-PCR.....	28
1.3.2 PCR kood .....	32
1.3.3 ACR'i tuletus .....	32
1.3.4 PCR kasutades FAARFIELD 2.0.....	33
1.4 Peamised muudatused.....	37
1.4.1 ACR väärtuste võrdlus ACN väärtustega .....	38
2. FAARFIELD 2.0 PRAKTIKAS.....	39
2.1 Valikus olevad materjalid .....	39
2.1.1 Hot Mix Asphalt.....	40
2.1.2 Portland Cement Concrete Pavement .....	44
2.1.3 Täitematerjal .....	45
2.1.4 Stabiliseeritud alus .....	47
2.2 Tallinna lennujaama lähteandmed.....	48
2.2.1 Ülevaade.....	49
2.2.2 TLL lennuraja katendikonstruktsioon .....	49

2.2.3	TLL liikluskooslus ja liiklussagedus .....	49
2.3	RWY 0-550.....	52
2.3.1	Sisend .....	53
2.3.2	Tulemus.....	54
2.3.3	Analüüs.....	57
2.4	RWY 550-3070.....	59
2.4.1	Sisend .....	59
2.4.2	Tulemus.....	60
2.4.3	Analüüs.....	64
2.5	RWY 3070-3490.....	65
2.5.1	Sisend .....	65
2.5.2	Tulemus.....	66
2.5.3	Analüüs.....	69
2.6	RWY kokkuvõte .....	69
2.7	Perroon K.....	70
2.7.1	Sisend .....	70
2.7.2	Tulemus.....	71
2.7.3	Analüüs.....	73
3.	VÕRDLUS.....	74
3.1	RWY 0-550.....	74
3.2	RWY 550-3070.....	75
3.3	RWY 3070-3490.....	75
3.4	Perroon K.....	75
3.5	Kokkuvõtvalt.....	76
	KOKKUVÕTE .....	77
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	80
	LISAD .....	81
	Lisa 2 Dynatesti tulemused .....	82
	Lisa 2.3.2 0-550 aruande lisa .....	83
	Lisa 2.4.2 550-3070 aruande lisa.....	89
	Lisa 2.5.2 3070-3490 aruande lisa.....	95
	Lisa 2.7.2 Perroon K aruande lisa .....	101
	Lisa 3 Dynatesti aruanded .....	106
	Lisa 3.5 Kasutatud liikluskoosseis.....	108

## EESSÕNA

Magistritöö teema valik kujunes välja töö autori ja kaasjuhendaja Ott Talviku vaheliste arutelude käigus, kus vesteldi lennujaamade katendite arvutamise teemadel. Edasine siht arenes välja juhendaja Ain Kendra suunitlusel - uurida tulevast kohustuslikku lennujaamade katendite arvutussüsteemi. Lõpliku teema valikuna otsustasime uurida lennuvälja liiklusala katendite arvutusprogramme ja süsteeme ning eksperimenteerida tulevast kohustuslikku süsteemi Tallinna Lennujaama lähteandmetega. Töö koostati Tallinnas.

Töö käigus korraldas juhendaja kohtumise Tallinna Lennujaama osapooltega, kes abistasid endapoolsete lähteandmetega. Töö autor soovib esile tuua ja tänada Tõnu Mühlet ja Jaanus Vesklat.

Lisaks soovib ta tänada kõiki isikuid, kes töö valmimisele kaasa aitasid ning eriti töö juhendajat Ain Kendrat konstruktiivse nõustamise ja väga hea juhendamise eest. Lisaks tänab ta kaasjuhendajat Ott Talvikut.

**Võtmesõnad:** lennujaam, katendiarvutus, ACR, PCR, magistritöö

## LÜHEND, TÄHISED JA OLULISEMAD TERMINID

AASHTO	- Ameerika osariigi maantee- ja transpordiametnike ühendus (ingl k <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> )
AC	- nõuandev ringkiri (ingl k <i>advisory circular</i> )
ACN	- lennuki klassifikatsiooni number (ingl k <i>aircraft classification number</i> )
ACR	- lennuki klassifikatsiooni hinnang (ingl k <i>aircraft classification rating</i> )
Apron	- perroon
ASTM	- Ameerika testimise ja materjalide selts (ingl k <i>American Society for Testing and Materials</i> )
Aggregate	- täitematerjal, enamasti mõeldakse selle all killustikku
CDF	- kumulatiivne kahjustustegur (ingl k <i>cumulative damage factor</i> )
FAA	- USA Föderaalne Lennundusamet (ingl k <i>Federal Aviation Administration</i> )
FAARFIELD	- FAA jäiga ja elastse katendi kihilise projekteerimise tarkvara (ingl k <i>FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design</i> )
HWD	- Raske deflektomeeter (ingl k <i>heavy falling weight deflectometer</i> )
HMA	- asfaltbetoon (ingl k <i>hot mix asphalt</i> )
ICAO	- Rahvusvaheline Tsiviillennunduse Organisatsioon (ingl k <i>International Civil Aviation Organisation</i> )
LEA	- lineaarne elastne analüüs (ingl k <i>linear elastic analysis</i> )
LOP	- lennuoperatsioonide prognoos
MAGW	- maksimaalne lubatud mass (ingl k <i>maximum allowable gross weight</i> )
PCC	- betoon (ingl k <i>Portland cement concrete</i> )
PCN	- katendi klassifikatsiooni number (ingl k <i>Pavement Classification Number</i> )
PCR	- katendi klassifikatsiooni hinnang (ingl k <i>Pavement Classification Rating</i> )
RWY	- lennurada (ingl k <i>runway</i> )
TWY	- ruleerimistee (ingl k <i>taxiway</i> )
USA	- Ameerika Ühendriigid (ingl k <i>United States of America</i> )

## TABELITE LOETELU

Tabel 1.1 Aluspinnase kategooriad jäigale katendile ACN väärtuse arvutamiseks.....	15
Tabel 1.2 Aluspinnase kategooriad elastsele katendile ACN väärtuse arvutamiseks .....	15
Tabel 1.3 Rehvirõhu tähistused PCN katendi kajastamisel .....	19
Tabel 1.4 FAARFIELD 1.42 näitena kasutatav katendi konstruktsioon.....	20
Tabel 1.5 FAARFIELD 1.42 näitena kasutatav liiklussagedus ja liikluskooslus.....	21
Tabel 1.6 Katendi tüübi tähistus PCR raportis.....	32
Tabel 1.7 Aluspinnase kategooriad ACR väärtuse arvutamiseks .....	33
Tabel 2.1 Hot Mix Asphalt jämetäitematerjali nõuded.....	41
Tabel 2.2 Hot Mix Asphalt peentäitematerjalide nõuded.....	41
Tabel 2.3 Asfaltkatendi killustiku fraktsioonid .....	42
Tabel 2.4 AC surf segude sõelkõverad EVS 901-3:2021 .....	42
Tabel 2.5 Materjali PCC peentäitematerjalide nõuded.....	44
Tabel 2.6 Materjali PCC jämetäitematerjalide nõuded.....	45
Tabel 2.7 Materjali P-154 sõelkõvera nõuded .....	45
Tabel 2.8 Materjali P-208 sõelkõverate nõuded.....	46
Tabel 2.9 Materjali P-304 täitematerjali sõelkõvera nõuded .....	48
Tabel 2.10 Tallinna Lennujaama lennuraja katendikonstruktsioon .....	49
Tabel 2.11 Tallinna Lennujaama RWY 2016 a. liikluskooslus .....	50
Tabel 2.12 RWY tulemused FAARFIELD 2.0-ga.....	70
Tabel 3.1 PCN ja ACN 2008-2017 .....	74
Tabel 3.2 RWY PCR kasutades erinevaid LOP lähteandmeid .....	76

## JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1 Väljavõte COMFAA programmist koos juhistega ACN väärtuse leidmiseks.....	17
Joonis 1.2 Väljavõte COMFAA programmist koos juhistega PCN väärtuse leidmiseks .....	18
Joonis 1.3 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega .....	20
Joonis 1.4 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega .....	21
Joonis 1.5 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega .....	22
Joonis 1.6 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega .....	22
Joonis 1.7 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega .....	23
Joonis 1.8 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos tulemusega .....	23
Joonis 1.9 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega .....	24
Joonis 1.10 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos lõpliku tulemusega .....	24
Joonis 1.11 FAARFIELD 1.42 PDF aruanne lehekülj 1 .....	25
Joonis 1.12 FAARFIELD 1.42 PDF aruanne lehekülj 2 .....	26
Joonis 1.13 Soovituslik vooskeem PCR väärtuse leidmiseks .....	32
Joonis 1.14 Väljavõte FAARFIELD 2.0 programmist .....	34
Joonis 1.15 Väljavõte FAARFIELD 2.0 programmist .....	34
Joonis 1.16 Väljavõte FAARFIELD 2.0 programmist .....	35
Joonis 1.17 FAARFIELD 2.0 aruanne .....	36
Joonis 1.18 FAARFIELD 2.0 aruande jätk .....	37
Joonis 1.19 Väljavõte AC 139.C-07v1.0 Tabel 8 lk 32 .....	38
Joonis 2.1 Väljavõte FAARFIELD 2.0 valikus olevatest materjalidest .....	40
Joonis 2.2 Alternatiivne materjal fraktsioonile 1 .....	43
Joonis 2.3 Alternatiivne materjal fraktsioonile 2 .....	43
Joonis 2.4 Alternatiivne materjal fraktsioonile 3 .....	44
Joonis 2.5 Alternatiivne materjal P-208 2" maxile .....	46
Joonis 2.6 Alternatiivne materjal P-209 2" maxile .....	47
Joonis 2.7 Alternatiivne materjal P-304-le .....	48
Joonis 2.8 Väljavõte Maa-ameti kaardirakendusest Tallinna Lennujaama alalt .....	49
Joonis 2.9 RWY 0-550 sisend .....	53
Joonis 2.10 0-550 PCR raport lehekülj 1 .....	54
Joonis 2.11 0-550 PCR raport lehekülj 2 .....	55
Joonis 2.12 0-550 PCR raport lehekülj 3 .....	56
Joonis 2.13 0-550 PCR raport lehekülj 4 .....	57
Joonis 2.14 0-550 PCR graafik .....	57
Joonis 2.15 B747-800 teisendamine liikluskooslusele võrdseks .....	59
Joonis 2.16 RWY 3070-3490 sisend .....	60
Joonis 2.17 550-3070 PCR raport lehekülj 1 .....	61
Joonis 2.18 550-3070 PCR raport lehekülj 2 .....	62
Joonis 2.19 550-3070 PCR raport lehekülj 3 .....	63
Joonis 2.20 550-3070 PCR raport lehekülj 4 .....	64
Joonis 2.21 550-3070 PCR graafik .....	64
Joonis 2.22 3070-3490 sisend .....	65
Joonis 2.23 3070-3490 PCR raport lehekülj 1 .....	66
Joonis 2.24 3070-3490 PCR raport lehekülj 2 .....	67
Joonis 2.25 3070-3490 PCR raport lehekülj 3 .....	68
Joonis 2.26 3070-3490 PCR raport lehekülj 4 .....	69

Joonis 2.27 3070-3490 PCR graafik .....	69
Joonis 2.28 Perroon K sisend.....	71
Joonis 2.29 Perroon K tulemus 4% LOP.....	72
Joonis 2.30 Perroon K tulemus 100% LOP.....	73



## SISSEJUHATUS

Magistritöö teema on lennujaamade katendite arvutussüsteemide uurimine ning uue süsteemi eksperimenteerimine. Hetkel kontrollitakse lennujaamade katendite kandevõimet ACN (ingl k *Aircraft Classification Number*) ja PCN (ingl k *Pavement Classification Number*) väärtuste võrdlemisel, kus esimene tähistab liikluskoosluse koormust ning teine katendi vastupanu. Antud süsteem kujunes välja Rahvusvahelise Tsiviillennunduse Organisatsiooni (edaspidi ICAO) ja USA föderalse lennundusameti (edaspidi FAA) koostöös 1981. aastal [1][2]. Olgugi, et nende kahe organisatsiooni piirkondlik tegevusala erineb, on nende regulatsioonid ja standardid üsnagi sarnased. Töö autor uuris FAA nõuandvaid ringkirju ning nendest tulenevaid lennuvälja liiklusala katendite arvutusmetoodikaid ja nende erinevusi.

Seoses lahkkelidega katendite projekteerimisel ja arvutamisel (PCN süsteemi alused on vananenud) arendatakse uut süsteemi, kus võrreldakse ACR (ingl k *Aircraft Classification Rating*) ja PCR (ingl k *Pavement Classification Rating*) väärtusi. Kahe numbri võrdluse printsiip jääb kehtima, kuid arvutussüsteem selle taga muutub. CBR (ingl k *California Bearing Ration*) asendatakse LEA (ingl k *Linear Elastic Analysis*) süsteemiga [7]. Seoses LEA kasutusele võtuga muutub aluspinnase tugevuse määramine nii elastsele kui ka jäigale katendile. Lisaks võetakse detailsemalt arvesse õhusõidukite parameetreid.

Lõputöö eesmärk on võrrelda hetkel kasutusel olevat ACN-PCN süsteemi tulevase ACR-PCR süsteemiga, mis on 2024. aastal kohustuslik kasutada uute lennuväljade liiklusalade katendite projekteerimisel. Täiendavalt on eesmärgiks läbi proovida ACR-PCR arvutust Tallinna Lennujaama lähteandmete põhjal nii elastsele kui ka jäigale katendile ning tulemust analüüsida.

Lähteandmetena kasutatakse Tallinna Lennujaama poolt antud liiklussagedust, liikluskoosseisu ja Dynatesti aruannet (kandevõime mõõtmine ja arvutused). PCN arvutuse eksperimenteerimiseks kasutatakse COMFAA 3.0 ning FAARFIELD 1.42 arvutusprogrammi. ACR-PCR eksperimenteerimiseks kasutatakse FAARFIELD 2.0 arvutusprogrammi. Lisaks kasutatakse erinevate graafikute ja tabelite koostamiseks tarkvara MS Excel.

# 1. ÜLEVAADE ARVUTUSMETOODIKATEST

## 1.1 AC 150/5335-5C – PCN alused

Esimeseks uuritavaks dokumendiks oli nõuandev ringkiri (juhised) nr. 150/5335-5C "Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN" ehk standardiseeritud meetod katendi kandevõime esitamisele. Antud dokument väljastati 14. augustil 2014. aastal [3]. Tsirkulaar kirjeldab ACN-PCN süsteemi ning seda, kuidas seda rakendada COMFAA programmi abiga.

ACN (ingl k *Aircraft Classification Number*) on arv, mis väljendab konkreetse konfiguratsiooniga õhusõiduki suhtelist mõju katendile kindlaksmääratud aluspinnase tugevuse korral [3]. PCN (ingl k *Pavement Classification Number*) on arv, mis väljendab katendi kandevõimet piiramatuteks toiminguteks. Piiramatuks arvuks loetakse 10,000 läbikut. ACN-PCN meetodika seisneb selles, et mingi kindla PCN väärtuse juures on katend piisava kandevõimega, kui õhusõiduki ACN väärtus on sellega võrdne või väiksem. See on võimalik, sest ACN ja PCN väärtused arvutatakse samal tehnilisel baasil. Sellise standardiseeritud meetodi katendi aruanne kehtib ainult katenditele, kus liiguvad õhusõidukid täismassiga 5700 kg või rohkem (seega ei laiene antud meetod väikelennukitele mõeldud lennuväljadele) [3].

ACN-PCN süsteem on mõeldud meetodiks, mida lennujaama operaatorid saavad kasutada, et hinnata õhusõiduki vastuvõetavat toimingute arvu (sisuliselt on see läbikute arv, mis leitakse eraldi igale rajaosale ja sõltub konkreetse lennuvälja konfiguratsioonist, näiteks sellest, kas stardirada on ligipääsetav mõlemalt poolt või ainult ühest otsast; koormus jaguneb erinevate ruleerimisradade vahel ning võib pikema raja puhul erineda ka raja eri lõikudel). Antud süsteem ei ole mõeldud katendi projekteerimiseks või katendi hindamiseks ega piira meetodikat mida kasutatakse projekteerimiseks või katendi hindamiseks [3].

### 1.1.1 ACN'i tuletus

Õhusõidukite tootjad väljastavad ACN väärtuse igale õhusõidukile. See arvutus sisaldab õhusõiduki töomadusi - raskuskese, maksimaalne stardimass, rataste vahe, rehvirõhk jms. Suurimaks mõjutajaks on aluspinnase kategooria ehk aluspinnase tugevus.

ACN-PCN meetod eeldab nelja taset aluspinnase tugevuse määramisel nii elastsele kui ka jäigale katendile. Siinkohal peab märkima, et jäikade katendite aluspinnase kategooria ühikuks on standardis pci ehk nael kuuptolli kohta (ingl k *pound per cubic inc*), mis pole SI-ühikutes. Töö autor teisendas väärtused ühikusse kilogrammi kuupmeetri kohta. Järgnevad tabelid on standardsed vahemikud, mis on abiks aluspinnase tugevuse määramisel.

Tabel 1.1 Aluspinnase kategooriad jäigale katendile ACN väärtuse arvutamiseks

<b>Aluspinnase tugevuse kategooria</b>	<b>Aluspinnase k-väärtus kg/m<sup>3</sup> (MN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vahemik kg/m<sup>3</sup> (MN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tähistus</b>
Tugev	15 295 000 (150)	$k \geq 12\,234\,00$ ( $\geq 120$ )	A
Keskmine	8 157 000 (80)	$6\,117\,000 < k < 12\,234\,000$ ( $60 < k < 120$ )	B
Nõrk	4 080 000 (40)	$2\,546\,000 < k \leq 6\,117\,000$ ( $25 < k \leq 60$ )	C
Väga nõrk	2 040 000 (20)	$k \leq 2\,546\,000$ ( $\leq 25$ )	D

Jäiga katendi puhul on õhusõiduki teliku ehk ratastega lennukiosa nõuded määratud Westergaardi lahenduse põhjal – koormatud elastne plaat Wrinkleri vundamendil, eeldades, et betooni tugevus on 2,75 MPa [4].

Tabel 1.2 Aluspinnase kategooriad elastsele katendile ACN väärtuse arvutamiseks

<b>Aluspinnase tugevuse kategooria</b>	<b>Aluspinnase CBR väärtus</b>	<b>Vahemik</b>	<b>Tähistus</b>
Tugev	15	$CBR \geq 13$	A
Keskmine	10	$8 < CBR < 13$	B
Nõrk	6	$4 < CBR \leq 8$	C
Väga nõrk	3	$CBR \leq 4$	D

Elastse katendi puhul on õhusõiduki teliku nõuded määratud CBR (*California Bearing Ratio*) meetodil igale aluspinnase kategooriale eraldi.

Kasutades vastavaid parameetreid on matemaatiliselt arvutatud igale õhusõidukile ühe ratta koormus, et defineerida teliku ja katendi vastastikust mõju.

### 1.1.2 COMFAA

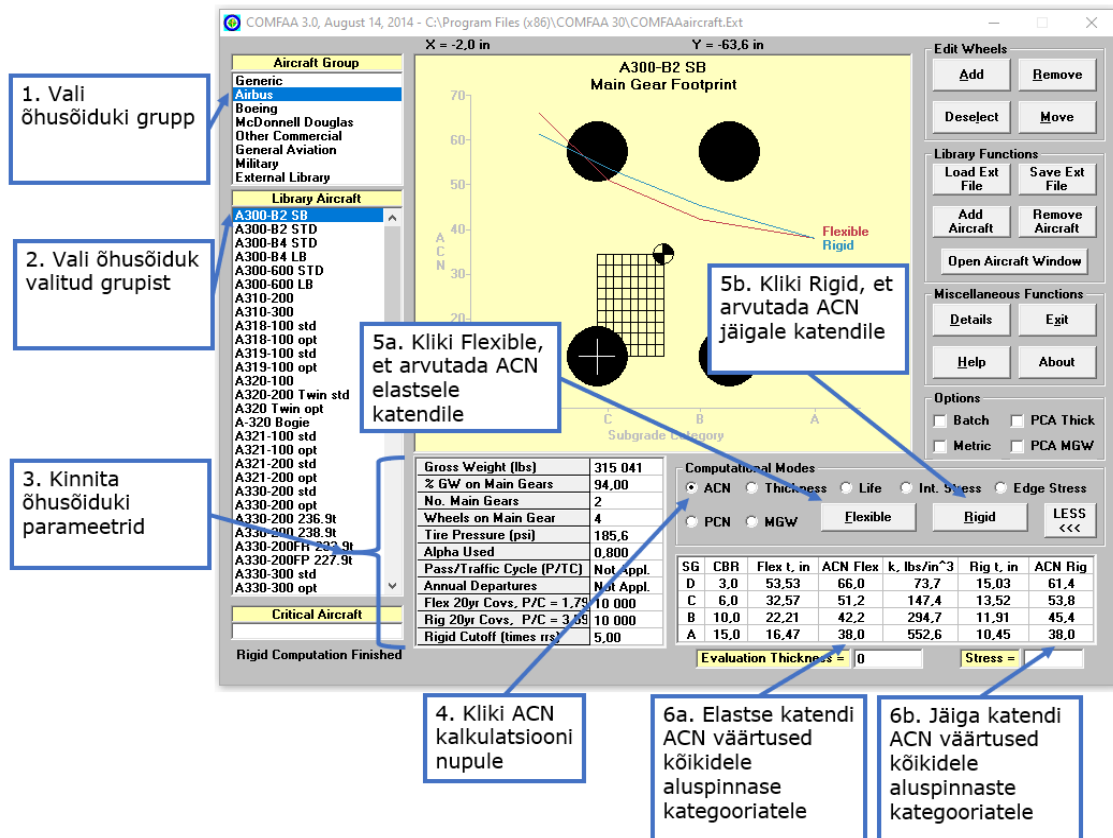
Hõlbustamaks ACN-PCN süsteemi, arendas FAA tarkvara, mis arvutab ACN ja PCN väärtuse, kasutades ICAO poolt kehtestatud nõudeid ja protseduure. Antud tarkvara tuntakse kui COMFAA programmi, mis on saadaval FAA kodulehel. Programm on kasulik ACN väärtuse määramisel erinevatel tingimustel, kuid sellegipoolest väljastatakse

ametlikud ACN väärtused õhusõiduki tootja poolt. COMFAA tarkvaras on võimalik kahte moodi opereerida: *ACN Computation Mode* ja *Pavement Thickness Mode*. *Computation Mode*'is on võimalik arvutada ACN väärtus elastsele ja jäigale katendile ning elastse ja jäiga katendi paksus põhinedes ICAO protseduurile. *Pavement Thickness Mode*'is on võimalik arvutada elastse ja jäiga katendi täieliku paksust põhinedes FAA CBR meetodile.

## **ACN**

Kasutaja tegevused ACN väärtuse leidmiseks:

- Valib soovitud õhusõiduki,
- Kinnitab õhusõiduki füüsilised parameetrid. Ainult brutomass (ingl k *gross weight*), brutomassi protsent põhitelikul (ingl k *percent gross weight on main gear*) ja rehvi rõhk (ingl k *tire pressure*) on muudetavad. Ülejäänud parameetrid on fikseeritud ICAO standardi poolt.
- Klikib "MORE" nupule, ja
- Klikib "ACN Flexible" või "ACN Rigid" nupule, et määrata ACN kõigile neljale aluspinnase kategooriale.
- Klikib "Details" nupule, et näha parameetreid, mida kasutati ACN'i leidmiseks [3].

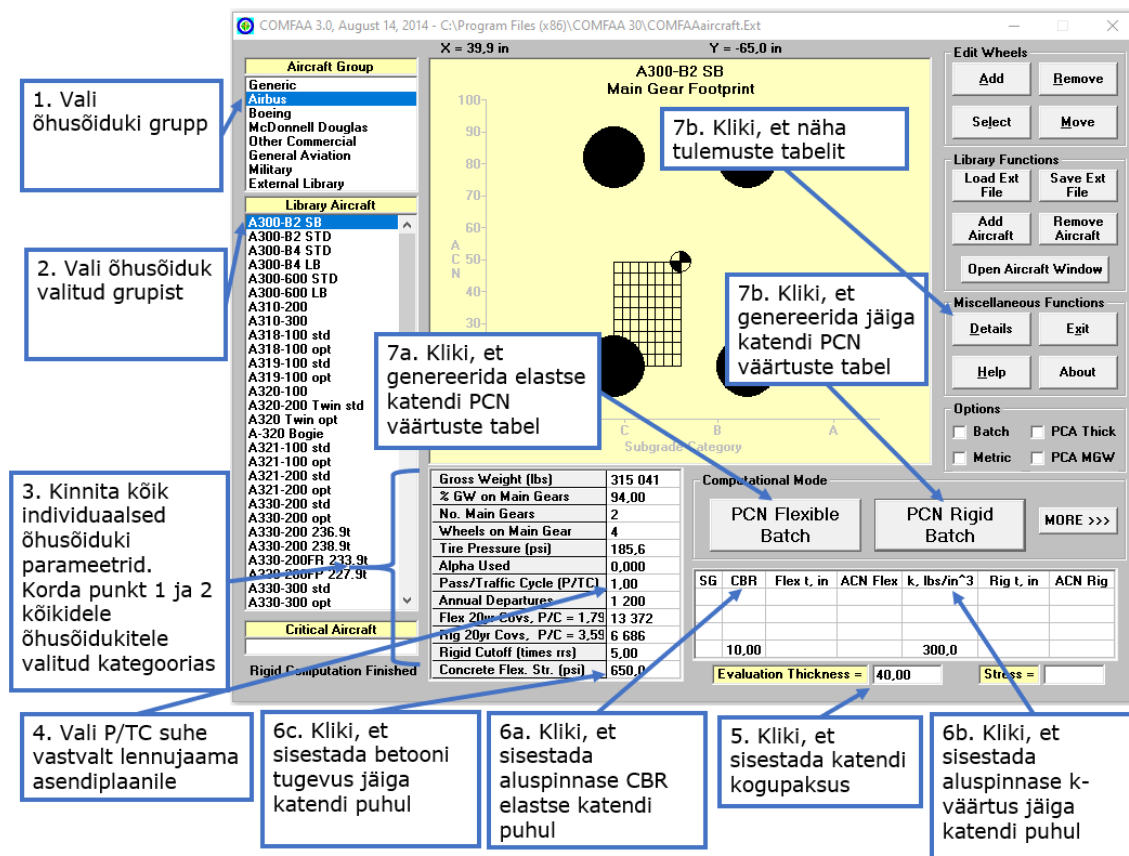


Joonis 1.1 Väljavõtte COMFAA programmist koos juhistega ACN väärtuse leidmiseks

## PCN

Kasutaja tegevused PCN väärtuse leidmiseks:

- Lisab maandumisradade liikluse struktuuri (ingl k *runway traffic mix aircraft*);
- Kinnitab iga õhusõiduki parameetrid eraldi;
- Sisestab õhusõiduki iga-aastase väljumiste või ülesõitude arvu (ingl k *coverage*);
- Sisestab katendi paksuse (ingl k *evaluation thickness*) ja aluspinnase tugevuse;
- Jäiga katendi puhul sisestab betooni tugevuse;
- Klikib "LESS" nupule, et aktiveerida PCN arvutus, ja
- Klikib "PCN Flexible Batch" või "PCN Rigid Batch" nupule, et arvutada katendi PCN väärtus.
- Klikib "Details" nupule, et näha tulemuste tabelit [3].



Joonis 1.2 Väljavõte COMFAA programmist koos juhistega PCN väärtuse leidmiseks PCN aruanne

Näide PCN koodist - 80/R/B/W/T

80 - väljendab PCN numbrilist väärtust

R - rigid ehk jäik katend (vastand oleks F ehk *flexible* ehk elastne katend)

B - aluspinnase tugevuse kategooria (A...D)

W - lubatud kõrgeim rehvirõhk

T - PCN väärtus saadud tehnilise arvutusega

Tabel 1.3 Rehvirõhu tähistused PCN katendi kajastamisel

Kategooria	Tähistus	Rehvirõhu vahemik
Piiramatu	W	Limiit puudub
Kõrge	X	Kuni 254 psi (1.75 MPa)
Keskmine	Y	Kuni 181 psi (1.25 MPa)
Madal	Z	Kuni 73 psi (0.50 MPa)

Pealtnäha on ACN-PCN arvutus COMFAA programmiga lihtne. Kogu protsess ei vaja erilist infot katendi kohta ning konstruktsiooni kihte valida ei saa. Põhifookuses on õhusõidukid. Autor arvab, et vähene katendikonstruktsiooni osalus selles arvutuses pärsib tulemuse usaldusväarsust.

## 1.2 AC 150/5320-6F – FAARFIELD 1.42

Teiseks uuritavaks dokumendiks oli tsirkulaar nr. 150/5320-6F "Airport Pavement Design and Evaluation" ehk lennujaama katendi projekteerimine ja arvutamine. Antud ettekirjutuse eesmärk on pakkuda juhiseid tsiviillennujaamade liiklusala katendite projekteerimise ja arvutamise teemal [5]. Lisaks on see esimene FAA standard, mis õpetab ja annab juhised, kuidas kasutada FAARFIELD v1.41 katendiarvutusprogrammi. Järgnevas peatükis uurib autor FAARFIELD'iga seotud mõisteid ning seda, kuidas antud programmi käsitleda.

### 1.2.1 Aluspinnas

Tulenevalt üldisest standardist jaotab ka FAARFIELD aluspinnase nelja kategooriasse. FAARFIELD'is eeldatakse, et aluspinnase paksus on lõpmatu ja on iseloomustatud, kas E-mooduliga või CBR väärtusega. Aluspinnase E-mooduli väärtust elastsele katendile saab määrata mitmeti. Rakendatav protseduur enamustel juhtudel on kasutatavad CBR väärtused, mis on arvutatud kasutusel oleva niiskusesisalduse korral. FAARFIELD arvutab elastsusmooduli järgneva seose abil:

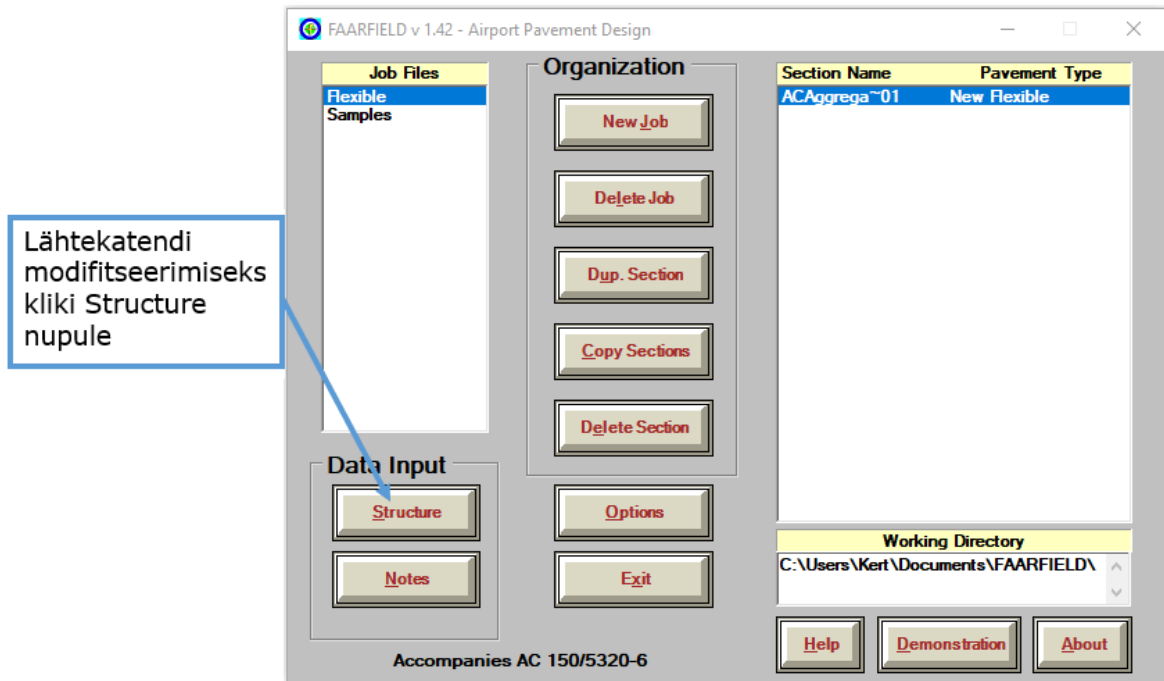
$$E=1500 \times \text{CBR}, \text{ (E ühik psi) [5]}$$

Võimalus on ka elastsusmoodul otse FAARFIELD'i sisestada.

## 1.2.2 PCN kasutades FAARFIELD 1.42

Järgnevad pildid annavad ülevaate ja juhised, kuidas käsitleda FAARFIELD 1.42 arvutusprogrammi standardi alusel.

Samm 1 - Käivitusekraanist koosta uus töö ja lisa põhilised kihid.



Joonis 1.3 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega  
Programmiga tutvumiseks teeb töö autor läbi näidisarvutuse.

Samm 2a - Selle näite jaoks võib oletada, et katendi konstruktsioon ja liikluskooslus on järgnev (15 tolli kogupaksus, asfaltkate stabiliseeritud alusel ja killustikul, suhteliselt nõrgal aluspinnasel):

Tabel 1.4 FAARFIELD 1.42 näitena kasutatav katendi konstruktsioon

Paksus	Katendi konstruktsioon	Alternatiivne materjal Eestis
4 tolli	P-401 HMA Surface Course	AC surf
5 tolli	P-401/P-403 Stabilized Base Course	AC base
6 tolli	P-209 Crushed Aggregate Base Course	Ridakillustik
12 tolli	P-154 Aggregate Base Course	Sõelutud kruus
	Aluspinnas, CBR=5 (E=7500psi)	



Tabel 1.5 FAARFIELD 1.42 näitena kasutatav liiklussagedus ja liikluskooslus

Õhusõiduk	Kogumass (kg)	Aastased väljumised
B737-800	79242	3000
A321-200 opt	93899	2500
EMB-195 STD	48949	4500
Regional Jet - 700	32885	3500

Samm 2b - Korrigeeri konstruktsioon sobivaks.

Stabiliseeritud alus on nõutud, kui õhusõiduki mass ületab 45360 kg

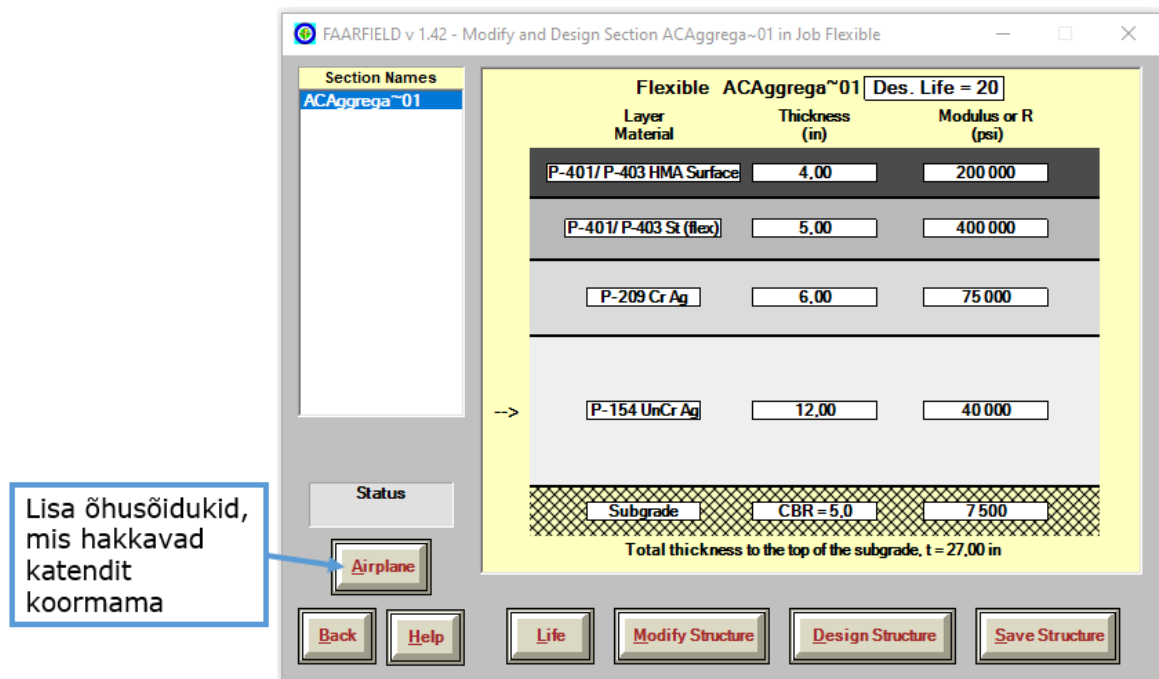
Modifitseeri konstruktsiooni vastavalt soovitud katendile

Layer Material	Thickness (in)	Modulus or R (psi)
P-401/P-403 HMA Surface	4.00	200 000
P-401/P-403 St (flex)	5.00	400 000
P-209 Cr Ag	6.00	75 000
P-154 UnCr Ag	12.00	40 000
Subgrade	CBR = 5.0	7 500

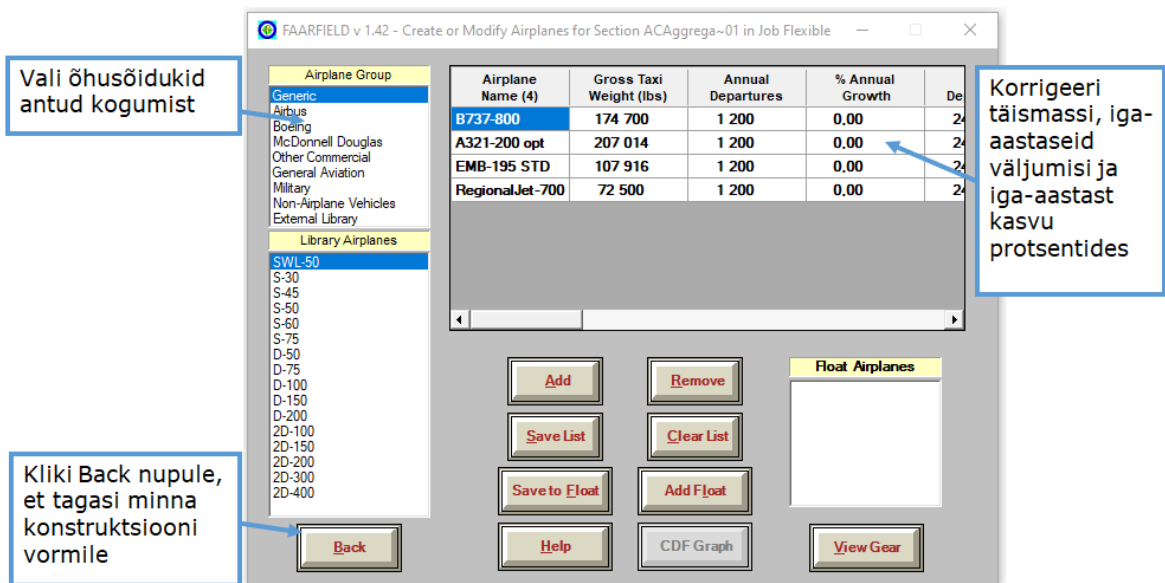
Total thickness to the top of the subgrade, t = 27.00 in

Joonis 1.4 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega

Samm 3 - Vali liikluskooslus.

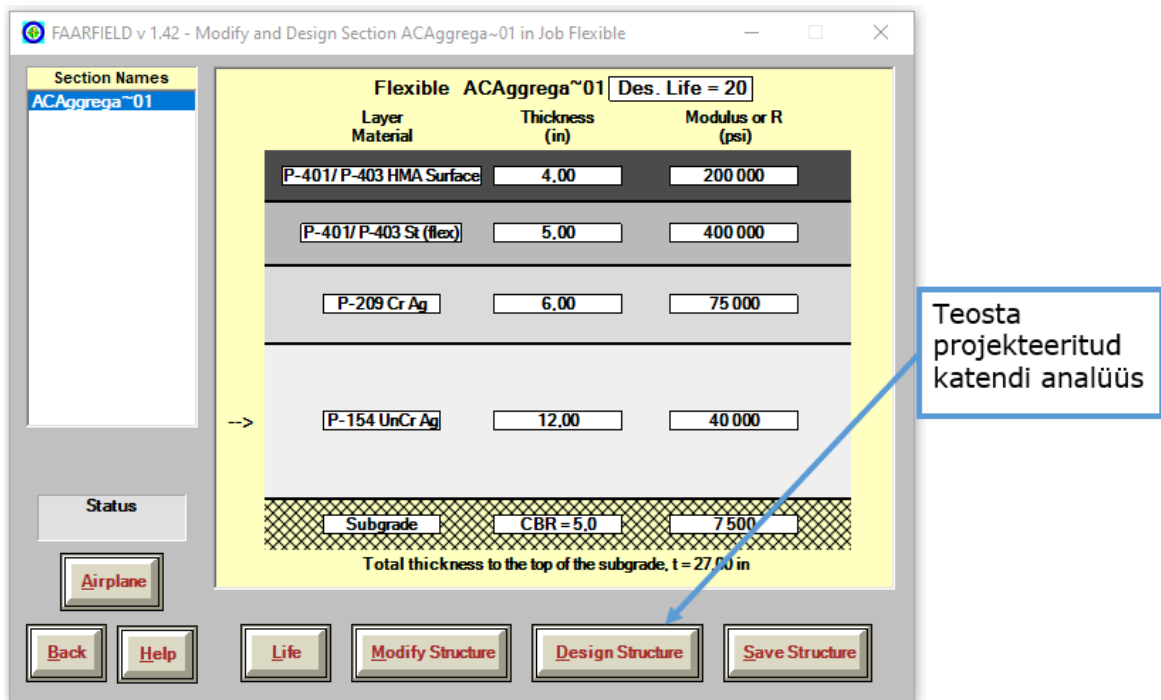


Joonis 1.5 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega

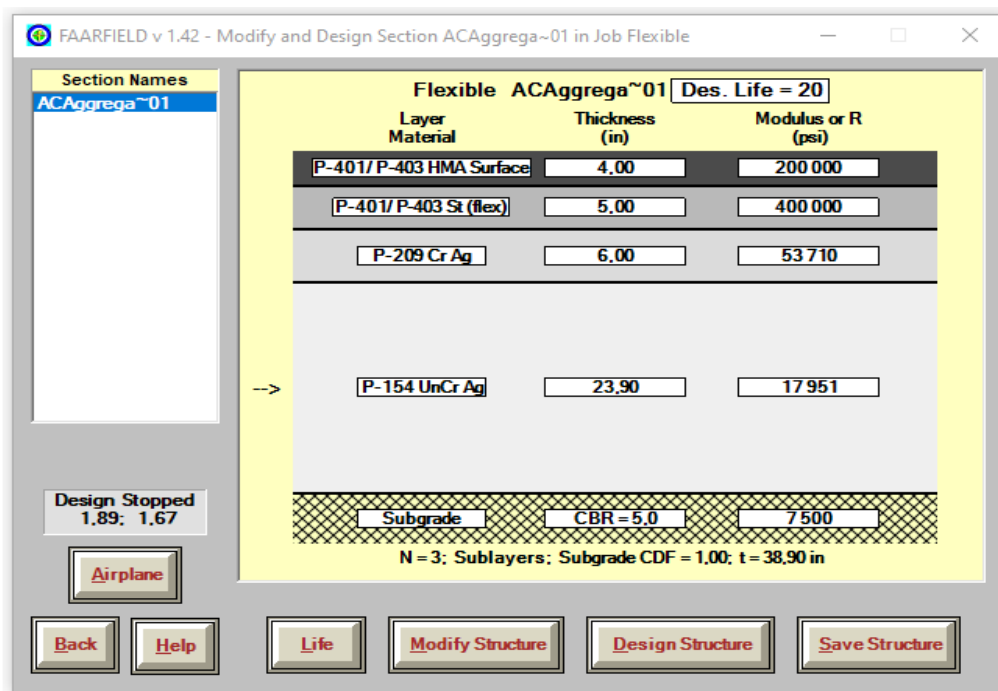


Joonis 1.6 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega

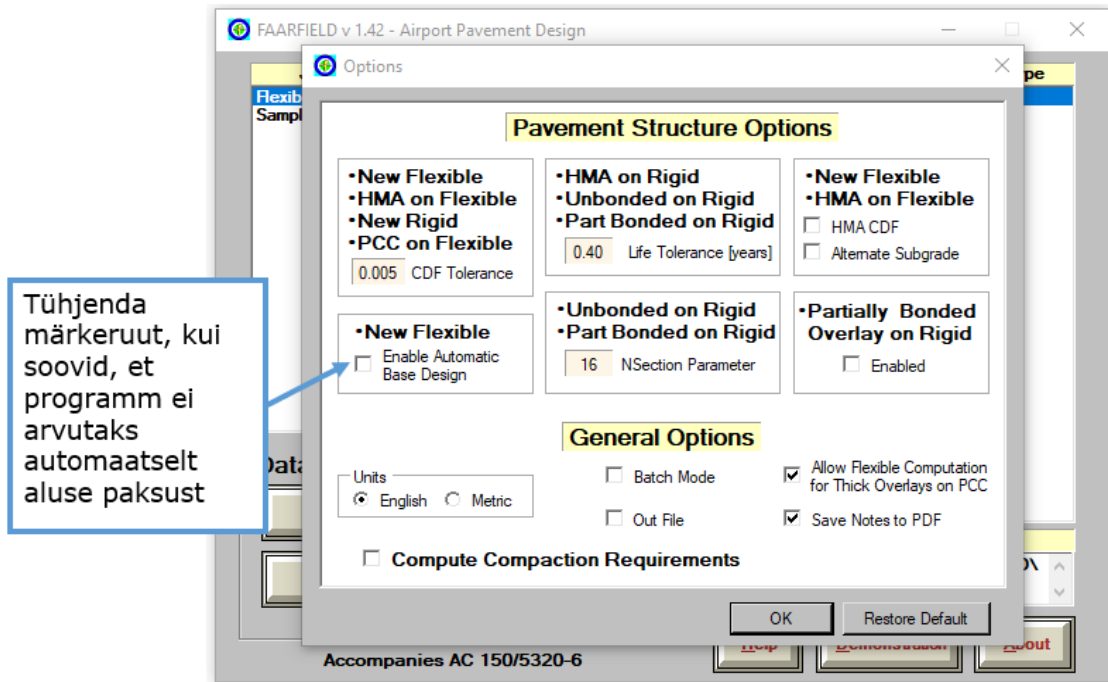
Samm 4 - Teosta katendi analüüs.



Joonis 1.7 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega  
Tulemus:



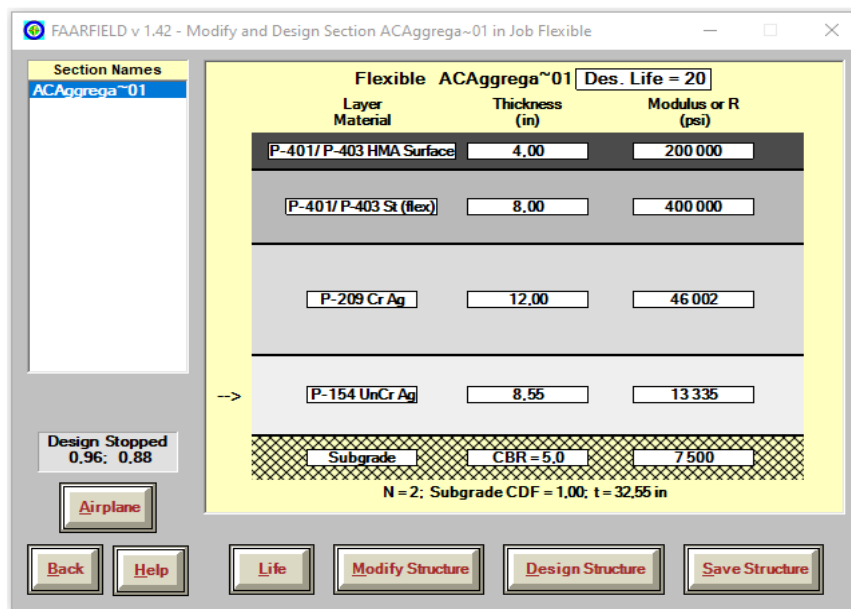
Joonis 1.8 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos tulemusega  
Samm 5 - Et lõplikult korrigeerida/optimeerida ja valida kindel aluse paksus, tuleb valikute menüüst eemalda võimalus programmil automaatselt aluse paksust arvutada.



Joonis 1.9 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos juhistega

Peale antud toimingu teostamist vali kihtide paksused järgnevalt tollides: 4, 8, 12 ja 10.

Lõplik tulemus:



Joonis 1.10 Väljavõte FAARFIELD 1.42 programmist koos lõpliku tulemusega

Samm 6 - FAARFIELD'is on võimalus arvutada ka vajalikku aluspinnase tihendamisnõudeid (tihendustegureid) erinevas sügavuses. Projekteerimise lõpus kliki

Life/Compaction nupule. Sel juhul sisaldab aruanne aluspinnase tihendustabelit nii nidusale kui ka mittenidusale aluspinnasele.

Samm 7 - Projekteeritud lennujaama katendi aruanne salvestatakse automaatselt FAARFIELD'i töö kausta PDF kujul.

## FAARFIELD

FAARFIELD v 1.42 - Airport Pavement Design

Section AC Aggrega-01 in Job Flexible.

Working directory is C:\Users\Kert\Documents\FAARFIELD\

The structure is New Flexible. Asphalt CDF was not computed.

Design Life = 20 years.

A design for this section was completed on 12.16.20 at 08:39:59.

Compaction requirements for this section were computed on 12.16.20 at 08:41:54.

### Pavement Structure Information by Layer, Top First

No.	Type	Thickness in	Modulus psi	Poisson's Ratio	Strength R,psi
1	P-401/ P-403 HMA Surface	4,00	200000	0,35	0
2	P-401/ P-403 St (flex)	8,00	400000	0,35	0
3	P-209 Cr Ag	12,00	46002	0,35	0
4	P-154 UnCr Ag	8,55	13335	0,35	0
5	Subgrade	0,00	7500	0,35	0

Total thickness to the top of the subgrade = 32,55 in

### Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. lbs	Annual Departures	% Annual Growth
1	B737-800	174700	1200	0,00
2	A321-200 opt	207014	1200	0,00
3	EMB-195 STD	107916	1200	0,00
4	RegionalJet-700	72500	1200	0,00

### Additional Airplane Information

#### Subgrade CDF

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	B737-800	0,04	0,05	1,24
2	A321-200 opt	0,96	0,96	1,21
3	EMB-195 STD	0,00	0,00	1,25
4	RegionalJet-700	0,00	0,00	1,43

### Subgrade Compaction Requirements

#### NonCohesive Soil

Percent Maximum Dry Density(%)	Depth of compaction	Depth of compaction	Critical Airplane for Compaction
--------------------------------	---------------------	---------------------	----------------------------------

Joonis 1.11 FAARFIELD 1.42 PDF aruanne lehekülj 1

	from pavement surface (in)	from top of subgrade (in)	
100	0 - 24	--	A321-200 opt
95	24 - 51	0 - 18	A321-200 opt
90	51 - 85	18 - 53	A321-200 opt
85	85 - 126	53 - 94	A321-200 opt

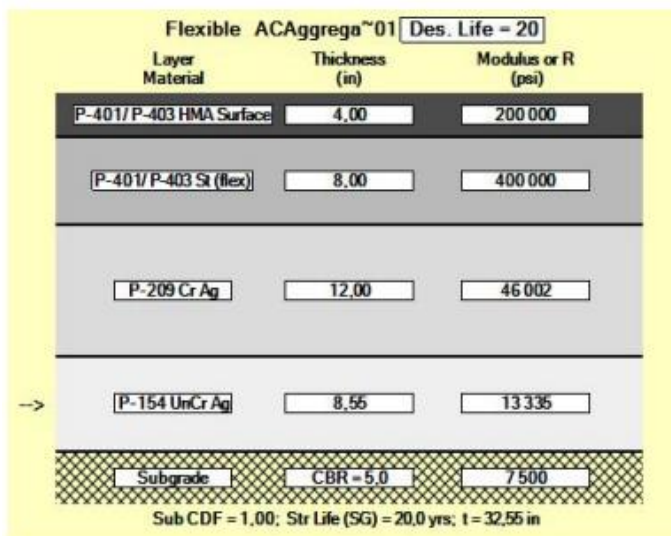
#### Cohesive Soil

Percent Maximum Dry Density(%)	Depth of compaction from pavement surface (in)	Depth of compaction from top of subgrade (in)	Critical Airplane for Compaction
95	0 - 22	--	A321-200 opt
90	22 - 39	0 - 6	A321-200 opt
85	39 - 61	6 - 28	A321-200 opt
80	61 - 84	28 - 51	A321-200 opt

#### Subgrade Compaction Notes:

1. Noncohesive soils, for the purpose of determining compaction control, are those with a plasticity index (PI) less than 3.
2. Tabulated values indicate depth ranges within which densities should equal or exceed the indicated percentage of the maximum dry density as specified in item P-152.
3. Maximum dry density is determined using ASTM Method D 1557.
4. The subgrade in cut areas should have natural densities shown or should (a) be compacted from the surface to achieve the required densities, (b) be removed and replaced at the densities shown, or (c) when economics and grades permit, be covered with sufficient select or subbase material so that the uncompacted subgrade is at a depth where the in-place densities are satisfactory.
5. For swelling soils refer to AC 150/5320-6F paragraph 3.10.

**User is responsible for checking frost protection requirements.**



Joonis 1.12 FAARFIELD 1.42 PDF aruanne lehekülj 2

Programmi käsitlemine on esmapilgul üsna keeruline ning kasutajaliides on kohmakas. Antud näite puhul arvutati konstruktsiooni kihtide paksust elastsele katendile vastavalt etteantud liikluskoormusele. Jäiga katendi puhul arvutatakse FAARFIELD 1.42 betoonist kihi paksust. Autorile jääb arusaam, et FAARFIELD 1.42-ga ei saa kontrollida olemasoleva katendi tugevust, kuna see ei väljasta PCN arvutust kindlale konstruktsioonile, vaid reguleerib valitud kihte vastavale liikluskoormusele.

### 1.2.3 Kumulatiivne kahjustustegur

FAARFIELD põhineb kumulatiivse kahjustusteguri (CDF) kontseptsioonil, milles iga kaasatud õhusõiduki tüüp antud liikluskooslusest summeeritakse kumulatiivse kahjustusteguri saamiseks kõikide õhusõidukite toimingutest antud liikluskooslusest [5]. FAARFIELDIS'is väljendatakse katendi väsimust kumulatiivse kahjustusteguriga, kasutades Miner'i reeglit. CDF tähistab katendi struktuurset väsimusaega. See väljendatakse rakendatud koormuse ja lubatud koormuse suhtena. Uue katendi projekteerimisel, korrigeeritakse katendi konstruktsiooni, kuni  $CDF=1$ , arvestades valitud liikluskooslust ja eluiga. Ühe õhusõiduki ja konstantse aastase väljumiste puhul saab CDF-i väljendada järgnevalt:

$$CDF = \frac{\text{rakendatud koormuste korduste arv}}{\text{ebaõnnestumiseks lubatud koormuste arv}}$$
$$CDF = \frac{(\text{aastased väljumised}) \times (\text{eluiga aastates})}{\left(\frac{\text{läbikute}}{\text{ülekatte}} \text{ suhe}\right) \times (\text{ebaõnnestumiseks lubatud ülekatete arv})}$$
$$CDF = \frac{\text{rakendatud ülekatte}}{\text{ebaõnnestumiseks lubatud ülekatete arv}}$$

Programmi rakendamisel arvutatakse CDF iga 10 tolli (254 mm) laiuse riba kohta piki katendit kogu laiusega 820 tolli (20,8 m). Läbiku ja ülekatte suhe arvutatakse igale ribale eraldi eeldades, et liiklus on normaaljaotuses külgsuunas ja 75% läbikutest jääb alla 70 tolli ehk 1,778 mm. Viimast mõõtu nimetatakse rändelaiuseks ehk ristsuunaliseks jälje hajuvuseks (ingl k *wander width*). CDF arvutatakse kõigi 82 riba kohta. Isegi sama käigu geomeetria korral omavad lennukid erineva põhikäigutee laiusega erinevat läbiku-ülekatte suhet 10 tollises ribas, mis näitab väikest erinevust kumulatiivsest mõjust maksimaalsele CDF'ile [5].

### 1.2.4 Läbiku-ülekatte suhe

Õhusõiduk liigub harva katendil ideaalselt sirgjooneliselt või täpselt sama trajektoori mööda. Seda külgsuunalist liikumist nimetatakse lennuki uitamiseks ning see on (ingl k *airplane wander*) normaalne nähtus.

Sõltuvalt lennuvälja liiklusalala konfiguratsioonist ei läbi kõik lennukid kogu ala – siit tulenevalt taandatakse iga ala kohta tõenäoline kasutus (läbikute arv) suhtes raja kasutusse (saabuvate ja lahkuvate õhusõidukite arv). Seda suhet katendil iseloomustab läbiku-ülekatte suhe (ingl k *pass-to-coverage ratio - P/C*). Õhusõiduki läbikute arvu on

kerge jälgida ning ülekatte arv on matemaatiliselt tuletatud FAARFIELD'is. Elastsetele katenditele on ülekatted mõõdetud korduste arv, mis tekitab maksimaalse pinge aluspinnase pealmisele kihile. Jäikadele katenditele on ülekatted mõõdetud korduste arv, mis tekitab pinge betooni alakihis [5].

### **1.3 AC 150/5335-5D - PCR alused**

Kolmandaks uuritavaks dokumendiks oli tsirkulaar nr. 150/5335-5D "*Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCR*" ehk standardiseeritud meetod katendi kandevõime esitamiseks. Antud eelnõu on värskeim, mis juhendab katendi tugevuse aruande koostamist. Siinkohal tuleb märkida, et tegemist on mustandiga, mis avalikustati 12. augustil 2020. aastal. Lõplik versioon ilmub koos tarkvara lõpliku versiooniga, mistõttu ka käesolevas töös tuleb ette kohti, kus tarkvara käitumine ei ole loogiline või juhend pole üheselt mõistetav.

#### **1.3.1 ACR-PCR**

Juhendi alguses seletatakse lahti peamised terminite muudatused. ACR ja PCN tähendus on sama, mis PCN ja ACN. ACR (ingl k *Aircraft Classification Rating*) on arv, mis väljendab konkreetse konfiguratsiooniga õhusõiduki suhtelist mõju katendile kindlaksmääratud aluspinnase tugevuse korral [4]. PCR (ingl k *Pavement Classification Rating*) on arv, mis väljendab katendi kandevõimet piiramatuteks toiminguteks. Piiramatuks arvuks loetakse 10,000 läbikut. ACR-PCR meetoodika seisneb selles, et mingi kindla PCR väärtuse juures on katend piisava kandevõimega, kui õhusõiduki ACR väärtus on sellega võrdne või väiksem. See on võimalik, sest ACR ja PCR väärtused arvutatakse samal tehnilisel baasil [4].

PCR väärtust on võimalik arvutada kahe meetodiga. Esimene neist, kuid vananenud meetod, on „*Using Aircraft Method*“. Selles meetodis määratakse suurim ACR, mis esitatakse PCR'ina. See meetod on lihtne ning ei vaja teadmisi katendi konstruktsiooni kohta. Lisaks pole aluspinnase kategooria kriitiline sisend. Selle meetodi eelduseks on asjaolu, et katendi konstruktsioon on võimeline kõiki õhusõidukeid liikluskooslusest teenindama, kuid ei arvesta kriitiliste õhusõidukite omadustega. Vahel nimetatakse seda meetodit ka võrdlevaks, mõeldud on see analoogse koormuse ja omadustega raja käitumise kasutamiseks, et mitte teostada konkreetset rajal mõõtmisi ja arvutusi. Antud meetodi täpsus sõltub kumulatiivsest liiklussagedusest (senisest kasutusest) ja see ei



ole rakendatav pidevalt muutuvast olukorras. Ülaloodud põhjuste tõttu ei soovitata seda meetodit pikaajaliselt kasutada [4].

Teiseks meetodiks on „*Technical Evaluation Method*“, milles konstruktsiooni tugevus varieerub sõltuvalt liikluskoosseisust, läbikute arvust, aluspinnase kategooriast ning katendi konstruktsioonist. On võimalik, et kaks täiesti erineva ristlõikega konstruktsiooni on sarnase tugevusega, kuid lubatud õhusõidukite läbikute arv on erinev. Lennujaamade operaatorid peavad olema kursis selle lahknevusega ning seejuures võib olla vajadus piirata operatsioonide arvu väljaspool ACR-PCR süsteemi. Võrreldes eelmise meetodiga on antud meetod täpsem, kuid vajab see-eest täpsustatud informatsiooni. Katendi arvutus võib vajada kombinatsiooni kohapealsest inspeksioonist, kandevõime mõõtmistest ning inseneri hinnangust. Selleks, et määrata PCR tehnilise arvutusega on vaja infot:

- õhusõidukite liikluskooslust koos liiklussagedusega;
- materjalide tüüpe, paksuseid, tugevust;
- aluspinnase elastsusmoodulit.

Järgnevalt on lahti seletatud soovitatud protseduur tehnilise arvutuse (PCR koodis tähisega T) jaoks, et avaldada PCR väärtus. See seletab lahti sammud, kuidas konverteerida liikluskooslus ekvivalentseks kriitilise või referents-õhusõidukiga maksimaalsel lubatud massil, mis annab CDF 1.0 vastavale katendile [4].

PCR arvutus protseduur arvestab katendi struktuuri ja õhusõidukite liiklussageduse prognoosi arvestades valitud eluiga. Lisaks uue katendi elueale peaks programm prognoosima kasutuses oleva katendi järelejäänud eluiga. Uus kalkulatsioon on vajalik peale katendi rekonstrueerimist või kui liiklussagedus/kooslus muutub.

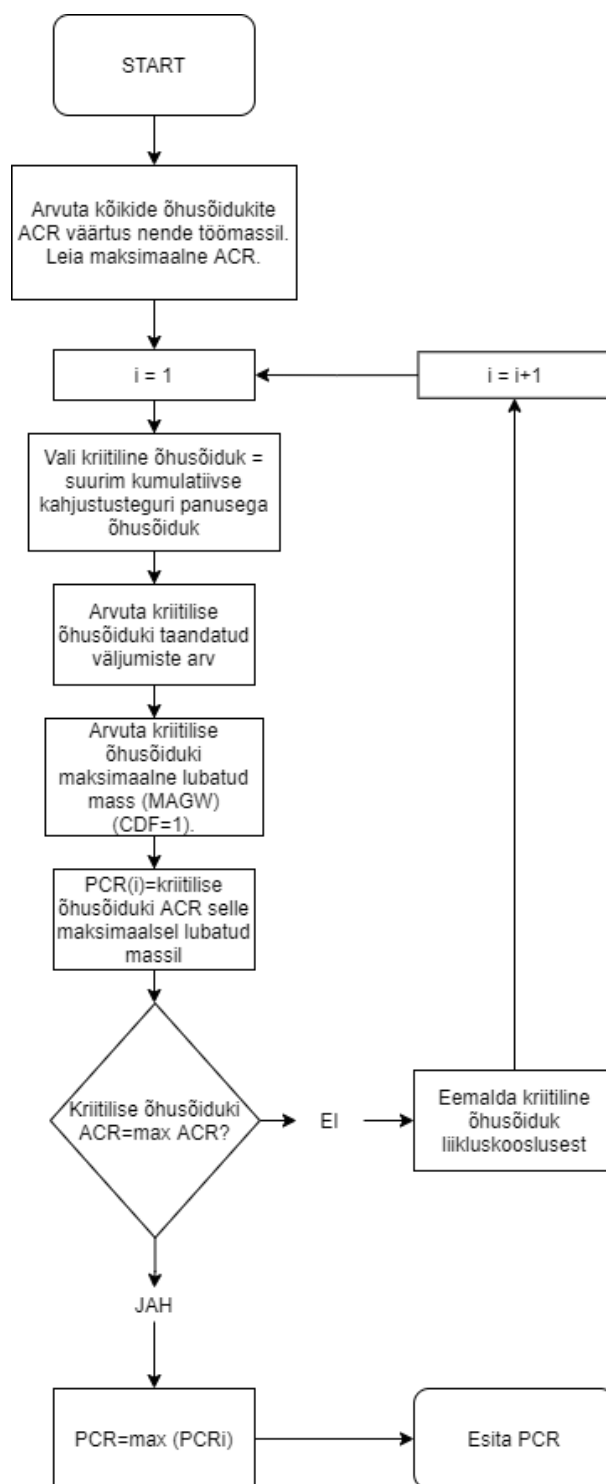
PCR arvutuse sammud:

- 1) Kogu kokku katendi info (iga kihi paksus, elastsusmoodul(id) ja Poisson'i tegur(id), olemasolev või kavandatud ehk prognoositud õhusõidukite liiklusinfo) kasutades parimaid võimalikke allikaid;
- 2) Defineeri õhusõiduki koosseis – õhusõidukite tüübid, aastased väljumised ja õhusõiduki mass arvatud katendile, mis eeldatavalt peab vastu projekteeritud või järelejäänud eluea;

- 3) Arvuta ACR'id igale õhusõidukile õhusõidukite koosseisust nende töömassi ja registreeri maksimaalne ACR;
- 4) Arvuta maksimaalne CDF liikluskooslusest ja registreeri väärtus;
- 5) Vali suurima CDF panusega õhusõiduk (ingl k *CDF Contribution*) kriitiliseks õhusõidukiks. See õhusõiduk määratakse  $AC(i)$ , kus  $i$  indeks on väärtus, vaikumisi 1. Eemalda kõik ülejäänud õhusõidukid õhusõiduki koosseisust peale  $AC(i)$ ;
- 6) Kohanda kriitilise õhusõiduki aastaseid väljumisi, kuni õhusõiduki maksimaalne CDF on võrdne punktis 4 registreeritud väärtusega. Registreeri saadud kriitilise õhusõiduki aastaste väljumiste arv;
- 7) Kohanda kriitilise õhusõiduki massi, et saavutada maksimaalne CDF väärtusega 1.0, arvestades punktis 6 saadud aastaste väljumiste arvu. See on MAGW (ingl k *Maximum Allowable Gross Weight*) ehk maksimaalne lubatud mass;
- 8) Arvuta kriitilise õhusõiduki ACR selle maksimaalsel lubatud massil. Saadud väärtus määratakse kui  $PCR(i)$ ;
- 9) Kui  $AC(i)$  on maksimaalne ACR samm 3-st, siis liigu sammu 13;
- 10) Eemalda praegune kriitiline õhusõiduk  $AC(i)$  õhusõidukite nimekirjast ja too sisse teine õhusõiduk, mida eelnevalt ei käsitletud, kui kriitilist õhusõidukit. Uus õhusõidukite nimekiri, milles pole eelnevat kriitilist õhusõidukit, kuvatakse vähendatud õhusõidukite nimekirjaga. Indeksi väärtus  $i=i+1$ ;
- 11) Arvuta maksimaalne CDF vähendatud õhusõidukite listist ja vali uus kriitiline õhusõiduk  $AC(i)$ ;
- 12) Korda samme 5-9, et määrata  $AC(i)$ . Samm 6-s, kasuta sama maksimaalset CDF, mis arvutati algses õhusõiduki kooslusest, mida kasutati aastaste väljumiste määramiseks vähendatud nimekirjas;
- 13) Avaldatud  $PCR$  peab olema maksimaalne väärtus kõikidest arvutatud  $PCR(i)$ . Kriitiline õhusõiduk on seotud selle maksimaalse  $PCR(i)$  väärtusega.

Sammude 10-12 eesmärk on arvesse võtta erilised juhud, kus on suure liiklussagedusega väike/keskmaa õhusõidukid (näiteks B737) ja väikese liiklussagedusega pikamaa õhusõidukid (näiteks B777). Ilma nende sammudeta võib

tekkida olukord, kus väiksemaid õhusõidukeid identifitseeritakse kui kriitilisi õhusõidukeid, tulemusega, et PCR vajaks põhjendamatut operatsioonide piiranguid suurematele õhusõidukitele. Kui algne kriitiline õhusõiduk on samuti maksimaalne ACR opereerimismassil õhusõidukite nimekirjast, siis protseduur on valmis ühe iteratsiooniga, ilma järgnevate piiranguteta õhusõidukitele [4].



### Joonis 1.13 Soovituslik vooskeem PCR väärtuse leidmiseks

Standard märgib, et PCR väärtust ei tohiks kasutada katendi projekteerimiseks või asendusarvutuseks. Katendi projekteerimine ja arvutus on keeruline inseneriprobleem, mis vajab detailset analüüsi. Seda ei saa asendada ühe numbriga. PCR hindamissüsteem kasutab skaalat, et võrrelda katendite vastupanu, kus kõrgem väärtus kujutab suuremat kandevõimet.

## 1.3.2 PCR kood

Sarnaselt PCN'ile on ka PCR'il kodeeritud formaat, et maksimeerida informatsiooni minimaalsete tähtede arvuga. Kood koosneb 5-osalisest koodist, kus järgnevad šifrid on eraldatud kaldkriipsuga: numbriline PCR väärtus / katendi tüüp / aluspinnase kategooria / lubatud rehvirõhk / meetod.

Meetodeid tähistatakse vastavalt „U“ või „T“.

Tabel 1.6 Katendi tüübi tähistus PCR raportis

Katendi tüüp	Tähistus
Elastne	F
Jäik	R

Aluspinnase kategooriad vt tabelist 1.1 ja 1.2, rehvirõhu kategooriaid vt tabelist 1.3.

## 1.3.3 ACR'i tuletus

Nagu ka ACN väärtuse puhul väljastavad õhusõidukite tootjad ametliku arvutuse ACR väärtusele. See arvutus sisaldab õhusõiduki töömadusi - tagumine raskuskese, maksimaalne stardimass, rataste vahe, rehvirõhk jms.

ACR-PCR meetod on omandanud neli taset aluspinnase tugevuse määramisel nii elastsele kui ka jäigale katendile. Need standardsed vahemikud on abiks aluspinnase tugevuse määramisel. Suurim vahe ACN-PCN meetodiga on see, et taseme vahemike määramisel on ühikuteks MPa (e-moodul), mitte MN/m<sup>3</sup>(k-väärtus). Seetõttu on aluspinnase määramisel nii elastsel kui ka jäigal katendil ühine tabel [4].

Tabel 1.7 Aluspinnase kategooriad ACR väärtuse arvutamiseks

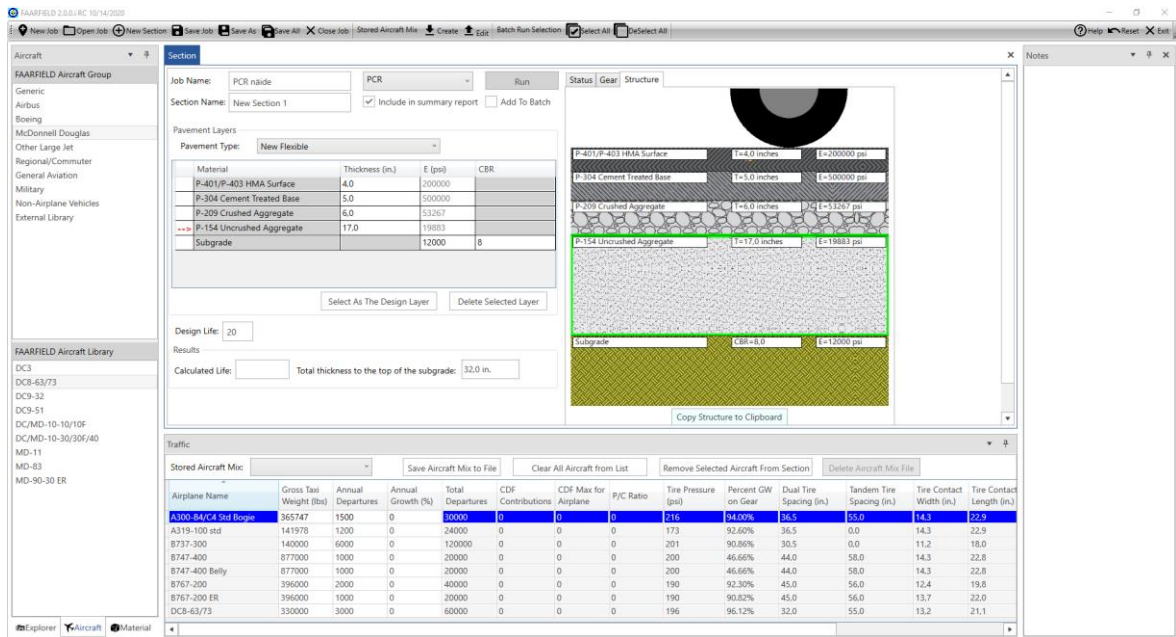
<b>Aluspinnase tugevuse kategooria</b>	<b>Aluspinnase tugevus E psi (MPa)</b>	<b>Vahemik E psi (Mpa)</b>	<b>Tähistus</b>
Tugev	29008 (200)	E 21756 ( $\geq 150$ )	A
Keskmine	17405 (120)	$E \geq 14504 < 21756$ ( $\geq 100 < 150$ )	B
Nõrk	11603 (80)	$E \geq 8702 < 14504$ ( $\geq 60 < 100$ )	C
Väga nõrk	7252 (50)	$E < 8702$ ( $< 60$ )	D

Jäiga ja elastse katendi puhul määratakse õhusõiduki telikute nõuded elastsete kihtide meetodiga (*layer elastic method*) igale aluspinnase kategooriale eraldi.

### **1.3.4 PCR kasutades FAARFIELD 2.0**

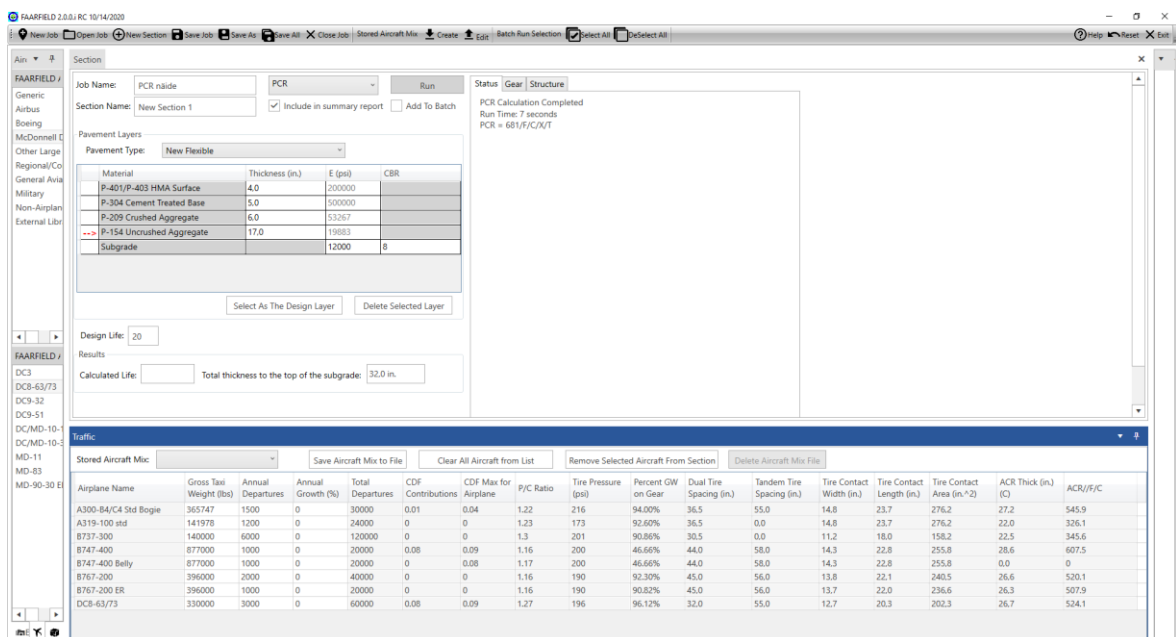
Juhendis on toodud elastse katendi näiteks lennuvälja liiklusala katend, mille aluspinnase CBR on 8 ning kogupaksus 32 tolli. Katendi konstruktsioon on 4 tolli asfaltbetooni, 5 tolli tsementstabiliseeritud alust, 6 tolli sidumata alust ning 17 tolli drenikihti. Selles näites on arvestatud, et liiklussagedus on 20-aastaselt perioodil sama. Lisakütust tangitakse enne väljumist ning lennuteel on paralleelne ruleerimistee, mis tähendab et P/TC suhe on 1. Katendi elueaks on projekteeritud 20 aastat.

Pärast FAARFIELD'i avamist tuleb valida ülemisest rippmenüüst PCR. Järgnevalt tuleb valida Pavement Type rippmenüüst New Flexible, et projekteerida uus elastne katend. Katendi kihte saab lisada või modifitseerida klikkides lihtsalt katendikihi pildile. Kasutades õhusõiduki kogumit saab lisada vastava liikluskoosluse. Võimalus on ka iga masina brutomassi ning aastaseid väljumisi muuta. Järgnev pilt annab ülevaate inseneri poolt lisatud lähteandmetest.



Joonis 1.14 Väljavõte FAARFIELD 2.0 programmist

Kliki "Run", et teostada katendiarvutus. Kui arvutus on valmis, kuvatakse PCR väärtus "Status" ekraanil.

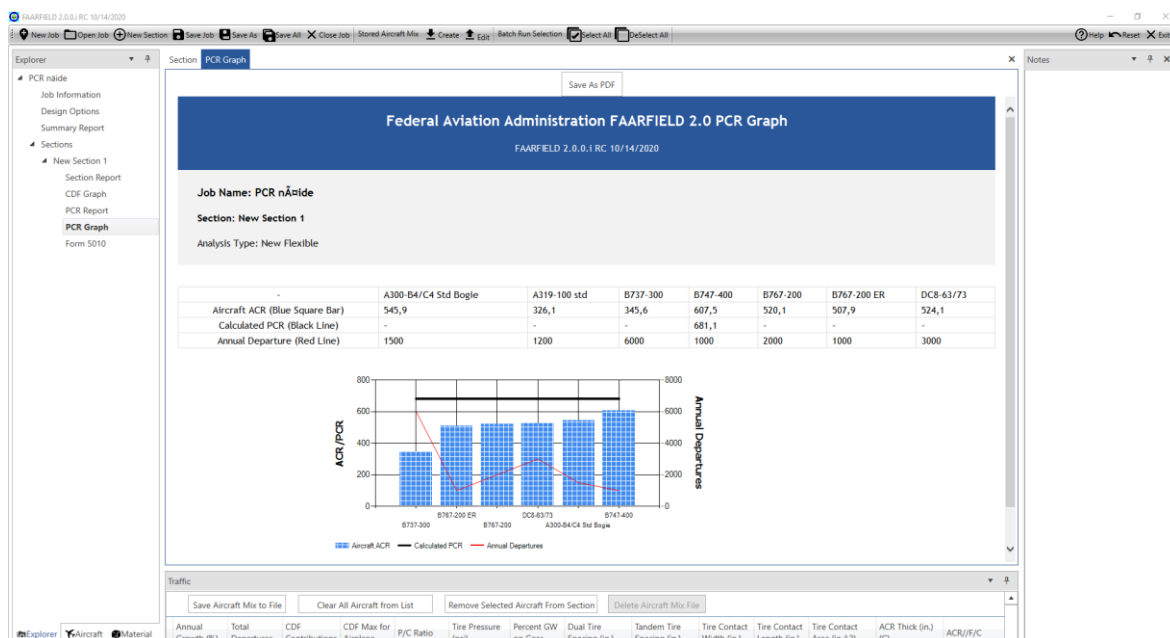


Joonis 1.15 Väljavõte FAARFIELD 2.0 programmist

Selle näite arvutatud PCR väärtus on 681/F/C/X/T. Liikluse tabel annab lisainformatsiooni PCR arvutuse kohta. Veerud "CDF Contributions" ja "CDF Max for Airplane" näitavad CDF ehk kumulatiivse kahjustusteguri panust iga õhusõiduki kohta liiklussortimendis ning iga õhusõiduki kohta eraldi. Selles näites CDF summa on 0.170.

Kui CDF summa on alla 1.0, siis tähendab see, et katend on piisava konstruktsioonilise tugevusega antud õhusõiduki liikluskoormusele. Tabeli parempoolses osas on võimalik näha iga lennuki ACR väärtust vastava massi ning operatsioonide arvuga. ACR paksus ja väärtus on igale õhusõidukile eraldi arvatud, võttes arvesse valitud aluspinnase kategooriat. Kõik ACR väärtused on väiksemad kui PCR, mis tähendab seda, et kõik valitud õhusõidukid võivad opereerida antud katendil ilma piiranguteta.

“Explorer” riba alt valides “PCR Graph”, kuvab FAARFIELD visuaalselt kuus suurimat ACR väärtust valitud liikluskooslusest. Horisontaalne must joon näitab arvatud PCR väärtust. Punane joon kujutab vastava lennuki aastaseid väljumisi. Antud olukorras on kõik ACR väärtused madalamal kui PCR ning õhusõidukid võivad tegutseda ilma piiranguteta.



Joonis 1.16 Väljavõte FAARFIELD 2.0 programmist

Samast menüüst saab valida “PCR Report”, kus FAARFIELD näitab detailselt PCR arvutust kolmes erinevas tabelis:

- 1) Tabel näitab sisestatud liiklusinfot, protsentuaalset brutomassi põhikäigul (*main gear*) ja rehvirõhku, mida kasutati ACR arvutustes;
- 2) Tabel annab informatsiooni kriitilistest õhusõidukist: kriitilise õhusõiduki aastane väljumiste arv, maksimaalne lubatud brutomass, ACR paksus maksimaalsel lubatud brutomassil ja PCR mis on defineeritud kui ACR kriitilise õhusõiduki maksimaalne lubatud brutomass;

3) Tabel näitab ACR väärtuseid ja arvutustes kasutatud andmeid.

## Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 PCR Report

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

**Job Name: PCR näide**

**Section: New Section 1**

This file name = PCR Results for Flexible 2020-12-28 12:48:51.txt

Evaluation pavement type is flexible and design program is FAARFIELD.

Section name: New Section 1 in job file: PCR näide..JOB.xml

Units = US Customary

Analysis Type: New Flexible

Subgrade Modulus =12000psi (Subgrade Category is C(11k))

Evaluation Pavement Thickness = 32,0 in.

Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1,00

Maximum number of wheels per gear = 4

CDF = 0,170

At least one aircraft has 4 or more wheels per gear.

**Results Table 1. Input Traffic Data**

No.	Aircraft Name	Gross Weight lbs	Percent Gross Weight	Tire Pressure psi	Annual Departure	20 Years Coverage
1	A300-B4/C4 Std Bogie	365747	94,00	216,1	1500	24508
2	A319-100 std	141978	92,60	173,0	1200	19573
3	B737-300	140000	90,86	201,0	6000	92631
4	B747-400	877000	46,66	200,0	1000	17187
5	B747-400 Belly	877000	46,66	200,0	1000	17156
6	B767-200	396000	92,30	190,0	2000	34500
7	B767-200 ER	396000	90,82	190,0	1000	17240
8	DC8-63/73	330000	96,12	196,0	3000	47172

**Results Table 2. ACR Value**

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft	ACR Thick at max. MGW (in.)	PCR//F/C
1	B747-400	1789	947151	30,06	681,1

Joonis 1.17 FAARFIELD 2.0 aruanne



Results Table 3. Flexible ACR at Indicated Gross Weight and Strength

No.	Aircraft Name	Gross Weight lbs	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure psi	ACR Thick (in.)(C)	ACR/F/C
1	A300-B4/C4 Std Bogie	365747	94,00	216,1	27,2	545,9
2	A319-100 std	141978	92,60	173,0	22	326,1
3	B737-300	140000	90,86	201,0	22,5	345,6
4	B747-400	877000	93,32	200,0	28,6	607,5
6	B767-200	396000	92,30	190,0	26,6	520,1
7	B767-200 ER	396000	90,82	190,0	26,3	507,9
8	DC8-63/73	330000	96,12	196,0	26,7	524,1

Joonis 1.18 FAARFIELD 2.0 aruande jätk

Tuleb märkida, et antud näites saaks veelgi rohkem minna süvitsi kriitilise õhusõidukiga ja seda teisendada liikluskoosluse koormusele vastavaks. Kuid ilmselt ei annaks see tulemust, kus oleks vaja piirata õhusõidukite läbikuid või massi.

Nii ACR kui PCR väärtusi on FAARFIELD 2.0-ga üsna mugav arvutada. Kasutajaliides on selge ja arusaadav. Lisaks on parameetrite muutmise lihtne.

## 1.4 Peamised muudatused

Peamiseks uuenduskuuri põhjuseks on lahkeli lennujaamade katendite arvutamise ja projekteerimise vahel. Kasutusel oleva CBR meetodi rakendamine pole enam ratsionaalne, kui liigutakse LEA meetodite suunas. Sellest tulenevalt puudub neil vastastikune seos hindamissüsteemi ja projekteerimise vahel. Lisaks tuleb arvestada uute ning keeruliste telikute mõju, kuna nende jäljed ei kattu. Täiendavalt on ka materjalid arenenud ning selle arenguga tuleb kaasas käia.

Suurim vajadus oli ühendada ACN-PCN süsteem LEA (ingl k *layered elastic analysis*) süsteemiga, mida uuriti juba 1983. aastal, kuid vähene IT tugi pärssis selle kasutust ning see lükati edasi. LEA põhimõte on analoogne Odemarki ja KAP (katendi arvutus programmi) rakendustega. Kõrgema kihi kandevõime = alumise kihi kandevõime \* tegur.

Uus ACR-PCR meetod ületab tuvastatud piirangud tänase süsteemi juures ning arvestab viimaste arengutega lennundusvaldkonnas. Uus süsteem peaks pakkuma erinevaid hüvesid ka lennujaama omanikele, alates optimeeritud katendi kasutusest ja lõpetades üldise PCR arvutuse protseduuriga. Üleüldine katendi haldussüsteem, tehniline kontroll ja hooldus on tänu sellele lihtsustatud [7].

Säilitades olemasoleva süsteemiga sarnase välimuse ning lihtsuse, pole ilmnenu muutused märkimisväärsed neile, kes pole kursis lennujaamade katendite arvutamiseega. Kahe numbri ACR-PCR võrdlus jätkub, olles süsteemi printsiibi tuum. CBR projekteerimismeetod asendatakse täielikult LEA-ga, ning seetõttu on aluspinnase määramine nii jäigale kui ka elastsele katendile ühine. Täiendavalt võimaldab LEA arvestada iga õhusõiduki maksimaalset panust eraldi antud liikluskooslusest läbi CDF ehk kumulatiivse kahjustusteguri kontseptsiooni.

### 1.4.1 ACR väärtuste võrdlus ACN väärtustega

Standard ise väidab, et PCN ja PCR väärtuste vahel puudub matemaatiline seos, kuid AC 139.c-07v1.0 andmetel on keskmiselt ACR väärtused 9,5 korda suuremad sama õhusõiduki ACN väärtusest [17]. Et vähendada segadust ACN-PCN ülemineku ajal ACR-PCR süsteemile, määras ICAO enda ACR väärtused ligikaudselt kümnekordseks. Järgneval graafikul on 17 kauba- ja reisilennunduses kasutatavate õhusõidukite ACR ja ACN väärtused iga aluspinnase kategooria kohta eraldi.

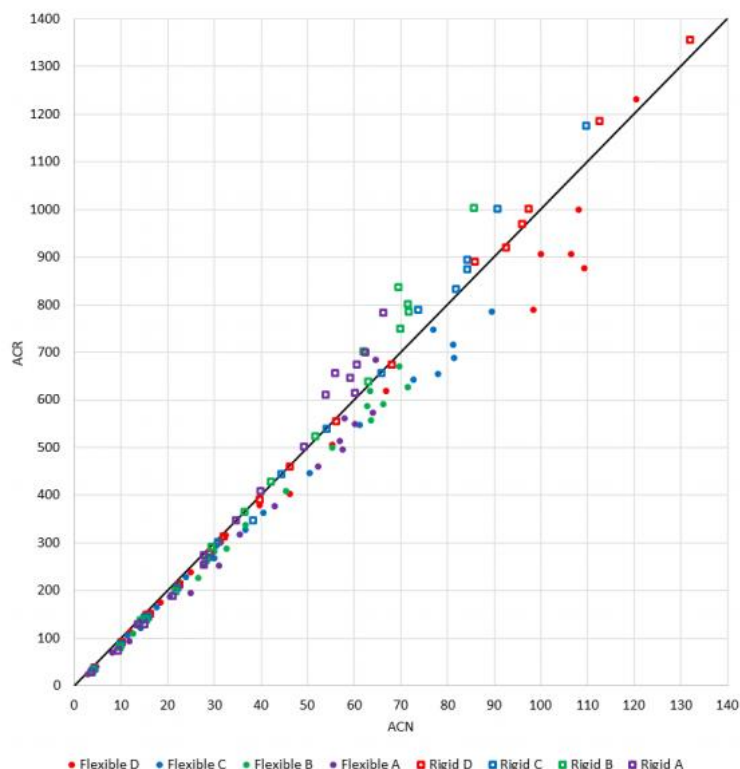


Figure 8. Comparison of ACN and ACR values for various common aircraft.

Joonis 1.19 Väljavõte AC 139.C-07v1.0 Tabel 8 lk 32

## 2. FAARFIELD 2.0 PRAKTIKAS

### 2.1 Valikus olevad materjalid

Enne FAARFIELD 2.0 praktiseerimist uuris töö autor, millised on pakutavad materjalid ning millised on nende parameetrid - kas saame neid võrrelda Eestis kasutatavate materjalidega või mitte. Materjalide parameetrid on kajastatud spetsiaalses standardis "*Standards for Specifying Construction of Airports*". Tegemist on standardiga, mille eesmärgiks on määrata materjalide nõuded ning meetodid lennujaamade ehitamiseks. Selle nõuandva ringkirja põhilisteks teemadeks on: ettevaatusabinõud, pinnasetööd, elastsed katendid, jäigad katendid, elastsed alused, jäigad alused, piirded, drenaaž, haljastus ning valgustuse paigaldamine [6].

Kui vaadata FAARFIELD'i pakutavaid materjale, on näha, et materjalid on jagatud 4 gruppi:

- 1) HMA ehk Hot Mix Asphalt ehk asfaltbetoon;
- 2) PCC ehk Portlant Cement Concrete ehk betoonkatend;
- 3) Aggregate - eesti keeles täitematerjal ehk kivimaterjal, selle all mõeldakse üldiselt killustiku või kruusa;
- 4) Stabilized - stabiliseeriv kiht.

Siinkohal peab märkima, et standardis on nii kihte kui ka kategooriaid oluliselt rohkem. Suure tõenäosusega pole kõiki kihte veel FAARFIELD'i lisatud, kuna tegemist on programmiga, mis on veel arengujärgus. Lisaks on võimalus ka kasutajal endal materjal määrata, valides materjali paksuse ning elastsusmooduli või CBR väärtuse.

The screenshot shows the 'Layer Property' dialog box. On the left, the 'Materials Menu' is organized into four categories: 'General' (User Defined, Subgrade), 'P-401/P-403 HMA' (P-401/P-403 HMA Surface, P-401/P-403 HMA Overlay), 'P-501 PCC' (P-501 PCC Surface, P-501 PCC Overlay (Unbonded), P-501 PCC Overlay on Flexible), and 'Aggregate' (P-154 Uncrushed Aggregate, P-208 Crushed Aggregate, P-209 Crushed Aggregate, P-211 Lime Rock, P-219 Recycled Concrete Aggregate). The 'Aggregate' section has 'P-209 Crushed Aggregate' selected. Below the menu are buttons for 'Add Layer Below', 'Add Layer Above', 'OK', and 'Delete Layer'. At the bottom center is a 'Cancel' button. On the right side, there are five input fields: 'Update Thickness (in.)' with a value of 10.0, 'Update Modulus (psi)' with a value of 75000, 'Update Concrete Flexural Strength R (psi)', 'Update CBR' with a value of 0, and 'Update Subgrade Reaction (pci)'.

Joonis 2.1 Väljavõte FAARFIELD 2.0 valikus olevatest materjalidest

### 2.1.1 Hot Mix Asphalt

Materjal "P-401 Hot Mix Asphalt (HMA) Pavements" tähendab katendi kihti, mis koosneb mineraalsest täitematerjalist ja sideainest, mis on segatud tsentraalses segistis. See laotatakse ettevalmistatud pinnale vastavuses projekteeritud joontele, kalletele, paksustele ja tüüpilistele ristlõigetele. Iga laotatud paan ehitatakse nõutava paksuse ja kõrguste järgi, mis plaanide kohaselt rullitakse ja kinnitatakse enne järgmise kihi laotamist [6].

Täitematerjal sisaldab purustatud kivi, purustatud kruusa, purustatud räbu, sõelmeid, liiva ja vajadusel mineraalset fillerit. Jämetäitematerjal sisaldab tugevaid, vastupidavaid osakesi, mis ei takista bituumeniga sidumist ning on vaba orgaanilisest materjalist.

Peentäitematerjal sisaldab puhast, tugevat, vastupidavat, nurgelise kujuga osakesi, mis on toodetud purustatud kivist, rübust või kruusast [6].

Ka fillerile ja sideainele on omad nõuded vastavuses ASTM-iga.

Juhend instrueerib täpsemalt, milline peab asfaltsegu olema ning kuidas seda laotada. Materjali proovikehasid valmistatakse kas Marshalli tambiga või güratoriga.

Tabel 2.1 Hot Mix Asphalt jämetäitematerjali nõuded

<b>Materjali katse</b>	<b>Nõue</b>	<b>Standard</b>
Vastupanu lagunemisele	Kadu kuni 40%	ASTM C131
Killustiku kindlus naatriumsulfaadi või magneesiumsulfaadi vastu	Kadu pärast 5 tsükli: kuni 12% naatriumsulfaadi puhul või kuni 18% magneesiumsulfaadi puhul	ASTM C88
Savitükid ja pudedad osakesed	Kuni 1%	ASTM C142
Purunenud osakeste protsent	Katenditele, mis on projekteeritud õhusõidukitele üle 27200kg: minimaalselt 75% massist osakestel vähemalt kaks purunenud külge ja 85% vähemalt ühe purunenud küljega	ASTM D5821
	Katenditele, mis on projekteeritud õhusõidukitele alla 27200kg: minimaalselt 50% massist osakestel vähemalt kaks purunenud külge ja 65% vähemalt ühe purunenud küljega	
Lamedad, piklikud või lamedad ja piklikud osakesed	Kuni 8% massist lamedad ja piklikud või lamedad ja piklikud 5:1 suhtega	ASTM D4791
Räbu puistetihedus	Mass mitte vähem kui 1,12kg/m <sup>3</sup>	ASTM C29

Tabel 2.2 Hot Mix Asphalt peentäitematerjalide nõuded

<b>Materjali katse</b>	<b>Nõue</b>	<b>Standard</b>
Vedeliku sisaldus	Maksimaalselt 25%	ASTM D4318
Plastilisuse indeks	Maksimaalselt 4%	ASTM D4318
Killustiku kindlus naatriumsulfaadi või magneesiumsulfaadi vastu	Kadu pärast 5 tsükli: kuni 10% naatriumsulfaadi puhul või kuni 15% magneesiumsulfaadi puhul	ASTM C88
Savitükid ja pudedad osakesed	Kuni 1%	ASTM C142
Taandatusena liivaks	Minimaalselt 45%	ASTM D4419
Looduslik liiv	15% maksimaalselt peentäitematerjali kogumassist	ASTM D1073

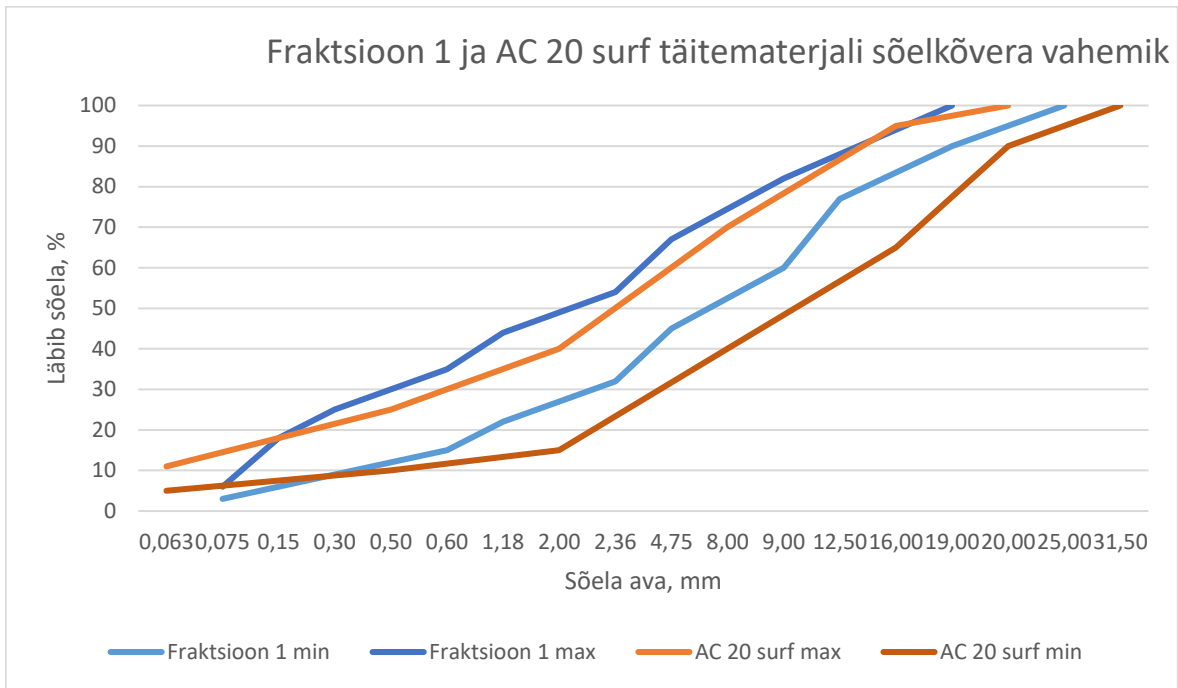
Tabel 2.3 Asfaltkatendi killustiku fraktsioonid

Sõela suurus	Läbinud sõela protsent		
	Fraktsioon 1	Fraktsioon 2	Fraktsioon 3
25mm	100	-	-
19mm	90-100	100	-
12,5mm	66-88	90-100	100
9,5mm	60-82	72-88	90-100
4,75mm	45-67	53-73	58-78
2,36mm	32-54	38-60	40-60
1,18mm	22-44	26-48	28-48
0,600um	15-35	18-38	18-38
0,300um	9-25	11-27	11-27
0,150um	6-18	6-18	6-18
0,075um	3-6	3-6	3-6
	14	15	16
<b>Bituumeni protsent:</b>			
Kivi või kruus	4,5-7,0	5,0-7,5	5,5-8,0
Räbu	5,0-7,5	6,5-9,5	7,0-10,5

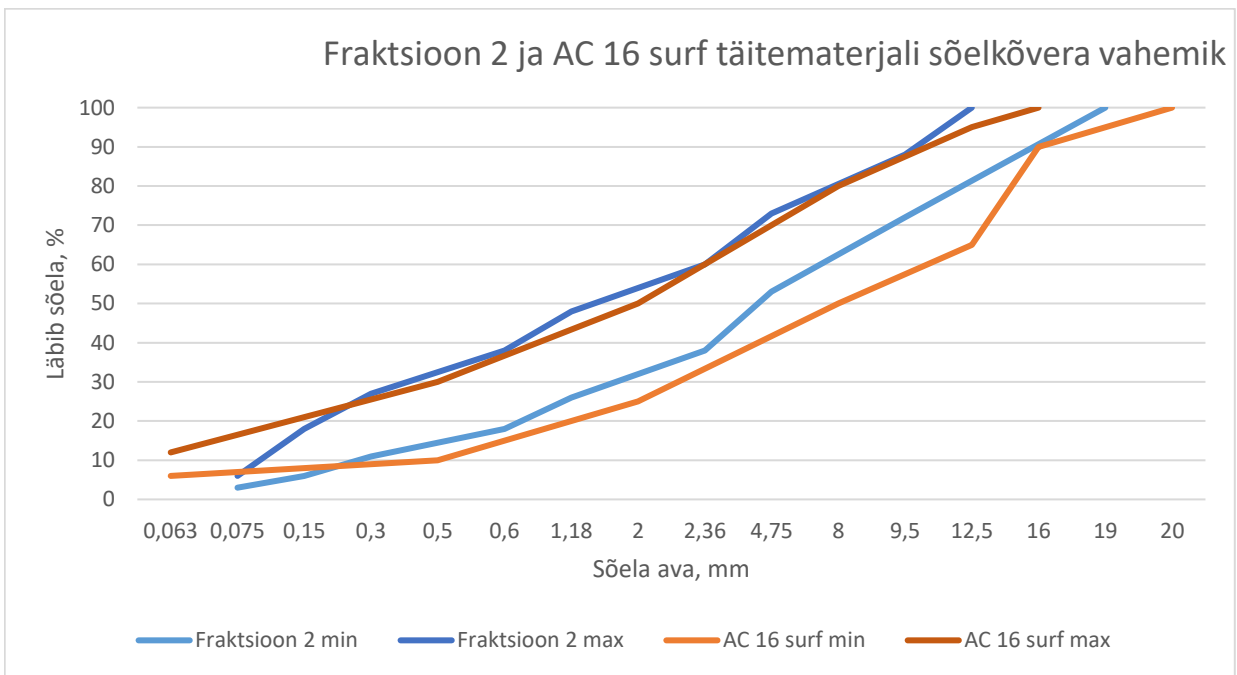
Asfaltbetooni täitematerjali jagati 3 fraktsiooni: Gradation 1, Gradation 2 ja Gradation 3. Nendest materjalidest ülevaate saamiseks koostas töö autor vastavatele materjalidele fraktsiooni põhjal sõelkõvera graafiku ning proovis leida Eestis kasutatavatest materjalidest alternatiivse vahemiku. Eestis kasutatavate asfaltbetoonkatendite täitematerjalide sõelkõvera vahemik on saadaval standardis EVS 901-3:2021 [9].

Tabel 2.4 AC surf segude sõelkõverad EVS 901-3:2021

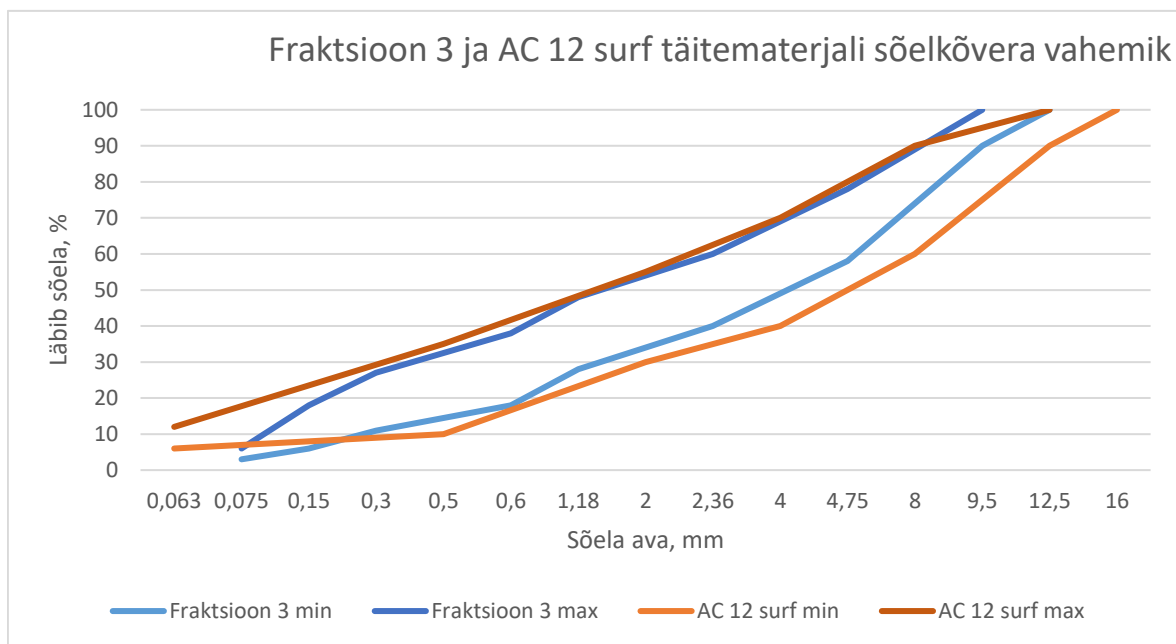
Sõela ava, mm	Sõela läbimõõdud, % täitematerjali massist			
	AC 8 surf	AC 12 surf	AC 16 surf	AC 20 surf
31,5	-	-	-	100
20	-	-	100	90-100
16	-	100	90-100	65-95
12,5	100	90-100	65-95	-
8	90-100	60-90	50-80	40-70
6,3	65-95	-	-	-
4	55-85	40-70	-	-
2	40-65	30-55	25-50	15-40
0,5	20-45	10-35	10-30	10-25
0,063	7.0-13.0	6.0-12.0	6.0-12.0	5.0-11.0



Joonis 2.2 Alternatiivne materjal fraktsioonile 1



Joonis 2.3 Alternatiivne materjal fraktsioonile 2



Joonis 2.4 Alternatiivne materjal fraktsioonile 3

### 2.1.2 Portland Cement Concrete Pavement

Materjal "P-501 Portland Cement Concrete (PCC) Pavement" - See on jäik katendikiht, mis võib olla armeeritud või armeerimata, mis on ehitatud ettevalmistatud alumisele pinnale, vastavuses ettenähtud nõuete ja spetsifikatsioonidega [6].

PCC peatükk annab ranged juhised betoonsegu valmistamiseks ja paigaldamiseks. Suur osa materjalide nõuetest on viidatud ASTM ja AASTHO-le.

Nõuded peentäitematerjalile:

Tabel 2.5 Materjali PCC peentäitematerjalide nõuded

Materjali katse	Nõue	Standard
Kindlus naatriumsulfaadi või magneesiumsulfaadi vastu	Kadu pärast 5 tsüklit: kuni 10% naatriumsulfaadi puhul või kuni 15% magneesiumsulfaadi puhul	ASTM C88
Taandatusena liivaks	Minimaalselt 45	ASTM C2419
Peensusmoodul	2,5-3,4	ASTM C123



Tabel 2.6 Materjali PCC jämetäitematerjalide nõuded

<b>Materjali katse</b>	<b>Nõue</b>	<b>Standard</b>
Vastupanu lagunemisele	Kadu kuni 40%	ASTM D131
Killustiku kindlus naatriumsulfaadi või magneesiumsulfaadi vastu	Kadu pärast 5 tsükli: kuni 12% naatriumsulfaadi puhul või kuni 18% magneesiumsulfaadi puhul	ASTM C88
Lamedad, piklikud või lamedad ja piklikud osakesed	Kuni 8% massist lamedad ja piklikud või lameda ja piklikud 5:1 suhtele jämedamatele kuni 9,5mm	ASTM D4791
Räbu puistetihedus	Mass mitte vähem kui 1,12 kg/m <sup>3</sup>	ASTM C29

### 2.1.3 Täitematerjal

Materjal "P-154 Subbase Course" - See materjal on aluse aluskiht, mis on segatud teralisest materjalist ja on ehitatud ettevalmistatud aluspinnasele või laotatud kihile kooskõlas etteantud spetsifikatsioonidega. Aluse aluskiht sisaldab kõvasid, vastupidavaid osakesi või kilde teralisest killustikust. Materjal segatakse peenliiva, savi, kivitolmu või muu sarnase sideainega või täitematerjaliga, mis on toodetud aktsepteeritud toormaterjalist. Segu peab olema ühtlane ja vastama fraktsiooni nõuetele, pinnase konstantidele ja peab olema tihendatav tihedaks ja stabiilseks aluseks. Materjalis ei tohi olla taimseid aineid või tükke, liigset savi ega muid ebasobivaid lisandeid. Kruusa võib kasutada, et saavutada materjali fraktsiooninõudeid [6]. Seda materjali võiks käsitleda kui drenikihti. Antud materjali sõelkõvera vahemik on järgnev:

Tabel 2.7 Materjali P-154 sõelkõvera nõuded

<b>Sõela ava</b>	<b>Läbinud sõela protsent massist</b>
75mm	100
19,0mm	70-100
2,00mm	20-100
425µm	5-60
75 µm	0-15

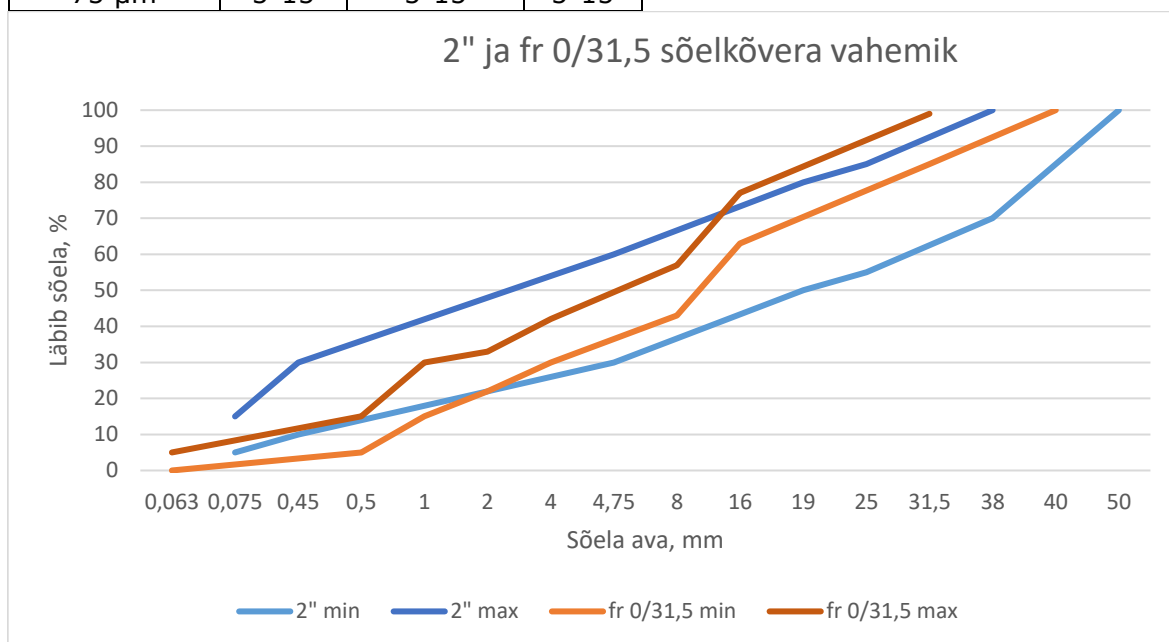
Materjal "P-208 Crushed Aggregate" - See materjal on alus, mis on segatud peentäitematerjaliga. Seda võib ehitada ettevalmistatud aluspinnasele või aluse aluskihile, kooskõlas etteantud spetsifikatsioonidega. Killustikust aluse materjal võib

sisaldada nii peen- kui jämekillustikku. Materjal peab olema puhas, terve, vastupidavatest osakestest ja kivi, kruusa, või purustatud kivi fragmentidest või purustatud kruusa ja liiva segust, sõelmetest või muust sarnasest materjalist, mis on toodetud heaks kiidetud materjalist. Killustik peab olema vaba savitükkidest, orgaanilisest materjalist või muust ebasobivast materjalist [6]. Võrdluseks on töö autor toonud killustikust katendikihtide ehitamise juhiseid fraktsioon 0/31,5 sõelkõvera [8].

Sõelkõvera vahemiku nõuded on järgmised:

Tabel 2.8 Materjali P-208 sõelkõverate nõuded

Sõela suurus	Läbinud sõela protsent		
	2" max	1-1,5" max	1" max
50 mm	100	-	-
37,5 mm	70-100	100	-
25,0 mm	55-85	70-100	100
19,0 mm	50-80	55-85	70-100
4,75 mm	30-60	30-60	35-65
425 µm	10-30	10-30	10-25
75 µm	5-15	5-15	5-15



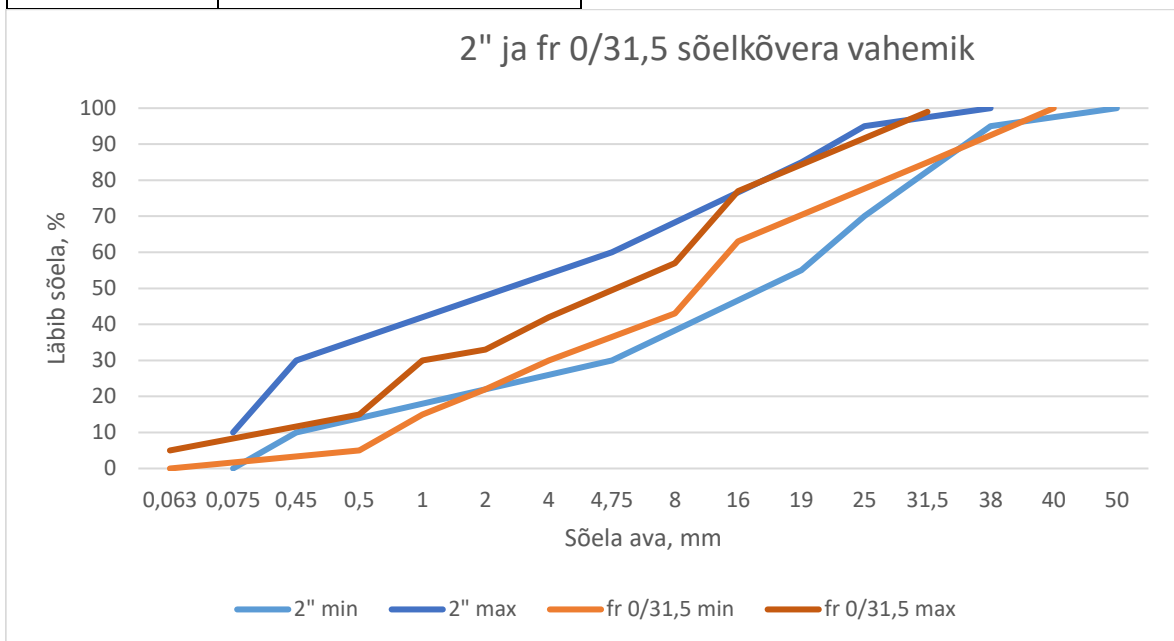
Joonis 2.5 Alternatiivne materjal P-208 2" maxile

Materjal "P-209 Crushed Aggregate Base Course" - See on aluse materjal, mis koosneb purustatud killustikust ja mis on laotatud ettevalmistatud kihile kooskõlas etteantud spetsifikatsioonidega. Purustatud killustik koosneb puhtast, tervest, vastupidavatest kivi või kruusa osakestest. Materjal peab olema vaba savist, mudast, orgaanilisest materjalist ja muust ebasobivast materjalist [6].

Sõelkõvera vahemik on järgmine:

Tabel 2.9 Materjali P-209 sõelkõvera nõuded

Sõela suurus	Läbinud sõela protsent
	2" max
50 mm	100
37,5 mm	95-100
25,0 mm	70-95
19,0 mm	50-80
4,75 mm	30-60
425 µm	10-30
75 µm	0-10



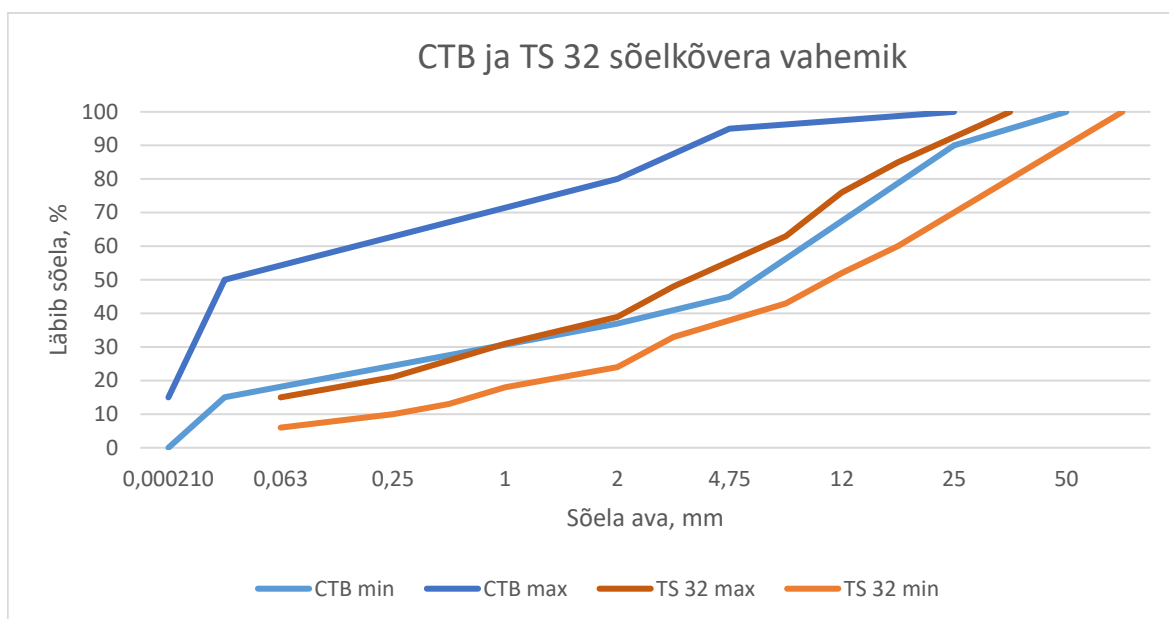
Joonis 2.6 Alternatiivne materjal P-209 2"maxile

### 2.1.4 Stabiliseeritud alus

Materjal "P-304 Cement-Trated Base Course" - See on tsementstabiliseeritud alus, mis koosneb mineraalsest killustikust ja tsemendist, mis on ühtlaselt segatud veega. Segatud materjal laotatakse ja vormitakse mehaanilise laoturiga ja tihendatakse teerullidega, vastavuses projekteeritud spetsifikatsioonide, joonte, kallete, parameetrite ja ristlõigetega [6]. Palju on viiteid ASTM'idele. Killustiku sõelkõvera nõuded on eraldi välja toodud. Võrdluseks on töö autor toonud stabiliseeritud katendikihtide ehitamise juhiseist TS32 sõelkõvera [10].

Tabel 2.9 Materjali P-304 täitematerjali sõelkõvera nõuded

Sõela ava	Läbinud sõela protsent massist
50mm	100
25,0mm	90-100
4,75mm	45-95
2,00mm	37-80
425 µm	15-50
75 µm	0-15



Joonis 2.7 Alternatiivne materjal P-304-le

Erinevus on tingitud Eestis kasutatavast poorsest segust. Käesoleval ajal vaadatakse üle külmstabiliseerimise juhendeid. Võib eeldada põhimõttelist muutust väiksema poorsusega segu suunas.

## 2.2 Tallinna lennujaama lähteandmed

Käesoleva töö kirjutamise ajal korraldas juhendaja Ain Kendra kohtumise Tallinna lennujaama taristu arenduse ja halduse valdkonna juhi Tõnu Mühle ja insener Jaanus Vesklaga, mille käigus vahetati informatsiooni ning saadi lähteandmed ACR-PCR arvutuse tegemiseks. Tähtsamateks parameetriteks on liikluskooslus ning selle liiklussagedus, katendi konstruktsioonid ning Dynatesti tulemused. Töötlemata lähteandmed või lähteandmete väljavõtted on leitavad lisadest.

## 2.2.1 Ülevaade

Ülemiste järve kaldal avati 20. septembril 1936. aastal kolmesuunaline betoonist lennurada ning selle sündmuse järgselt sai lennuväljast ametlikult Tallinna Lennujaam [16]. Esialgu olid lennurajad 40 meetrit laiad ning 300 meetrit pikad (järgneval joonisel läänepoolses otsas). Tänapäevane lennurada on ca 3500 meetrit pikk. Esimese ehitusetapi valmides oli lennuväljal 7 ruleerimisrada ning tulevase teise etapi valmides saab olema 9 ruleerimisrada. Järgnev joonis annab ülevaate lennujaamast.



Joonis 2.8 Väljavõte Maa-ameti kaardirakendusest Tallinna Lennujaama alalt Lennuvälja liiklusala jaguneb: perroonid, ruleerimisrajad ning lennurada. Perroonid omakorda jagunevad lühiajaliseks ning pikemaajaliseks peatumiseks. Skeemilt on näha, et ruleerimisted on märgitud tähisega „TWY“ ja lennurada tähisega „RWY“. Konstruktsioonilisest erinevusest tulenevalt on lennurajal 3 erinevalt lõiku ning neid käsitletakse eraldi järgnevas alapeatükis.

## 2.2.2 TLL lennuraja katendikonstruktsioon

Järgnevas tabelis on toodud andmed Tallinna Lennujaama lennuraja katendikonstruktsiooni kohta.

Tabel 2.10 Tallinna Lennujaama lennuraja katendikonstruktsioon

Vahemik, m	Dreenkiht, cm	Alus, cm	Kompleksstabiliseeritud alus, cm	Asfaltbetoon, cm
0-550	-	24	20	13
550-3070	50	30	-	25
3070-3490	85	10	15	13

## 2.2.3 TLL liikluskooslus ja liiklussagedus

Tallinna lennujaam andis töö autorile 2016. aasta detailse liiklussageduse loenduse erinevatele tüüpidele - lennurada, ruleerimisted ning perroonid. Autori eesmärgiks oli

antud kooslust analüüsida ning filtreerida, et seda saaks kasutada FAARFIELD 2.0 arvutusprogrammis.

Kokku läbis RWY 102 erinevat õhusõidukit, millest autoril õnnestus FAARFIELD'is sisestada 50 koos nende aastaste väljumistega. Ülejäänud 52 õhusõidukit, mis jäid sisestamata, on tähistatud punasega. Nendele on välja toodud maksimaalne stardimass ehk MTOW (ingl k *maximum take off weight*), et saada ettekujutus, kui palju antud õhusõiduk katendit koormab. MTOW määramiseks kasutas autor erinevaid õhusõidukite tootjate ja andmebaaside veebilehekülgi [11][12][13][14][15]. Üldiselt võib öelda, et kõige koormavamad ja raskemad lennukid on FAARFIELD'is juba olemas ning antud õhusõidukitega saab adekvaatse hinnangu liikluskoormusele. Programmis on võimalik kasutajal ka õhusõidukeid lisada, kui töö autoril puudub piisav info iga õhusõiduki kohta, et seda teostada. Järgnevas tabelis on kõik õhusõidukid, mis aastal 2016 läbisid lennurada ruleerimistest B kuni ruleerimisteeni F.

Tabel 2.11 Tallinna Lennujaama RWY 2016 a. liikluskooslus

Õhusõiduki tüüp	MTOW (t)	Läbikute arv
A306		6
A30B		2
A310		436
A319		920
A320		2744
A321		1438
A332		4
AN12	61	18
AN26	24	24
AT45	16,7	982
AT72	21,5	100
AT75	21,5	3880
B350		18
B462	42,2	8
B463		2
B733		1480
B734		544
B735		515
B737		26
B738		1840
B742		2
B744		14
B748		2
B752		249
B762		2
B763		2
B772		2
BE20	5,67	22

BE30	1,39	2
BE36	1,542	122
BE40	7,3	107
BE55	2,812	2
BE9L		36
BN2T	3,175	5
C130		6
C140	0,68	2
C150	0,68	387
C152	0,76	1
C160	51	6
C17	265,35	36
C172		545
C208		105
C25A	5,67	22
C295	23,2	4
C510	3,921	36
C550		18
C560		20
C56X	9,163	40
C680	13,608	12
CDUS		88
CL30	17,622	24
CL60	19,55	64
CRJ2		124
CRJ9		5664
CRJX		4
D228	6,4	6
DA42	1,65	24
DC3		6
DH8D		2096
E135		130
E145		104
E170		5703
E190		42
EN48		0
EV97	0,4725	92
F2TH		34
F900		16
FA7X	31,298	35
G150	11,839	28
GL5T	41,136	16
GLEX	44,5	12
GLF4		20
GLF5		26
H25B		58
IL62		4
JS31	6,95	1077
JS32	7,36	1178
K35R	146,285	10
L39	5,7	33
L410	6,4	620

LJ31	7,03	170
LJ35		24
LJ40	9,545	18
LJ45		38
LJ55		6
LJ60	10,659	688
MCR4	0,64	146
MD82		34
NH90	10,6	6
P28A	1,1	87
P28R		79
P28T	1,32	2
P32R		58
PA31		24
PC12	4,5	64
SB20	21	6
SF34		502
SR22	1,542	62
SU95	45,88	6
T134		4
TAMP	1,06	52
TBM7	3	15
<b>Kokku</b>		<b>36225</b>

Tabelist on näha, et aastaga tehti 36 225 läbikut, millest FAARFIELD'iga on kaetud 25 267 ehk 70%.

FAARFIELD võimaldab koostada enda liikluskoosluse faili, mida saab eksperimenteerida erinevate katenditega ning mida saab vajadusel muuta. Muutmist raskendab „Salvesta kui“ käsu puudumine, seega on ainus võimalus olemasolev fail üle salvestada.

## 2.3 RWY 0-550

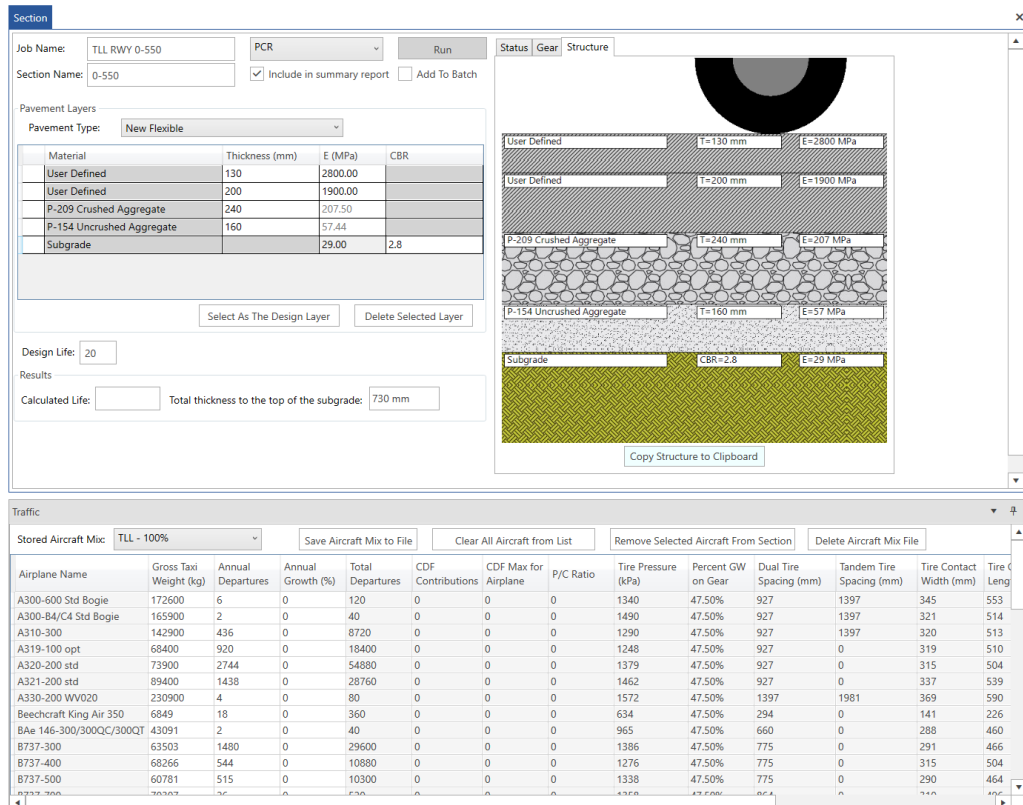
Autori peamiseks eesmärgiks oli läbi teha arvutus lennurajal 08-26 ehk RWY 08-26-I. Kuna antud objektil on kolm erinevat katendi tüüpi, siis sellest tulenevalt oli tarvis teostada kolm erinevat arvutust. Tabelist 2.11 on näha, et katend on jaotatud kolme gruppi:

- 1) 0-550m
- 2) 550m-3070m
- 3) 3070m-3490m



### 2.3.1 Sisend

FAARFIELD 2.0 avades sisestas töö autor esmalt eelnevalt koostatud liikluskoosluse koos vajalike andmetega. Seejärel tuli valida vastav konstruktsioon. Konstruktsiooni koostamisel kasutas autor lisaks lennujaamast saadud katendianndmetele veel 2017. aasta Dynatesti tulemusi (vt. Lisa 2). Dynatesti aruandest kasutati aluspinnase elastsusmoodulina kõige väiksemat väärtust, et arvestada kõige äärmuslikuma situatsiooniga (29 MPa). Dreenkiht ja killustikalus jäeti vastavalt FAARFIELD'is pakutavale. Töö autor otsustas kompleksstabiliseeritud katendikihi ja asfaltbetooni kihi ise määrata, kuna FAARFIELD'is pakutavate materjalide elastsusmoodulid polnud sarnased Dynatesti aruandest saadud tulemustega. Kompleksstabiliseeritud kihti polnud üldse valikusi ning teiste alternatiivsete materjalide elastsusmoodul oli kas liiga kõrge või liiga madal. Autor otsustas valida kompleksstabiliseeritud katendikihi jaoks Dynatestist kõige väiksema E2 väärtuse, milleks osutus 1900 MPa. Asfaltbetooni puhul jäi FAARFIELD'is vaikumisi pakutav elastsusmoodul väikeseks. Seetõttu asendati pakutav 1400MPa kõige väiksema Dynatestist saadud tulemusega – 2800MPa. Järgnev joonis annab ülevaate töö autori poolt sisestatud andmetest.



Joonis 2.9 RWY 0-550 sisend

## 2.3.2 Tulemus

Järgnevad joonised annavad ülevaate FAARFIELD'i väljastatud aruandest, mis sisaldab raportit ning PCR graafikut. Lähteandmete ülevaadet, CDF graafikut ning vormi 5010 vt. Lisa 2.3.2.

**Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 PCR Report**  
 FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

**Job Name: TLL RWY 0-550**

Section: 0-550

This file name = PCR Results for Flexible 2021-03-14 13:39:45.txt

Evaluation pavement type is flexible and design program is FAARFIELD.

Section name: 0-550 in job file: TLL RWY 0-550.JOB.xml

Units = Metric

Analysis Type: New Flexible

Subgrade Modulus =29,00MPa (Subgrade Category is D(50 MPa))

Evaluation Pavement Thickness = 730 mm

Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1,00

Maximum number of wheels per gear = 6

CDF = 16,040

At least one aircraft has 4 or more wheels per gear.

**Results Table 1. Input Traffic Data**

No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight	Tire Pressure MPa	Annual Departure	20 Years Coverage
1	A300-600 Std Bogie	172600	95,00	1340,0	6	97
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	94,00	1490,0	2	32
3	A310-300	142900	94,40	1290,0	436	6964
4	A319-100 opt	68400	91,40	1248,0	920	14670
5	A320-200 std	73900	93,80	1379,0	2744	43759
6	A321-200 std	89400	95,00	1461,7	1438	23087
7	A330-200 WV020	230900	94,80	1572,0	4	59
8	Beechcraft King Air 350	6849	95,00	634,3	18	197
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	94,20	965,3	2	29
10	B737-300	63503	90,86	1385,8	1480	22220
11	B737-400	68266	93,82	1275,5	544	8247
12	B737-500	60781	92,24	1337,6	515	7735
13	B737-700	70307	91,70	1358,3	26	405
14	B737-800	79242	93,56	1406,5	1840	28808
15	B747-200/300	379203	45,48	1310,0	2	33
16	B747-200/300 Belly	379203	45,48	1310,0	2	33
17	B747-400	397801	46,66	1379,0	14	233
18	B747-400 Belly	397801	46,66	1379,0	14	232

Joonis 2.10 0-550 PCR raport lehekülg 1

No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight	Tire Pressure MPa	Annual Departure	20 Years Coverage
19	B747-8	449056	47,35	1523,7	2	32
20	B747-8 Belly	449056	47,35	1523,7	2	32
21	B757-200	116100	91,18	1261,7	249	3844
22	B767-200 ER	179623	90,82	1310,0	2	33
23	B767-300 ER	175994	92,40	1310,0	2	33
24	B777-200	248120	95,42	1254,8	2	29
25	Beechcraft King Air C90	4404	95,00	399,9	36	325
26	C-130	70307	95,00	723,9	6	65
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	95,00	344,7	545	4644
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	95,00	517,1	105	920
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	95,00	896,3	18	158
30	Cessna Citation V	7484	95,00	896,3	20	175
31	CRJ100/200	21636	93,00	1103,2	124	1531
32	CRJ900	38555	95,00	1117,0	5664	79414
33	CRJ1000	41867	95,00	1330,7	4	56
34	DC3	11431	93,60	310,3	6	63
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	93,00	1565,1	2096	26669
36	ERJ-135	19100	95,00	923,9	130	1638
37	ERJ-145 ER	20700	95,00	999,7	104	1310
38	EMB-170 STD	36150	95,00	868,7	5703	83512
39	EMB-190 STD	47950	95,00	1013,5	42	652
40	Dassault Falcon 2000	15876	95,00	1358,3	34	389
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	95,00	999,7	16	189
42	Gulfstream-G-IV	34019	95,00	1275,5	20	247
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	95,00	1296,2	26	335
44	Hawker-800/800XP	12755	95,00	930,8	58	662
45	IL-62	162600	94,00	1082,5	4	62
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	95,00	1179,0	42	460
47	Learjet 45/55B	9752	95,00	1385,8	732	8028
48	MD-83	73016	94,76	1344,5	34	507
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	95,00	344,7	166	1367
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	95,00	262,0	58	498
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	95,00	455,1	24	207
52	Saab 340B	13154	95,00	379,2	502	6196
53	TU-134A	49000	91,20	830,0	4	54

Results Table 2. ACR Value

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft	ACR Thick at max. MGW (mm)	PCR//F/D
1	B747-400	357	235	664,64	350,3

Results Table 3. Flexible ACR at Indicated Gross Weight and Strength

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft	ACR Thick at max. MGW (mm)	PCR//F/D

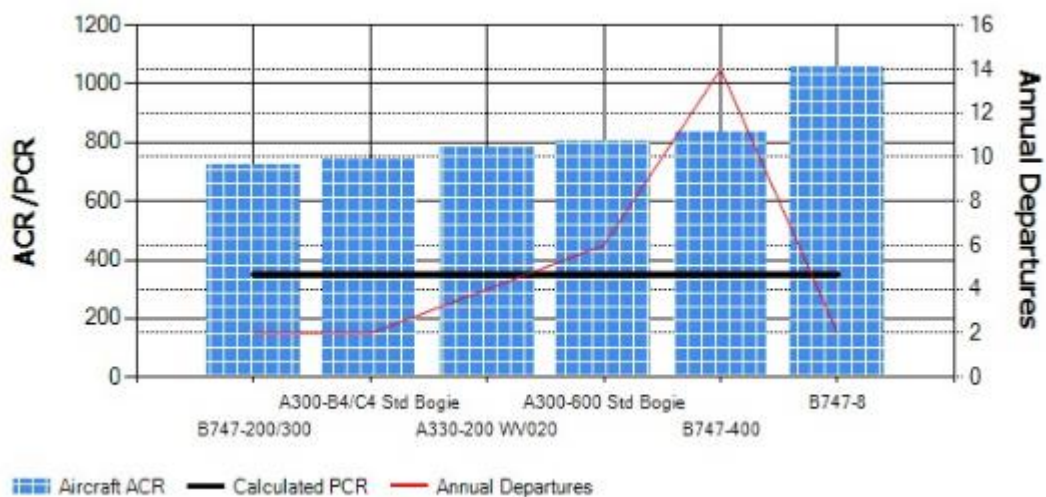
Joonis 2.11 0-550 PCR raport lehekülg 2

No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure MPa	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
1	A300-600 Std Bogie	172600	95,00	1340,0	939,8	803,2
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	94,00	1490,0	906,78	738,3
3	A310-300	142900	94,40	1290,0	817,88	566,9
4	A319-100 opt	68400	91,40	1248,0	703,58	387,8
5	A320-200 std	73900	93,80	1379,0	744,22	444
6	A321-200 std	89400	95,00	1461,7	828,04	584,3
7	A330-200 WV020	230900	94,80	1572,0	929,64	784
8	Beechcraft King Air 350	6849	95,00	634,3	241,3	40,6
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	94,20	965,3	599,44	268,4
10	B737-300	63503	90,86	1385,8	703,58	388,7
11	B737-400	68266	93,82	1275,5	746,76	446,8
12	B737-500	60781	92,24	1337,6	693,42	373,7
13	B737-700	70307	91,70	1358,3	728,98	421,2
14	B737-800	79242	93,56	1406,5	784,86	507,1
15	B747-200/300	379203	90,96	1310,0	899,16	723,9
17	B747-400	397801	93,32	1379,0	955,04	832,4
19	B747-8	449056	94,70	1523,7	1056,64	1057,7
21	B757-200	116100	91,18	1261,7	741,68	447,6
22	B767-200 ER	179623	90,82	1310,0	871,22	664
23	B767-300 ER	175994	92,40	1310,0	868,68	660,3
24	B777-200	248120	95,42	1254,8	863,6	653,4
25	Beechcraft King Air C90	4404	95,00	399,9	220,98	35,4
26	C-130	70307	95,00	723,9	665,48	340,3
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	95,00	344,7	116,84	9,4
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	95,00	517,1	215,9	33,7
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	95,00	896,3	307,34	62,1
30	Cessna Citation V	7484	95,00	896,3	325,12	68,3
31	CRJ100/200	21636	93	1103,2	472,44	141,9
32	CRJ900	38555	95	1117,0	576,58	245,4
33	CRJ1000	41867	95	1330,7	607,06	276,1
34	DC3	11431	93,60	310,3	360,68	82,5
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	93	1565,1	535,94	199,3
36	ERJ-135	19100	95,00	923,9	431,8	117,4
37	ERJ-145 ER	20700	95,00	999,7	459,74	131,9
38	EMB-170 STD	36150	95,00	868,7	538,48	203,1
39	EMB-190 STD	47950	95,00	1013,5	596,9	266,1
40	Dassault Falcon 2000	15876	95,00	1358,3	429,26	115,7
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	95,00	999,7	492,76	159,2
42	Gulfstream-G-IV	34019	95,00	1275,5	607,06	277,6
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	95,00	1296,2	652,78	326
44	Hawker-800/800XP	12755	95,00	930,8	373,38	88,3
45	IL-62	162600	94,00	1082,5	896,62	715,5
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	95,00	1179,0	279,4	52,1
47	Learjet 45/55B	9752	95,00	1385,8	322,58	67,5
48	MD-83	73016	94,76	1344,5	797,56	529,6
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	95,00	344,7	116,84	9,2
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	95,00	262,0	116,84	11,7
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	95,00	455,1	172,72	24,5

Joonis 2.12 0-550 PCR raport lehekülj 3

No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure MPa	ACR Thick (mm) (D)	ACR//F/D
52	Saab 340B	13154	95,00	379,2	355,6	80,6
53	TU-134A	49000	91,20	830,0	477,52	159,5

Joonis 2.13 0-550 PCR raport lehekülj 4



Joonis 2.14 0-550 PCR graafik

### 2.3.3 Analüüs

Antud katendi väärtuseks andis FAARFIELD 350/F/D/X/T. Esimene indikaator programmi kasutajale on ACR ja PCR väärtuste võrdlemine. Antud andmetega saadi PCR väärtuseks 350 ja maksimaalseks ACR väärtuseks 1057, mille põhjal võiks öelda, et antud katendi eluiga on väiksem kui 20 aastat. Töö autor proovis minna veel sügavamale ning jälgida soovituslikku süsteemi, mis on välja toodud pt 2.3.1, kuid tulemus on kaheldav.

Soovitusliku süsteemi eesmärk on võtta arvesse olukordi, kus on suure liiklusedusega väike/keskmaa õhusõidukid (näiteks B737) ja väikese liiklusedusega pikamaa õhusõidukid (näiteks B777). Ilma selle sammuta võib tekkida olukord, kus väiksemaid õhusõidukeid identifitseeritakse kui kriitilisi

õhusõidukeid, tulemusega, et PCR vajaks põhjendamatut operatsioonide piiranguid suurematele õhusõidukitele. Kui algne kriitiline õhusõiduk on samuti maksimaalne ACR töömassist õhusõidukite nimekirjast, siis on protseduur valmis ühe iteratsiooniga, ilma järgnevate piiranguteta õhusõidukitele.

Idee seisneb selles, et leida suurim PCR väärtus arvestades kriitilise õhusõiduki piiranguid, ehk teisendada kriitiline õhusõiduk vastavaks kogu liikluskooslusele. Seeläbi saab välistada väike/keskmaa õhusõidukid, mis reaalsuses ei ole kriitilised, ning otsida üles sõidukid, mis suurema tõenäosusega katendit lõhuvad. Põhimõtteliselt on võimalik igat õhusõidukit taandada kogu liiklussagedusele võrdseks kasutades kogu liiklussagedusega saadud andmeid kumulatiivse kahjustusteguri kohta.

Esmalt tuleb valida kõige suurema CDF panusega õhusõiduk kriitiliseks õhusõidukiks ning see taandada liikluskooslusele võrdseks õhusõidukiks. Seeläbi arvatud ACR peaks olema uus PCR väärtus. Juhul, kui antud kriitilise õhusõiduki ACR väärtus pole maksimaalne ACR väärtus, tuleb see kriitiline õhusõiduk liikluskooslusest eemaldada ning arvutada uuesti PCR väärtus ning seeläbi valida uus kriitiline õhusõiduk. Antud süsteemi jätkates peaks jõudma kriitilise õhusõidukini, mille ACR on maksimaalne ACR esialgsest liikluskooslusest. Ehk antud olukorras tuleb leida liikluskooslus, kus on maksimaalse ACR väärtusega õhusõiduk, samaaegselt mittesobilikud kriitilised õhusõidukid eemaldatud. Teisisõnu leida liikluskooslus, mis näitab suurimat CDF panust kõige suurema ACR väärtusega õhusõiduki poolt. Antud olukorras on suurima ACR väärtusega õhusõiduk B747-800, mis on ka ilmselge, arvestades selle massi.

Siinkohal on mõningad takistused. Kriitiliste õhusõidukite välistamisel jõudis töö autor olukorda, kus jõudis seitsmenda kriitilise õhusõidukini BAe 146-300. Ilmselge, et ainult 43 tonni kaaluv lennuk kahe aastase väljumisega pole kriitiline lennuk, kuid sellegipoolest on see vaja läbi arvutada. Kalkulatsiooni takistuseks osutus CDF panuse saamine võimalike aastaste väljumiste korral. Kasutades FAARFIELD'is maksimaalset aastaste väljumiste arvu, ei andnud õhusõiduk enda massi tõttu CDF panust. Lisaks võib antud protseduur kujuneda küllaltki tüütuks niivõrd erinevate õhusõidukite arvesse võtmisel. Ilmselt oleks mõttekam kasutada n-õ referentslennukite kogu, kus saaks jaotada lennukid vastavalt tüübile.

Töö autor otsustas koheselt proovida maksimaalse ACR väärtusega õhusõiduki määramist kriitiliseks õhusõidukiks ning taandas selle esialgsele liikluskooslusele. Kuna esialgse raporti CDF max väärtuseks osutus 4,22, siis autor muutis aastaseid väljumisi, et saavutada CDF max 4,22. Seejärel tuli muuta lubatud massi niivõrd, et tulemuseks oleks CDF 1.0. Järgnev joonis illustreerib B747-800 taandamist liikluskooslusele.

Section

Job Name: TLL RWY 0-550    PCR    Run    Status Gear Structure

Section Name: 0-550     Include in summary report     Add To Batch

Pavement Layers

Pavement Type: New Flexible

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
User Defined	130	2800.00	
User Defined	200	1900.00	
P-209 Crushed Aggregate	240	207.50	
P-154 Uncrushed Aggregate	160	57.44	
Subgrade		29.00	2.8

Design Life: 20

Results

Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 730 mm

PCR Calculation Completed  
Run Time: 2 seconds  
PCR = 743/F/D/X/T

Traffic

Stored Aircraft Mix: TLL - 100%    Save Aircraft Mix to File    Clear All Aircraft from List    Remove Selected Aircraft From Section    Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm <sup>2</sup> )	ACR Thick (mm) (D)	ACR/FF/D
B747-8	375000	6	0	120	1.03	1.03	1.26	1524	47.35%	1189	1435	337	538	142303	912	748.6
B747-8 Belly	375000	6	0	120	0	1.03	1.27	1524	47.35%	1189	1435	337	538	142303	0	0

## Joonis 2.15 B747-800 teisendamine liikluskooslusele võrdseks

Arvestades eelnevaid takistusi pole kindlasti tegemist ideaalse tulemusega, kuid oluliselt adekvaatsema tulemusega, kui PCR 350. Seda protseduuri jälgides peaks olema katendi PCR väärtuseks 743. B747-800 aastaste väljumiste ja massipiirang vastavalt joonisele toodud andmetele. Täismass vähenes ca 75 tonni. Standardist ei järeldu, kuid võiks eeldada, et aastaste väljumiste ning massipiirang tuleks määrata kõikidele õhusõidukitele, mille ACR on vähemalt 10% suurem kui PCR väärtus. Uueks katendi väärtuseks on 743/F/D/X/T, kus F tähistab elastset katendit, D tähistab väga nõrka aluspinnase kategooriat, X tähistab kõrget rehvirõhu limiiti ning T tähistab tehnilist arvutus meetodit.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et lennuraja esimesed 550 m on nõrgemapoolsema konstruktsiooniga, mille peamiseks põhjuseks on nõrk aluspinnas. Iseasi on filtreerida liikluskooslust ning selle käitumist antud katendil – kas kõik õhusõidukid tõusevad õhku, läbides ruleerimistee B poolset osa või saavad nad õhkutõusmist alustada ruleerimistee G poolsest otsast? Stardi ja maandumise suund sõltub paljuski tuule suunast, kuid teiseks oluliseks teguriks on raja kasutuse ulatus – lennuk ei pruugi stardirada täies pikkuses kasutada ning maandudes võib varem ruleerimisrajale ära pöörata.

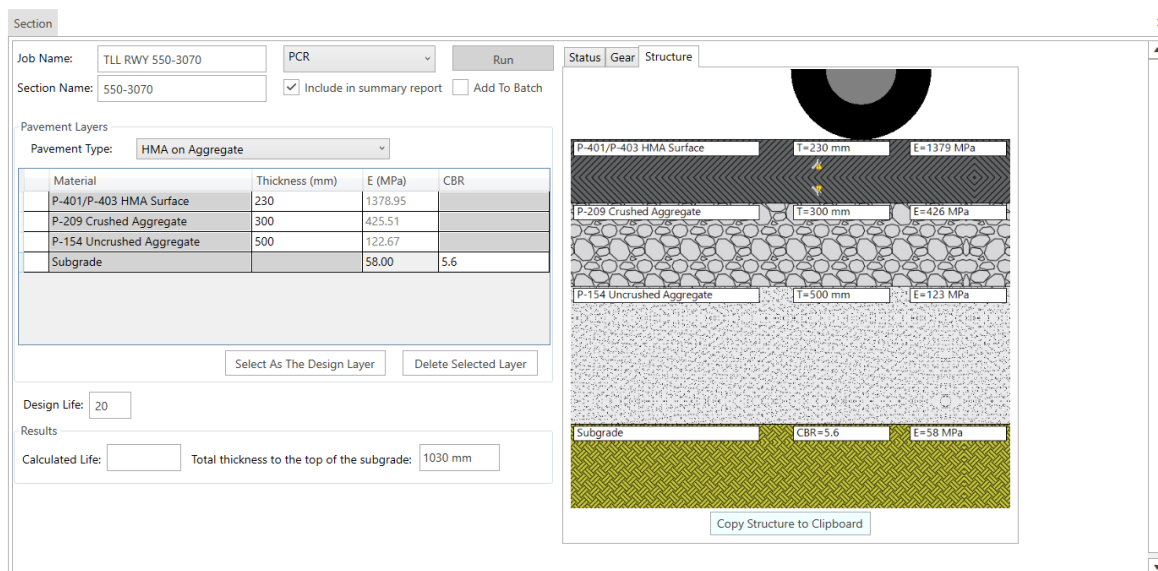
## 2.4 RWY 550-3070

### 2.4.1 Sisend

Nagu ka eelnevas lõigus sisestas töö autor esmalt eelnevalt koostatud liikluskoosluse vajalike andmetega. Valiti vastav konstruktsioon tabelile 2.11. Dynatesti aruandest (vt.



Lisa 2) kasutati aluspinnase elastsusmoodulina kõige väiksemat väärtust, et arvestada kõige äärmuslikuma situatsiooniga (58 MPa). Ülejäänud kihtide elastsusmoodulid jäeti FAARFIELD'is pakutavate väärtustega. Järgnev joonis annab ülevaate autori sisestatud andmetest.



Traffic

Stored Aircraft Mix: TLL - 100%

Save Aircraft Mix to File | Clear All Aircraft from List | Remove Selected Aircraft From Section | Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Leng
A300-600 Std Bogie	172600	6	0	120	0	0	0	1340	47.50%	927	1397	345	553
A300-B4/C4 Std Bogie	165900	2	0	40	0	0	0	1490	47.50%	927	1397	321	514
A310-300	142900	436	0	8720	0	0	0	1290	47.50%	927	1397	320	513
A319-100 opt	68400	920	0	18400	0	0	0	1248	47.50%	927	0	319	510
A320-200 std	73900	2744	0	54880	0	0	0	1379	47.50%	927	0	315	504
A321-200 std	89400	1438	0	28760	0	0	0	1462	47.50%	927	0	337	539
A330-200 WV020	230900	4	0	80	0	0	0	1572	47.50%	1397	1981	369	590
Beechcraft King Air 350	6849	18	0	360	0	0	0	634	47.50%	294	0	141	226
BAe 146-300/300QC/300QT	43091	2	0	40	0	0	0	965	47.50%	660	0	288	460
B737-300	63503	1480	0	29600	0	0	0	1386	47.50%	775	0	291	466
B737-400	68266	544	0	10880	0	0	0	1276	47.50%	775	0	315	504
B737-500	60281	515	0	10300	0	0	0	1338	47.50%	775	0	291	466

Joonis 2.16 RWY 3070-3490 sisend

## 2.4.2 Tulemus

Järgnevad joonised annavad ülevaate FAARFIELD'i väljastatud aruandest, mis sisaldab raportit ning PCR graafikut. Lähteandmete ülevaadet, CDF graafikut ning vormi 5010 vt. Lisa 2.4.2.



## Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 PCR Report

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

**Job Name: TLL RWY 550-3070**

Section: 550-3070

This file name = PCR Results for Flexible 2021-03-14 13:15:58.txt

Evaluation pavement type is flexible and design program is FAARFIELD.

Section name: 550-3070 in job file: TLL RWY 550-3070.JOB.xml

Units = Metric

Analysis Type: HMA on Aggregate

Subgrade Modulus =58,00MPa (Subgrade Category is D(50 MPa))

Evaluation Pavement Thickness = 1030 mm

Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1,00

Maximum number of wheels per gear = 6

CDF = 0,020

At least one aircraft has 4 or more wheels per gear.

**Results Table 1. Input Traffic Data**

No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight	Tire Pressure MPa	Annual Departure	20 Years Coverage
1	A300-600 Std Bogie	172600	95,00	1340,0	6	104
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	94,00	1490,0	2	34
3	A310-300	142900	94,40	1290,0	436	7490
4	A319-100 opt	68400	91,40	1248,0	920	15785
5	A320-200 std	73900	93,80	1379,0	2744	47082
6	A321-200 std	89400	95,00	1461,7	1438	24792
7	A330-200 WV020	230900	94,80	1572,0	4	74
8	Beechcraft King Air 350	6849	95,00	634,3	18	236
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	94,20	965,3	2	32
10	B737-300	63503	90,86	1385,8	1480	24314
11	B737-400	68266	93,82	1275,5	544	9000
12	B737-500	60781	92,24	1337,6	515	8463
13	B737-700	70307	91,70	1358,3	26	439
14	B737-800	79242	93,56	1406,5	1840	31153
15	B747-200/300	379203	45,48	1310,0	2	36
16	B747-200/300 Belly	379203	45,48	1310,0	2	36
17	B747-400	397801	46,66	1379,0	14	250
18	B747-400 Belly	397801	46,66	1379,0	14	250

Joonis 2.17 550-3070 PCR raport lehekülg 1

No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight	Tire Pressure MPa	Annual Departure	20 Years Coverage
19	B747-8	449056	47,35	1523,7	2	36
20	B747-8 Belly	449056	47,35	1523,7	2	36
21	B757-200	116100	91,18	1261,7	249	4172
22	B767-200 ER	179623	90,82	1310,0	2	36
23	B767-300 ER	175994	92,40	1310,0	2	36
24	B777-200	248120	95,42	1254,8	2	37
25	Beechcraft King Air C90	4404	95,00	399,9	36	411
26	C-130	70307	95,00	723,9	6	78
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	95,00	344,7	545	6112
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	95,00	517,1	105	1178
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	95,00	896,3	18	202
30	Cessna Citation V	7484	95,00	896,3	20	224
31	CRJ100/200	21636	93,00	1103,2	124	1770
32	CRJ900	38555	95,00	1117,0	5664	88624
33	CRJ1000	41867	95,00	1330,7	4	62
34	DC3	11431	93,60	310,3	6	76
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	93,00	1565,1	2096	30568
36	ERJ-135	19100	95,00	923,9	130	1883
37	ERJ-145 ER	20700	95,00	999,7	104	1507
38	EMB-170 STD	36150	95,00	868,7	5703	92037
39	EMB-190 STD	47950	95,00	1013,5	42	707
40	Dassault Falcon 2000	15876	95,00	1358,3	34	460
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	95,00	999,7	16	221
42	Gulfstream-G-IV	34019	95,00	1275,5	20	286
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	95,00	1296,2	26	383
44	Hawker-800/800XP	12755	95,00	930,8	58	786
45	IL-62	162600	94,00	1082,5	4	68
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	95,00	1179,0	42	555
47	Learjet 45/55B	9752	95,00	1385,8	732	9680
48	MD-83	73016	94,76	1344,5	34	556
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	95,00	344,7	166	1785
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	95,00	262,0	58	641
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	95,00	455,1	24	267
52	Saab 340B	13154	95,00	379,2	502	7165
53	TU-134A	49000	91,20	830,0	4	61

Results Table 2. ACR Value

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft	ACR Thick at max. MGW (mm)	PCR/F/D
1	B747-400	34	560	1268,31	1643,2

Results Table 3. Flexible ACR at Indicated Gross Weight and Strength

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft	ACR Thick at max. MGW (mm)	PCR/F/D

Joonis 2.18 550-3070 PCR raport lehekülg 2

No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure MPa	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
1	A300-600 Std Bogie	172600	95,00	1340,0	939,8	803,2
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	94,00	1490,0	906,78	738,3
3	A310-300	142900	94,40	1290,0	817,88	566,9
4	A319-100 opt	68400	91,40	1248,0	703,58	387,8
5	A320-200 std	73900	93,80	1379,0	744,22	444
6	A321-200 std	89400	95,00	1461,7	828,04	584,3
7	A330-200 WV020	230900	94,80	1572,0	929,64	784
8	Beechcraft King Air 350	6849	95,00	634,3	241,3	40,6
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	94,20	965,3	599,44	268,4
10	B737-300	63503	90,86	1385,8	703,58	388,7
11	B737-400	68266	93,82	1275,5	746,76	446,8
12	B737-500	60781	92,24	1337,6	693,42	373,7
13	B737-700	70307	91,70	1358,3	728,98	421,2
14	B737-800	79242	93,56	1406,5	784,86	507,1
15	B747-200/300	379203	90,96	1310,0	899,16	723,9
17	B747-400	397801	93,32	1379,0	955,04	832,4
19	B747-8	449056	94,70	1523,7	1056,64	1057,7
21	B757-200	116100	91,18	1261,7	741,68	447,6
22	B767-200 ER	179623	90,82	1310,0	871,22	664
23	B767-300 ER	175994	92,40	1310,0	868,68	660,3
24	B777-200	248120	95,42	1254,8	863,6	653,4
25	Beechcraft King Air C90	4404	95,00	399,9	220,98	35,4
26	C-130	70307	95,00	723,9	665,48	340,3
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	95,00	344,7	116,84	9,4
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	95,00	517,1	215,9	33,7
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	95,00	896,3	307,34	62,1
30	Cessna Citation V	7484	95,00	896,3	325,12	68,3
31	CRJ100/200	21636	93	1103,2	472,44	141,9
32	CRJ900	38555	95	1117,0	576,58	245,4
33	CRJ1000	41867	95	1330,7	607,06	276,1
34	DC3	11431	93,60	310,3	360,68	82,5
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	93	1565,1	535,94	199,3
36	ERJ-135	19100	95,00	923,9	431,8	117,4
37	ERJ-145 ER	20700	95,00	999,7	459,74	131,9
38	EMB-170 STD	36150	95,00	868,7	538,48	203,1
39	EMB-190 STD	47950	95,00	1013,5	596,9	266,1
40	Dassault Falcon 2000	15876	95,00	1358,3	429,26	115,7
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	95,00	999,7	492,76	159,2
42	Gulfstream-G-IV	34019	95,00	1275,5	607,06	277,6
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	95,00	1296,2	652,78	326
44	Hawker-800/800XP	12755	95,00	930,8	373,38	88,3
45	IL-62	162600	94,00	1082,5	896,62	715,5
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	95,00	1179,0	279,4	52,1
47	Learjet 45/55B	9752	95,00	1385,8	322,58	67,5
48	MD-83	73016	94,76	1344,5	797,56	529,6
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	95,00	344,7	116,84	9,2
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	95,00	262,0	116,84	11,7
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	95,00	455,1	172,72	24,5

Joonis 2.19 550-3070 PCR raport lehekülj 3

No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure MPa	ACR Thick (mm) (D)	ACR//F/D
52	Saab 340B	13154	95,00	379,2	355,6	80,6
53	TU-134A	49000	91,20	830,0	477,52	159,5

Joonis 2.20 550-3070 PCR raport lehekülj 4



Joonis 2.21 550-3070 PCR graafik

### 2.4.3 Analüüs

Katendi PCR väärtuseks saadi 1643/F/D/X/T ning suurimaks ACR väärtuseks 1057. Heaks indikaatoriks on ka CDF väärtus 0,02, mis tähendab, et katend on väga tugev ning arvutatud CDF on ebaoluline. PCR standardi eelnõust leiab näite, kus PCR arv on oluliselt suurem kui ACR. Eeskirja järgi on selle arvu avaldamine aktsepteeritav, kuid sellel poleks praktilist tähendust, kuna ükski õhusõiduk sellise numbrini ei küündi. Konservatiivsem alternatiiv oleks kasutada PCR väärtusena 125%-st tulemust suurimast ACR väärtusest. Sellisel juhul oleks korrigeeritud PCR väärtus 1320/F/D/X/T, kus F tähistab elastset katendit, D tähistab väga nõrka aluspinnase kategooriat, X tähistab kõrget rehvirõhu limiiti ning T tähistab tehnilist arvutusmeetodit.

## 2.5 RWY 3070-3490

### 2.5.1 Sisend

Nagu ka eelnevates peatükkides muudab töö autor aluspinnase elastsusmooduli Dynatesti vähimaks väärtuseks antud lõigul (vaata Lisa 2). Kuna tegemist oli jälle kompleksstabiliseerimisega, siis otsustas töö autor selle kihi taas ise defineerida. Ülejäänud katendikihid jäeti vastavalt FAARFIELD'is pakutavatele. Liikluskooslus ja sagedus jäetakse samaks nagu oli eelnevates arvutustes. Järgnev pilt annab ülevaate töö autori sisestatud andmetest.

Section
✕

Job Name: TLL RWY 3070-3490 PCR Run

Section Name: 3070-3490  Include in summary report  Add To Batch

Status Gear Structure

Pavement Layers

Pavement Type: New Flexible

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
P-401/P-403 HMA Surface	130	1378.95	
User Defined	150	1900.00	
P-209 Crushed Aggregate	152	383.38	
P-154 Uncrushed Aggregate	800	122.64	
Subgrade		39.00	3.8

Select As The Design Layer
Delete Selected Layer

Design Life: 20

Results

Calculated Life:  Total thickness to the top of the subgrade: 1232 mm

P-401/P-403 HMA Surface T=130 mm E=1379 MPa
User Defined T=150 mm E=1900 MPa
P-209 Crushed Aggregate T=152 mm E=383 MPa
P-154 Uncrushed Aggregate T=800 mm E=123 MPa
Subgrade CBR=3.8 E=39 MPa

Copy Structure to Clipboard

Traffic

Stored Aircraft Mix: TLL - 100% Save Aircraft Mix to File Clear All Aircraft from List Remove Selected Aircraft from Section Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)
A300-600 Std Bogie	172600	6	0	120	0	0	0	1340	47.50%	927	1397	345	553
A300-B4/C4 Std Bogie	165900	2	0	40	0	0	0	1490	47.50%	927	1397	321	514
A310-300	142900	436	0	8720	0	0	0	1290	47.50%	927	1397	320	513
A319-100 opt	68400	920	0	18400	0	0	0	1248	47.50%	927	0	319	510
A320-200 std	73900	2744	0	54880	0	0	0	1379	47.50%	927	0	315	504
A321-200 std	89400	1438	0	28760	0	0	0	1462	47.50%	927	0	337	539
A330-200 WVQ20	230900	4	0	80	0	0	0	1572	47.50%	1397	1981	369	590
Beechcraft King Air 350	6849	18	0	360	0	0	0	634	47.50%	294	0	141	226
BAe 146-300/300QC/300QT	43091	2	0	40	0	0	0	965	47.50%	660	0	288	460
B737-300	63503	1480	0	29600	0	0	0	1386	47.50%	775	0	291	466
B737-400	68266	544	0	10880	0	0	0	1276	47.50%	775	0	315	504
B737-500	60781	515	0	10300	0	0	0	1338	47.50%	775	0	290	464
B737-700	70307	26	0	520	0	0	0	1358	47.50%	864	0	310	496

Joonis 2.22 3070-3490 sisend

## 2.5.2 Tulemus

Järgnevad joonised annavad ülevaate FAARFIELD'i väljastatud aruandest, mis sisaldab raportit ning PCR graafikut. Lähteandmete ülevaadet, CDF graafikut ning vormi 5010 vt. Lisa 2.5.2.

**Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 PCR Report**  
 FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

**Job Name: TLL RWY 3070-3490**

Section: 3070-3490

This file name = PCR Results for Flexible 2021-03-14 13:28:29.txt

Evaluation pavement type is flexible and design program is FAARFIELD.

Section name: 3070-3490 in job file: TLL RWY 3070-3490.JOB.xml

Units = Metric

Analysis Type: New Flexible

Subgrade Modulus =38,00MPa (Subgrade Category is D(50 MPa))

Evaluation Pavement Thickness = 1232 mm

Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1,00

Maximum number of wheels per gear = 6

CDF = 0,200

At least one aircraft has 4 or more wheels per gear.

**Results Table 1. Input Traffic Data**

No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight	Tire Pressure MPa	Annual Departure	20 Years Coverage
1	A300-600 Std Bogie	172600	95,00	1340,0	6	107
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	94,00	1490,0	2	36
3	A310-300	142900	94,40	1290,0	436	7769
4	A319-100 opt	68400	91,40	1248,0	920	16378
5	A320-200 std	73900	93,80	1379,0	2744	48853
6	A321-200 std	89400	95,00	1461,7	1438	25698
7	A330-200 WV020	230900	94,80	1572,0	4	76
8	Beechcraft King Air 350	6849	95,00	634,3	18	258
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	94,20	965,3	2	34
10	B737-300	63503	90,86	1385,8	1480	25453
11	B737-400	68266	93,82	1275,5	544	9408
12	B737-500	60781	92,24	1337,6	515	8859
13	B737-700	70307	91,70	1358,3	26	457
14	B737-800	79242	93,56	1406,5	1840	32412
15	B747-200/300	379203	45,48	1310,0	2	37
16	B747-200/300 Belly	379203	45,48	1310,0	2	37
17	B747-400	397801	46,66	1379,0	14	257
18	B747-400 Belly	397801	46,66	1379,0	14	257

Joonis 2.23 3070-3490 PCR raport lehekülg 1



No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight	Tire Pressure MPa	Annual Departure	20 Years Coverage
19	B747-8	449056	47,35	1523,7	2	37
20	B747-8 Belly	449056	47,35	1523,7	2	37
21	B757-200	116100	91,18	1261,7	249	4350
22	B767-200 ER	179623	90,82	1310,0	2	37
23	B767-300 ER	175994	92,40	1310,0	2	37
24	B777-200	248120	95,42	1254,8	2	38
25	Beechcraft King Air C90	4404	95,00	399,9	36	463
26	C-130	70307	95,00	723,9	6	85
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	95,00	344,7	545	7025
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	95,00	517,1	105	1332
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	95,00	896,3	18	228
30	Cessna Citation V	7484	95,00	896,3	20	253
31	CRJ100/200	21636	93,00	1103,2	124	1908
32	CRJ900	38555	95,00	1117,0	5664	93725
33	CRJ1000	41867	95,00	1330,7	4	66
34	DC3	11431	93,60	310,3	6	84
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	93,00	1565,1	2096	32776
36	ERJ-135	19100	95,00	923,9	130	2023
37	ERJ-145 ER	20700	95,00	999,7	104	1618
38	EMB-170 STD	36150	95,00	868,7	5703	96706
39	EMB-190 STD	47950	95,00	1013,5	42	736
40	Dassault Falcon 2000	15876	95,00	1358,3	34	500
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	95,00	999,7	16	240
42	Gulfstream-G-IV	34019	95,00	1275,5	20	308
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	95,00	1296,2	26	410
44	Hawker-800/800XP	12755	95,00	930,8	58	859
45	IL-62	162600	94,00	1082,5	4	70
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	95,00	1179,0	42	612
47	Learjet 45/55B	9752	95,00	1385,8	732	10663
48	MD-83	73016	94,76	1344,5	34	583
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	95,00	344,7	166	2037
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	95,00	262,0	58	727
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	95,00	455,1	24	302
52	Saab 340B	13154	95,00	379,2	502	7717
53	TU-134A	49000	91,20	830,0	4	65

Results Table 2. ACR Value

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft	ACR Thick at max. MGW (mm)	PCR/F/D
1	B747-400	44	454	1061,64	1072,4

Results Table 3. Flexible ACR at Indicated Gross Weight and Strength

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft	ACR Thick at max. MGW (mm)	PCR/F/D

Joonis 2.24 3070-3490 PCR raport lehekülg 2

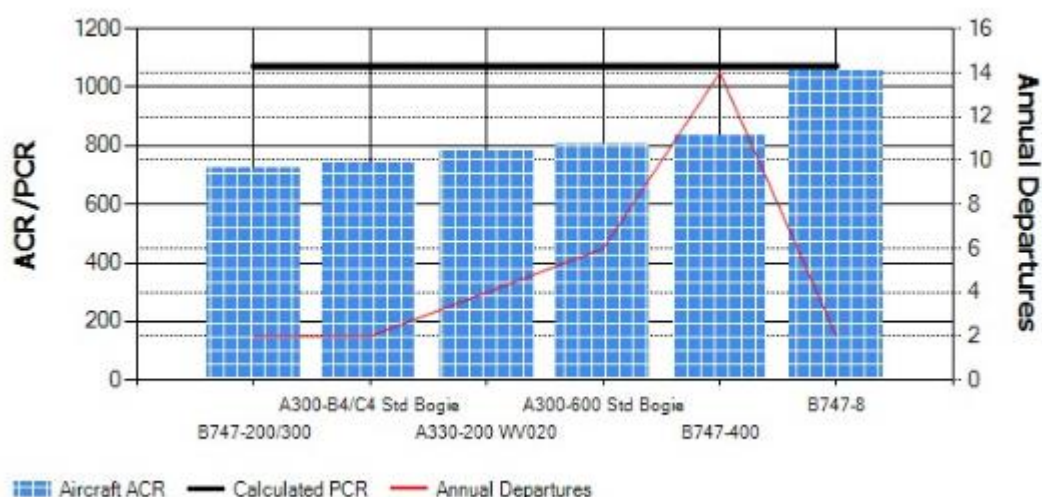
No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure MPa	ACR Thick (mm) (D)	ACR//F/D
1	A300-600 Std Bogie	172600	95,00	1340,0	939,8	803,2
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	94,00	1490,0	906,78	738,3
3	A310-300	142900	94,40	1290,0	817,88	566,9
4	A319-100 opt	68400	91,40	1248,0	703,58	387,8
5	A320-200 std	73900	93,80	1379,0	744,22	444
6	A321-200 std	89400	95,00	1461,7	828,04	584,3
7	A330-200 WW020	230900	94,80	1572,0	929,64	784
8	Beechcraft King Air 350	6849	95,00	634,3	241,3	40,6
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	94,20	965,3	599,44	268,4
10	B737-300	63503	90,86	1385,8	703,58	388,7
11	B737-400	68266	93,82	1275,5	746,76	446,8
12	B737-500	60781	92,24	1337,6	693,42	373,7
13	B737-700	70307	91,70	1358,3	728,98	421,2
14	B737-800	79242	93,56	1406,5	784,86	507,1
15	B747-200/300	379203	90,96	1310,0	899,16	723,9
17	B747-400	397801	93,32	1379,0	955,04	832,4
19	B747-8	449056	94,70	1523,7	1056,64	1057,7
21	B757-200	116100	91,18	1261,7	741,68	447,6
22	B767-200 ER	179623	90,82	1310,0	871,22	664
23	B767-300 ER	175994	92,40	1310,0	868,68	660,3
24	B777-200	248120	95,42	1254,8	863,6	653,4
25	Beechcraft King Air C90	4404	95,00	399,9	220,98	35,4
26	C-130	70307	95,00	723,9	665,48	340,3
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	95,00	344,7	116,84	9,4
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	95,00	517,1	215,9	33,7
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	95,00	896,3	307,34	62,1
30	Cessna Citation V	7484	95,00	896,3	325,12	68,3
31	CRJ100/200	21636	93	1103,2	472,44	141,9
32	CRJ900	38555	95	1117,0	576,58	245,4
33	CRJ1000	41867	95	1330,7	607,06	276,1
34	DC3	11431	93,60	310,3	360,68	82,5
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	93	1565,1	535,94	199,3
36	ERJ-135	19100	95,00	923,9	431,8	117,4
37	ERJ-145 ER	20700	95,00	999,7	459,74	131,9
38	EMB-170 STD	36150	95,00	868,7	538,48	203,1
39	EMB-190 STD	47950	95,00	1013,5	596,9	266,1
40	Dassault Falcon 2000	15876	95,00	1358,3	429,26	115,7
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	95,00	999,7	492,76	159,2
42	Gulfstream-G-IV	34019	95,00	1275,5	607,06	277,6
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	95,00	1296,2	652,78	326
44	Hawker-800/800XP	12755	95,00	930,8	373,38	88,3
45	IL-62	162600	94,00	1082,5	896,62	715,5
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	95,00	1179,0	279,4	52,1
47	Learjet 45/55B	9752	95,00	1385,8	322,58	67,5
48	MD-83	73016	94,76	1344,5	797,56	529,6
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	95,00	344,7	116,84	9,2
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	95,00	262,0	116,84	11,7
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	95,00	455,1	172,72	24,5

Joonis 2.25 3070-3490 PCR raport lehekülj 3



No.	Aircraft Name	Gross Weight kg	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure MPa	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
52	Saab 340B	13154	95,00	379,2	355,6	80,6
53	TU-134A	49000	91,20	830,0	477,52	159,5

Joonis 2.26 3070-3490 PCR raport lehekülg 4



Joonis 2.27 3070-3490 PCR graafik

### 2.5.3 Analüüs

Tulemuseks saadi PCR 1072/F/D/X/T ning maksimaalne ACR 1057. See tähendab, et katend on piisavalt tugev antud liikluskoormuse korral. Selle situatsiooni puhul on ACR väga lähedal PCR arvule, kuid ükski õhusõiduk ei vajaks liikumis- ega massipiirangut. ICAO juhiste järgi on juhuslik ülekoormuste arv õhusõidukitega, mille ACR on kuni 10% suurem, lubatud. See eeldab, et selliste läbikute arv täismassil on limiteeritud 5% peale kogu lennuraja läbikutest. Lisaks tuleks lennurada jälgida pärast kõiki ülekoormust sisaldavaid operatsioone. Kokkuvõtvalt peaks katend olema piisavalt tugev 20 aastaks.

## 2.6 RWY kokkuvõte

Järgnev tabel annab ülevaate FAARFIELD'iga arvatud tulemustest lennurajal.

Tabel 2.12 RWY tulemused FAARFIELD 2.0-ga

<b>Lennurada</b>		
<b>Vahemik</b>	<b>PCR</b>	<b>ACR</b>
0-550	743	1057
550-3070	1643	1057
3070-3490	1072	1057

Tabelist on näha, et lennuraja esimene osa on FAARFIELD'i arvutuse põhjal nõrgemapoolsem. Võimalusel tuleks seda katendi osa mitte koormata suuremate õhusõidukitega, mille ACR on üle 743. Lennuvälja lennurada on 84% ulatuses (550 - 3490 m) piisavalt tugev pidamaks vastu 20 aastat antud liikluskoormusega (FAARFIELD'i põhjal). Siinkohal peab kindlasti märkima ka seda, et 30% läbikutest ei õnnestunud FAARFIELD'i sisestada ning arvutusi tehes märgiti aastaste väljumiste kasvuks 0% aastas. Hoolimata sellest on PCR väärtused varuga ning lubatud on ka suurema ACR väärtusega õhusõidukid.

## 2.7 Perroon K

Töö autoril oli eesmärgiks ka jäiga katendi arvutus läbi teha. Seetõttu osutus viimaseks uuritavaks objektiks perroon K. Lisaks perroon K-le on lennuväljal betoonkatend veel jäätõrjealal, mis asub ruleerimistee G ja A ristis. Perroon K katend on järgnev:

- |                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| 1) Betoon                      | $h = 30 \text{ cm}$  |
| 2) Tsementstabiliseeritud alus | $h = 20 \text{ cm}$  |
| 3) Kildalus                    | $h = 30 \text{ cm}$  |
| 4) Dreenkiht                   | $h = 125 \text{ cm}$ |

Kuna betoonkatendi PCR arvutamine käesoleva tarkvaraga ebaõnnestus, siis otsustas töö autor kasutada „Thickness Design“ funktsiooni, ehk kontrollida betoonkihi paksust vastavale liiklussagedusele. Liiklussageduseks arvestati 4% kogu liiklussagedusest. Liikluskooslus jäi samaks.

### 2.7.1 Sisend

Aluspinnase elastsusmoodulina kasutati Dynatesti tulemustest saadud vähimat väärtust, milleks osutus 106 MPa (vt Lisa 2). Ülejäänud katendi kihtide

elastsusmoodulid jäeti samaks. Järgnev joonis annab ülevaate autori poolt sisestatud andmetest.

Section Report CDF Graph PCR Report PCR Graph Form 5010

Job Name: APRON K Thickness Design Run

Section Name: K  Include in summary report  Add To Batch

Pavement Layers  
Pavement Type: New Rigid

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	k (MN/m <sup>3</sup> )	R (MPa)
P-501 PCC Surface	300	27579.04		4.48
P-304 Cement Treated Base	200	3447.36		
P-209 Crushed Aggregate	300	499.84		
P-154 Uncrushed Aggregate	1300	166.82		
Subgrade		106.00	47.7	

Design Life: 20

Results  
Calculated Life: Total thickness to the top of the subgrade: 2100 mm

Copy Structure to Clipboard

Traffic

Stored Aircraft Mix: TLL - 4%

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (m)
A300-600 Std Bogie	172600	1	0	20	0	0	0	1340	47.50%	927	1397	345	553
A300-B4/C4 Std Bogie	165900	1	0	20	0	0	0	1490	47.50%	927	1397	321	514
A310-300	142900	18	0	360	0	0	0	1290	47.50%	927	1397	320	513
A319-100 opt	68400	37	0	740	0	0	0	1248	47.50%	927	0	319	510
A320-200 std	73900	110	0	2200	0	0	0	1379	47.50%	927	0	315	504
A321-200 std	89400	58	0	1160	0	0	0	1462	47.50%	927	0	337	539
A330-200 WV020	230900	1	0	20	0	0	0	1572	47.50%	1397	1981	369	590
Beechcraft King Air 350	6849	1	0	20	0	0	0	634	47.50%	294	0	141	226
BAe 146-300/300QC/300QT	43091	1	0	20	0	0	0	965	47.50%	660	0	288	460
B737-300	63503	60	0	1200	0	0	0	1386	47.50%	775	0	291	466
B737-400	68266	22	0	440	0	0	0	1276	47.50%	775	0	315	504
B737-500	60781	21	0	420	0	0	0	1338	47.50%	775	0	290	464

Joonis 2.28 Perroon K sisend

## 2.7.2 Tulemus

Erinevalt PCR arvutustest ei anna „Thickness Design“ funktsioon taolist aruannet, nagu asfaltbetoon katendi puhul. Eesmärgiks on optimiseerida betoonkihi paksust vastavalt liikluskoormusele. Järgnev joonis annab ülevaate FAARFIELD'i arvutatud betoonkihi paksusest, saavutades CDF 1.0 autori sisestatud liikluskoormusega.

Section Report CDF Graph PCR Report PCR Graph Form 5010

Job Name: APRON K Thickness Design Run

Section Name: K  Include in summary report  Add To Batch

Pavement Layers  
Pavement Type: New Rigid

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	k (MN/m <sup>3</sup> )	R (MPa)
P-501 PCC Surface	293	27579.04		4.48
P-304 Cement Treated Base	200	3447.38		
P-209 Crushed Aggregate	300	499.84		
P-154 Uncrushed Aggregate	1300	166.82		
Subgrade		106.00	47.7	

Design Life: 20

Results  
Calculated Life: Total thickness to the top of the subgrade: 2093 mm

Status: Gear Structure  
Design Completed  
Run Time: 1938 seconds  
PCC CDF = 1.00:

Traffic

Stored Aircraft Mix: TLL - 4% Save Aircraft Mix to File Clear All Aircraft from List Remove Selected Aircraft From Section Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)
A300-600 Std Bogie	172600	1	0	20	0	0.01	3.38	1340	47.50%	927	1397	345	553
A300-B4/C4 Std Bogie	165900	1	0	20	0	0	3.63	1490	47.50%	927	1397	321	514
A310-300	142900	18	0	360	0	0	3.64	1290	47.50%	927	1397	320	513
A319-100 opt	68400	37	0	740	0	0	3.66	1248	47.50%	927	0	319	510
A320-200 std	73900	110	0	2200	0.03	0.03	3.7	1379	47.50%	927	0	315	504
A321-200 std	89400	58	0	1160	0.75	0.75	3.46	1462	47.50%	927	0	337	539
A330-200 WV020	230900	1	0	20	0.04	0.09	1.98	1572	47.50%	1397	1981	369	590
Beechcraft King Air 350	6849	1	0	20	0	0	7.02	634	47.50%	294	0	141	226
BAe 146-300/300QC/300QT	43091	1	0	20	0	0	3.72	965	47.50%	660	0	288	460
B737-300	63503	60	0	1200	0	0	3.8	1386	47.50%	775	0	291	466
B737-400	68266	22	0	440	0	0	3.52	1276	47.50%	775	0	315	504
B737-500	60781	21	0	420	0	0	3.82	1338	47.50%	775	0	290	464

Joonis 2.29 Perroon K tulemus 4% LOP

CDF graafikut ja sisendi andmeid vaata L2.7.2.

Kontrolli mõttes otsustas autor arvutust korrata sellel korral 100% liiklussagedusega ning sai tulemuseks järgneva.

Section

Job Name: APRON K Thickness Design Run Status: Gear Structure  
 Section Name: K Include in summary report Add To Batch Design Completed  
 Run Time: 1936 seconds  
 PCC CDF = 1.00;

Pavement Layers  
 Pavement Type: New Rigid

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	k (MN/m <sup>3</sup> )	R (MPa)
P-501 PCC Surface	328	27579.04		4.48
P-304 Cement Treated Base	200	3447.38		
P-209 Crushed Aggregate	300	499.83		
P-154 Uncrushed Aggregate	1300	166.71		
Subgrade		105.49	47.5	

Select As The Design Layer Delete Selected Layer

Design Life: 20

Results  
 Calculated Life: Total thickness to the top of the subgrade: 2128 mm

Traffic

Stored Aircraft Mix: TLL - 100% Save Aircraft Mix to File Clear All Aircraft from List Remove Selected Aircraft From Section Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (m)
A300-600 Std Bogie	172600	6	0	120	0	0	3.38	1340	47.50%	927	1397	345	553
A300-B4/C4 Std Bogie	165900	2	0	40	0	0	3.63	1490	47.50%	927	1397	321	514
A310-300	142900	436	0	8720	0	0	3.64	1290	47.50%	927	1397	320	513
A319-100 opt	68400	920	0	18400	0	0	3.66	1248	47.50%	927	0	319	510
A320-200 std	73900	2744	0	54880	0.02	0.02	3.7	1379	47.50%	927	0	315	504
A321-200 std	89400	1438	0	28760	0.86	0.86	3.46	1462	47.50%	927	0	337	539
A330-200 WV020	230900	4	0	80	0.01	0.03	1.98	1572	47.50%	1397	1981	369	590
Beechcraft King Air 350	6849	18	0	360	0	0	7.02	634	47.50%	294	0	141	226
BAe 146-300/300QC/300QT	43091	2	0	40	0	0	3.72	965	47.50%	660	0	288	460
B737-300	63503	1480	0	29600	0	0	3.8	1386	47.50%	775	0	291	466
B737-400	68266	544	0	10880	0	0	3.52	1276	47.50%	775	0	315	504
B737-500	60781	515	0	10300	0	0	3.82	1338	47.50%	775	0	290	464

Joonis 2.30 Perroon K tulemus 100% LOP

### 2.7.3 Analüüs

Erinevalt asfaltbetoonkatenditest, kus FAARFIELD arvutas PCR väärtuse mõne minutiga, arvutas FAARFIELD betoonkatendi paksust 32 minutit. Tulemuseks saadi betoonkihi paksuseks 29,3 cm, mis tähendab, et väljaehitatud perroon K on piisava tugevusega, võtmaks vastu Tallinna Lennujaama liiklussagedusest 4%. Tulemuse adekvaatsuse kontrollimiseks otsustas autor arvutada betoonkihi paksuse 100% liiklussagedusele ning sai tulemuseks 32,8 cm. Kui selline liikluskoormuse vahe ainult 3,5 cm betoonkatendile juurde annab, siis tundub 30 cm üsna realistlik otsus sellisele perroonile. Õhku jääv küsimus on dünaamilise ja staatilise koormuse erinevuses. Standardi järgi on FAARFIELD 2.0 kasutamine ratsionaalne lennuradadele, ruleerimisteedele ja perroonidele, kuid ei informeereri, kui suures osas see staatilist koormust arvestab.

### 3. VÖRDLUS

Järgnevas peatükis uurib autor Tallinna Lennujaama poolt antud Dynatesti tulemusi (aruanne põhineb HWD-ga mõõtmisel ja katendi tagasiarvutusel) aastatel 2008, 2015 ja 2017 ning võrdleb neid enda poolsete tulemustega. Kõigis kolmes Dynatesti aruandes on välja toodud PCN väärtus. Autori eesmärk on neid analüüsida ning välja tuua punktid, millisel põhjusel väärtused erinevad. 2008., 2015. ja 2017. aasta aruannete PCN tabelid leiab Lisa 3-st. Järgnev tabel annab ülevaate erinevate aastate PCN ja ACN väärtustest.

Tabel 3.1 PCN ja ACN 2008-2017

Objekt/ Aruanne	0-550	550-3070	3070-3490	Perroon K	Liikluse koormus	Ühik
PCN 2008	31/F/B/X/T	114/F/A/X/T	-	-	-	ACN
PCN 2015	80/F/C/W/T	120/F/A/W/T	-	-	87	ACN
PCN 2017	110/F/D/W/T	120/F/B/W/T	116/F/C/W/T	120/R/C/W/T	70	ACN
PCR 2021	743/F/D/X/T	1320/F/D/X/T	1072/F/D/X/T	-	1057	ACR

#### 3.1 RWY 0-550

Tabelist 3.1 on näha, et kõikide aastate aruannetes on lennuraja katendi esimene osa ehk esimesed 550m nõrgem, kui keskmine osa. 2008. aasta ACN väärtus puudub ning hetkel ei saa öelda, kas katendile oleks võinud määrata piirangud või mitte. 2015. aastal osutus PCN väärtus väiksemaks kui ACN. Ka autori leitud katendi vastupanu osutus väiksemaks kui liikluskoormuse väärtus. 2015. aastal leitud PCN ilmselt piiranguid veel ei seadnud, kuna lubatud ACN on kuni 110% PCN väärtusest. Erinevust tuleb veel märkida aluspinnase kategooria erinevuses – kui aastal 2008 liigitati see kategooriasse B ehk keskmine, siis juba aastatel 2017 ja 2021 on see D ehk väga nõrk, tulenevalt 2017. aasta Dynatesti aruandest saadud elastsusmoodulitele. On võimalik, et see tulemus seondub mõõtehetkel esinenud veetaseme kõrgusega. Lisaks sellele on erinevus ka rehvirõhu kategoorias. Töö autor antud kategooriat valida ei saanud, ning FAARFIELD arvutusprogramm seadistas selle vaikumisi X ehk kõrge piirangu alla. W tähendab piiramatut rehvirõhku. Suure tõenäosusega pole sellel suurt kaalu, kuna FAARFIELD arvestab juba erinevate õhusõidukite rehvirõhkudega ning realselt tsiviillennunduses esineb ülikõrget rehvisurvet harva (see on pigem militaarlennukite teema).

Kokkuvõtvalt saab öelda, et esimese osa PCN väärtus on alates 2008 kuni 2017 tõusnud, arvestades aluspinnase nõrgenemist. Kui aga arvestada ACN ja ACR vahelist seost, võiks eeldada, et autori arvutatud PCR väärtust teisendades saaks väärtuseks umbes PCN väärtuse 74. See tähendaks seda, et autori saadud väärtus on nõrgem, kui 2017. ja 2015. aastal leitud PCN väärtused.

### **3.2 RWY 550-3070**

Tabelist 3.1 on näha, et aastatel 2008-2017 saadud PCN väärtused lennuraja keskmisele osale langevad kõik ühte vahemikku. Väike erinevus on aluspinnase kategoorial ning rehvirõhu piirangul. Suurem erinevus on aluspinnase kategoorial, kui arvestada seejuures ka autori poolt saadud tulemust. 2008. ja 2015. aastal on aluspinnase kategooriaks määratud A ehk tugev. 2017. aastal vähendati kategooriat B ehk keskmise peale. Autori arvates on aluspinnase veelgi väiksem kategooria - D ehk väga nõrk, arvestades 2017. aasta Dynatesti aruannet.

Arvestades ACN ja ACR väärtusi võib väita, et lennuraja keskmine osa on piisavalt tugev talumaks etteantud liikluskoormust, olenemata aluspinnase kategooriast.

### **3.3 RWY 3070-3490**

Lennuraja viimast osa saab võrrelda ainult 2017. ja 2021. aasta tulemusi vaadeldes, kuna eeldatavasti on see peale 2015. aastat väljaehitatud. Ka nende tulemuste erinevuses võib välja tuua aluspinnase kategooria vähenemist ning rehvirõhupiirangu muutust. Mõlemad tulemused on üle liikluskoormuse väärtuse ning piisavalt tugevad, et veel vähemalt 20 aastat koormust vastu pidada.

### **3.4 Perroon K**

Perroon K PCR väärtust töö autoril arvutada ei õnnestunud. Tarkvara oli lõputöö koostamise ajal algstaadiumis ning vajab lihvimist. Standardis on olemas ka näide, kuidas PCR väärtust leida jäigale katendile, kuid ka erinevaid arvuteid kasutades ei õnnestunud PCR tulemust saada. Alternatiivina kasutas töö autor tarkvaras katendi kihi paksuse projekteerimise funktsiooni, milles FAARFIELD leiab sobiva betoonkatendi paksuse. Seetõttu pole hetkel võimalik võrdlust teostada PCR arvu põhjal. Katendi kihi paksuse projekteerimisel sai töö autor tulemuseks sarnase konstruktsiooni, mis on väljaehitatud perroon K-l. Olemasoleva perroon K betoon katendi paksus on 30cm ning autor sai tulemuseks 29,3. Siin sõltub kõik liikluskooslusest ning liiklussagedusest.

### 3.5 Kokkuvõtvalt

Tabeli 3.1 põhjal võib öelda, et tulemused on lennuraja esimeses osas küllaltki erinevad ning keskmises osas sarnased. Suure tõenäosusega on 2008-2017 aasta tulemuste erinevus tingitud peamiselt aluspinnase kategooriast ning etteantud liikluskooslusest ja liiklussagedusest. Aluspinnase kategooria muutus 2017. ja 2021. aasta tulemustes on tingitud uue süsteemi aluspinnase kategooriate muudatusest - aluspinnaseid arvestatakse vähesel määral nõrgemana, kui nad olid PCN arvutuses. Lisaks uueneb liikluskooslus pidevalt ning otsest liiklusprognoosi on pea võimatu teostada arvestades seda, kui muutlik on kaubandus ja reisimine tänapäeva maailmas.

Töö autor arvutas PCR väärtused kasutades Dynatesti aruannetest saadud liiklusoperatsioonide prognoosi, et võrrelda lähteandmetest tulenevat erinevust. Tuleb märkida, et katendikonstruktsioon jäi samaks, mis 2021 aasta arvutuses. Lisaks ei õnnestunud õhusõidukeid ATR75 ja AT72 sisestada. Dynatesti aruannetes kasutati lihtsustatud liikluskooslust n-ö referentslennukite näol. Arvutusel kasutatud liiklusandmeid vt. Lisa 3.5. Järgnevas tabelis on näha autori arvutatud PCR väärtused olemasolevale lennurajale kasutades erinevatel aastatel lähteandmeteks antud liiklussagedusi.

Tabel 3.2 RWY PCR kasutades erinevaid LOP lähteandmeid

Vahemik/aasta	2021	2017	2015	2008
0-550	743	268	390	363
550-3070	1320	728	1444	1013
3070-3490	1072	553	977	795

Tabelist on näha, et lennujaama poolt antud lähteandmetel on PCR (ja PCN) arvutusel suur roll. Tuleb märkida 2021 ja 2017 aasta suurt erinevust, mis on tingitud 2021 aasta detailsemast arvutusest, kus võeti arvesse kriitilist õhusõidukit. Suurim erinevus on lennuraja keskmisele osale 2017 ja 2015 aasta põhjal. Tulemuse põhjal saab öelda, et 2021 aastal kasutatud lennuoperatsioonide prognoos on lähim 2015 aastal sisendiks antud lennuoperatsioonide prognoosile.



## KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli tutvuda hetkel kasutusel oleva ACN-PCN arvutusega ning eksperimenteerida uut tulevast ACR-PCR arvutussüsteemi nii elastsele kui ka jäigale katendile. Lisaks uuriti USA standarditele vastavaid ehitusmaterjale ning toodi välja mõningad alternatiivsed materjalid Eestis kasutatavatest materjalidest.

PCN väärtuse arvutamisel COMFAA programmi kasutades jõuti järeldusele, et programmi kasutamine on lihtne ning ei vaja erilisi lähteandmeid. Teisalt nõudsid arvutused palju arvutiressurssi – ilmselt arengustaadiumist tingituna. Samuti on küsitav tulemuse usaldusväärsus.

FAARFIELD 1.42 programmi kasutamine on pigem keeruline, kuna kasutajaliides on kohmakas. Programmi eesmärk on leida õiged katendikihi paksused valitud liikluskooslusele ja liiklussagedusele. Lisandub uus tähtis parameeter – kumulatiivne kahjustustegur. Lähteandmeteks on konstruktsiooni paksus ning täpsed liiklusandmed.

Enne FAARFIELD 2.0 kasutamist tegi töö autor selgeks USAs kasutatavad ehitusmaterjalid, et neid võrrelda Eestis kasutatavate materjalidega, et PCR arvutamisel valida täpsem konstruktsioon. Kuna USA standardite materjalid pole meil kasutatavate materjalidega identsed, siis pidi töö autor täiendavalt täpsustatud tulemuse saamiseks kasutama erinevate aastate Dynatesti aruandest saadud elastsusmooduleid. Lisaks tuli töödelda liikluskooslust ja liiklussagedust lähteandmete näol. Aastaga tehti 36 225 läbikut, millest FAARFIELD'iga on kaetud 25 267 ehk 70%. Ülejäänud 30% polnud võimalik too autoril sisestada, kuna FAARFIELD'is ette antud õhusõidukid puudusid ning nende lisamiseks puudus autoril piisav pädevus.

Lennurada oli konstruktsiooni erinevusest tulenevalt jagatud kolme osasse. Lisaks arvutati veel perroon K betoonikihi paksust. Tulemusena leiti, et lennuraja esimene osa ehk esimesed 550 m on nõrgemapoolsed ning ülejäänud osad on piisava tugevusega võtmaks vastu lähteandmetena antud liikluskooslust selle liiklussagedusega. Betoonkatendi ehk perroon K arvutamisel kasutati kogu liiklussageduse prognoosist 4% ning tulemusest võib järeldada, et olemasoleva betoonkatendi kihi paksus on piisav. Ka kontrollarvutus suurema liiklussageduse korral tehti läbi, kinnitamaks tulemuse ratsionaalsust.

Tuleb ära märkida, et eelnevalt mainitud arvutussüsteemid ei ole aluseks katendi projekteerimisel, vaid pigem katendi kontrollimiseks ja haldamiseks. Magistritöö üheks eesmärgiks oli leida orientiir tulevasele kohustuslikule süsteemile. Magistritööd oleks

võimalik edasi arendada liiklussageduse ning koosluse täpsustamisel, kuhu peaks kaasama pädevaid isikud liiklusandmete sisestamisel.

## Summary

The purpose of the master's thesis was to introduce currently in use ACN-PCN system and to experiment new upcoming ACR-PCR system both for flexible and rigid pavement. In addition, US standard materials were studied, and some alternative materials used in Estonia were pointed out.

Using COMFAA to calculate PCN it was concluded that using the program was easy and did not require detailed information. However, the reliability of this method is doubtful.

Using FAARFIELD 1.42 to calculate PCN is complicated as user interface is clumsy. The purpose of this software is to find the appropriate layer thickness to given aircraft data. A new parameter is introduced – a cumulative damage factor. The source data consists of traffic data and pavement structure.

Before using FAARFIELD 2.0 it was necessary to study materials used in the US and to compare them with alternative materials used in Estonia, in order to select the most detailed/suitable pavement structure. The author also had to use e-modulus from different Dynatest reports because materials used in the US are not identical to materials used in Estonia. Furthermore, the traffic data had to be processed. There were 36,225 of total departures in a year of which 70% (25,267) is covered in FAARFIELD. The rest 30% were not possible to insert into FAARFIELD due to the author's lack of competence.

The runway was divided into three parts according to different pavement structures. In addition, apron K rigid pavement thickness was calculated. As a result, it was found that the first 550 metres of the runway is weaker, the rest is fair to sufficiently strong to cope with given traffic data. Apron K rigid pavement calculation was made with 4% of the total annual departures and as a result thickness of the Portland cement concrete layer is sufficient. To check the reliability of the outcome recalculation with greater traffic data was made.

It must be noted that the mentioned systems are not basis for pavement design but for checking and managing pavement. The purpose of the master's thesis was to find a reference point to the new upcoming compulsory system. It is possible to elaborate the present thesis by entering more detailed traffic data about the other aircraft and processing them with more competence.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. ICAO koduleht [WWW] <https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx> (09.12.20)
2. FAA koduleht [WWW] <https://www.faa.gov/about/mission/activities/> (09.12.20)
3. Federal Aviation Administration - 150/5335-5C - Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN [WWW] [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150-5335-5c.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5335-5c.pdf) (09.12.20)
4. Federal Aviation Administration - 150/5335-5D - Draft AC 150/5335-5D, Standardized Method of Reporting Pavement Strength PCR [WWW] [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/draft-150-5335-5D-Pavement-Strength.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/draft-150-5335-5D-Pavement-Strength.pdf) (09.12.20)
5. Federal Aviation Administration - 150/5320-6F - Airport Pavement Design and Evaluation [WWW] [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150-5320-6F.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5320-6F.pdf) (09.12.20)
6. Federal Aviation Administration - 150/5370-10H, Standards for Specifying Construction of Airports [WWW] [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150-5370-10H.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5370-10H.pdf) (06.01.21)
7. Süsteeme võrdlev esitlus [WWW] <https://www.alacpa.org/ACR-PCR%20ALACPA-2018%20Cyril%20Fabre.pdf> (06.01.21)
8. Killustikust katendikihtide ehitamise juhised [WWW] [https://www.mnt.ee/sites/default/files/contenteditors/Failid/Juhendid/ehitus/killustikust\\_katendikihtide\\_ehitamise\\_juhised.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/contenteditors/Failid/Juhendid/ehitus/killustikust_katendikihtide_ehitamise_juhised.pdf) (24.02.2021)
9. EVS 901-3:2021 Tee-ehitus. Osa 3: Asfaltsegud [WWW] <https://www.evs.ee/et/evs-901-3-2021>
10. Stabiliseeritud katendikihtide ehitamise juhised [WWW] [https://www.mnt.ee/sites/default/files/contenteditors/Failid/Juhendid/ehitus/stabiliseeritud\\_katendikihtide\\_ehitamise\\_juhised.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/contenteditors/Failid/Juhendid/ehitus/stabiliseeritud_katendikihtide_ehitamise_juhised.pdf) (24.02.2021)
11. Õhusõidukite parameetrid [WWW] <https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/details.aspx> (27.02.21)
12. Õhusõidukite parameetrid [WWW] <https://www.globalair.com/> (27.02.21)
13. Õhusõidukite parameetrid [WWW] <http://www.flugzeuginfo.net/> (27.02.2021)
14. Õhusõidukite parameetrid [WWW] <https://www.evektor.cz/en/> (27.02.2021)
15. Õhusõidukite parameetrid [WWW] <https://www.pilotmix.com/mcr-4s> (27.02.21)
16. Tallinna Lennujaama ajalugu [WWW] <https://www.tallinn-airport.ee/uudised/tallinna-lennujaamal-taitub-tana-80-aastat-ulemistel/> (23.03.21)
17. Strength rating of aerodrome pavements – AC 139.c-07v1.0 [WWW] <https://www.casa.gov.au/sites/default/files/advisory-circulars-139c-07-strength-rating-aerodrome-pavements.pdf> (31.03.21)

**LISAD**

## Lisa 2 Dynatesti tulemused

**Table 4.29 – Summary of Average Layer Stiffness of Runway 08-26.**

Track	From (km)	To (km)	E <sub>1</sub> [MPa]	E <sub>1</sub> <sup>20</sup> [MPa]	E <sub>2</sub> [MPa]	E <sub>3</sub> [MPa]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]
18mL	0.000	0.550	5449	3977	2884	35	130	600
	0.550	3.070	2531	1847	2137	62	230	600
	3.070	3.490	4764	3476	2318	45	130	600
6mL	0.000	0.550	5338	3896	2527	36	130	600
	0.550	3.070	3573	2608	3085	68	230	600
	3.070	3.490	3965	2894	2035	51	130	600
3mL	0.000	0.550	5505	4018	2139	32	130	600
	0.550	3.070	4917	3588	3896	69	230	600
	3.070	3.490	5295	3864	2088	41	130	600
3mR	0.000	0.550	5768	4210	2380	29	130	600
	0.550	3.070	5434	3966	4181	58	230	600
	3.070	3.490	6240	4554	2175	38	130	600
6mR	0.000	0.550	4766	3478	2203	38	130	600
	0.550	3.070	3487	2545	3146	72	230	600
	3.070	3.490	4661	3401	1909	50	130	600
18mR	0.000	0.550	3839	2802	1991	42	130	600
	0.550	3.070	2572	1877	2159	58	230	600
	3.070	3.490	3708	2706	1947	57	130	600

Väljavõtte Dynatesti aruandest lk 20 Tabel 4.29

**Table 4.41 – Summary of Average Layer Stiffness of Apron Kilo – PCC.**

Track	E <sub>1</sub> [MPa]	E <sub>2</sub> [MPa]	E <sub>3</sub> [MPa]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]
K1	56507	2252	127	300	500
K2	59310	2478	106	300	500
K3	69805	1316	126	300	500

Väljavõtte Dynatesti aruandest lk 23 Tabel 4.41

## Lisa 2.3.2 0-550 aruande lisa

### Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Section Report

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

Job Name: TLL RWY 0-550

Section: 0-550

Analysis Type: New Flexible

No run has been done on this section.

#### Pavement Structure Information by Layer

No.	Type	Thickness mm	Modulus MPa	Poisson's Ratio	Strength R MPa
1	User Defined	130,0	2800	0.35	0
2	User Defined	200,0	1900	0.35	0
3	P-209 Crushed Aggregate	240,0	207	0.35	0
4	P-154 Uncrushed Aggregate	160,0	57	0.35	0
5	Subgrade	0	29	0.35	0

#### Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. kg	Annual Departures	% Annual Growth
1	A300-600 Std Bogie	172600	6	0
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	2	0
3	A310-300	142900	436	0
4	A319-100 opt	68400	920	0
5	A320-200 std	73900	2744	0
6	A321-200 std	89400	1438	0
7	A330-200 WV020	230900	4	0
8	Beechcraft King Air 350	6849	18	0
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	2	0
10	B737-300	63503	1480	0
11	B737-400	68266	544	0
12	B737-500	60781	515	0
13	B737-700	70307	26	0
14	B737-800	79242	1840	0
15	B747-200/300	379203	2	0
16	B747-200/300 Belly	379203	2	0
17	B747-400	397801	14	0
18	B747-400 Belly	397801	14	0
19	B747-8	449056	2	0
20	B747-8 Belly	449056	2	0
21	B757-200	116100	249	0

0-550 lähteandmed lehekülj 1

No.	Name	Gross Wt. kg	Annual Departures	% Annual Growth
22	B767-200 ER	179623	2	0
23	B767-300 ER	175994	2	0
24	B777-200	248120	2	0
25	Beechcraft King Air C90	4404	36	0
26	C-130	70307	6	0
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	545	0
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	105	0
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	18	0
30	Cessna Citation V	7484	20	0
31	CRJ100/200	21636	124	0
32	CRJ900	38555	5664	0
33	CRJ1000	41867	4	0
34	DC3	11431	6	0
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	2096	0
36	ERJ-135	19100	130	0
37	ERJ-145 ER	20700	104	0
38	EMB-170 STD	36150	5703	0
39	EMB-190 STD	47950	42	0
40	Dassault Falcon 2000	15876	34	0
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	16	0
42	Gulfstream-G-IV	34019	20	0
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	26	0
44	Hawker-800/800XP	12755	58	0
45	IL-62	162600	4	0
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	42	0
47	Learjet 45/55B	9752	732	0
48	MD-83	73016	34	0
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	166	0
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	58	0
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	24	0
52	Saab 340B	13154	502	0
53	TU-134A	49000	4	0

#### Additional Airplane Information

Subgrade CDF

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	A300-600 Std Bogie	0,9	1,43	1,24
2	A300-B4/C4 Std Bogie	0,2	0,32	1,25
3	A310-300	0,9	1,42	1,25
4	A319-100 opt	0,1	0,96	1,35
5	A320-200 std	0,0	0,00	1,83
6	A321-200 std	0,0	0,00	1,39
7	A330-200 WV020	2,3	2,28	1,33
8	Beechcraft King Air 350	3,0	3,02	1,32

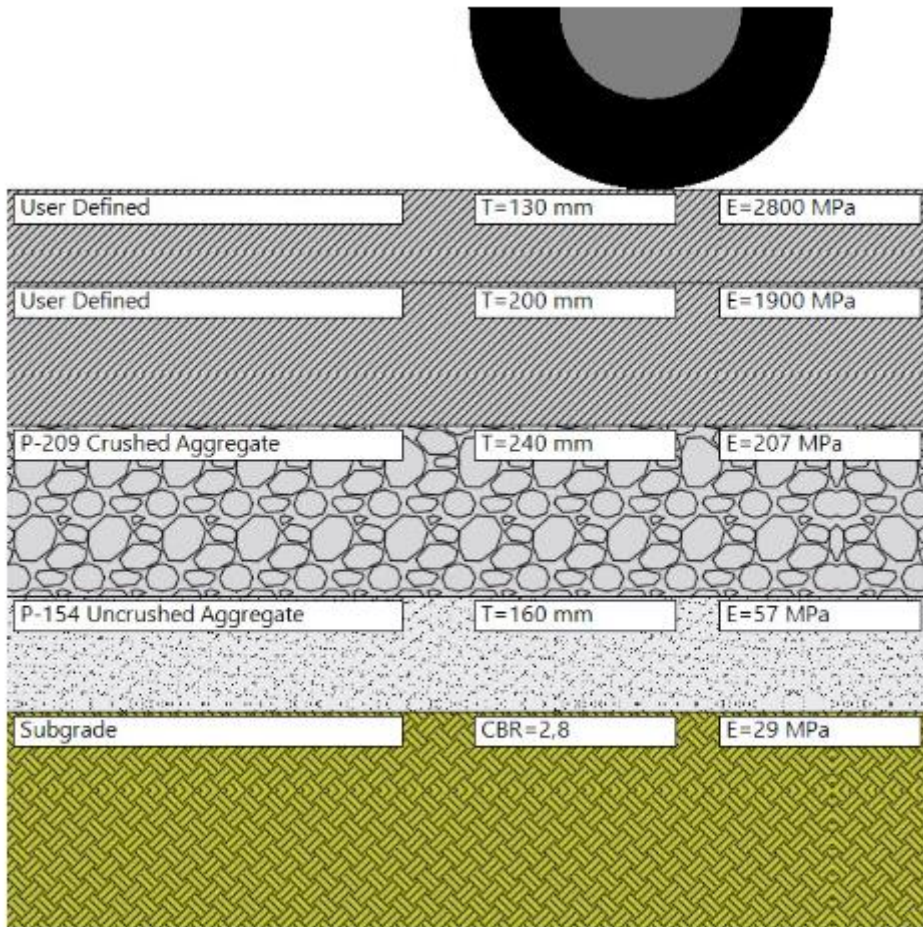
0-550 lähteandmed lehekülj 2



No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
9	BAe 146-300/300QC/300QT	0,5	0,51	1,33
10	B737-300	0,1	0,09	1,28
11	B737-400	0,0	0,33	1,21
12	B737-500	0,2	0,33	1,21
13	B737-700	0,1	4,23	1,2
14	B737-800	3,1	4,22	1,2
15	B747-200/300	0,0	1,48	1,23
16	B747-200/300 Belly	1,1	1,47	1,23
17	B747-400	2,7	3,90	1,3
18	B747-400 Belly	0,0	0,21	1,23
19	B747-8	0,0	0,20	1,23
20	B747-8 Belly	0,0	0,20	1,38
21	B757-200	0,0	0,00	2,22
22	B767-200 ER	0,0	0,00	1,85
23	B767-300 ER	0,0	0,00	2,35
24	B777-200	0,0	0,00	2,28
25	Beechcraft King Air C90	0,0	0,00	2,28
26	C-130	0,0	0,00	2,28
27	Cessna 172 Skyhawk	0,0	0,00	1,62
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	0,0	0,00	1,43
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	0,0	0,00	1,43
30	Cessna Citation V	0,0	0,00	1,92
31	CRJ100/200	0,0	0,00	1,57
32	CRJ900	0,0	0,00	1,59
33	CRJ1000	0,0	0,00	1,59
34	DC3	0,0	0,00	1,37
35	Q400/Dash 8 Series 400	0,0	0,00	1,29
36	ERJ-135	0,0	0,00	1,75
37	ERJ-145 ER	0,0	0,00	1,69
38	EMB-170 STD	0,0	0,00	1,62
39	EMB-190 STD	0,0	0,00	1,55
40	Dassault Falcon 2000	0,0	0,00	1,75
41	Dassault Falcon 900B/C	0,4	0,61	1,28
42	Gulfstream-G-IV	0,0	0,00	1,82
43	Gulfstream G-V/G500/G550	0,0	0,00	1,82
44	Hawker-800/800XP	0,5	0,52	1,34
45	IL-62	0,0	0,00	2,43
46	Learjet 35/36/35A/36A	0,0	0,00	2,33
47	Learjet 45/55B	0,0	0,00	2,32
48	MD-83	0,0	0,00	1,62
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	0,0	0,00	1,49
50	PA-32R-301 Saratoga	0,0	0,00	1,49
51	PA-31-325 Navajo C/R	0,0	0,00	1,49
52	Saab 340B	0,0	0,00	1,49
53	TU-134A	0,0	0,00	1,49

*User is responsible For checking frost protection requirements.*

0-550 lähteandmed lehekülj 3



0-550 lähteandmed lehekülg 4

## Federal Aviation Administration FAARFIELD CDF Graph

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

Job Name: TLL RWY 0-550

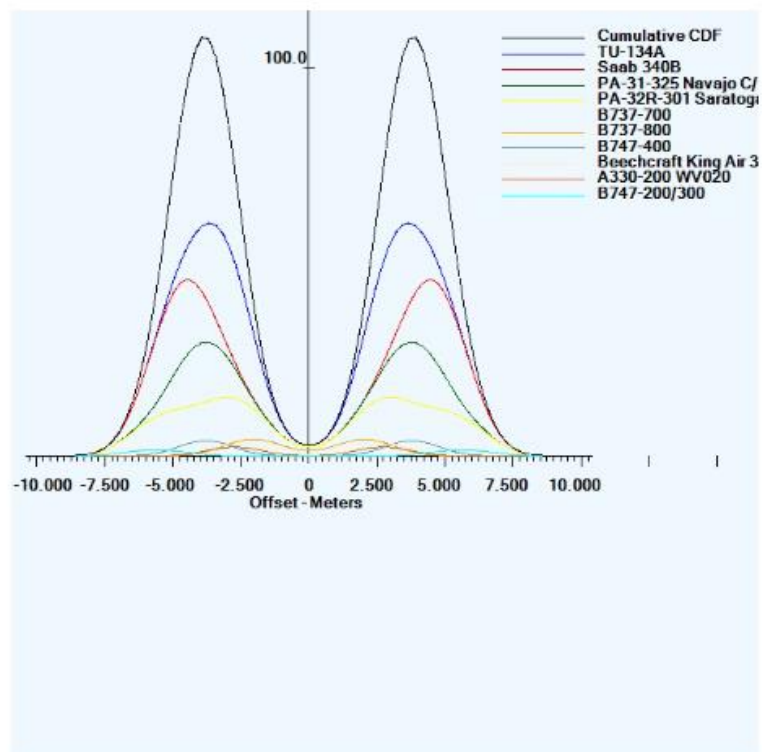
Section: 0-550

Analysis Type: New Flexible

Last Run: PCR

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 730mm



0-550 CDF graafik

## Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Form 5010

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

### RUNWAY DATA

Job Name: TLL RWY 0-550

Section: 0-550

### Gross Weight (In THSDS)

35 S	85,83
36 D	109,83
37 2D	166,82
38 2D/2D2	0,00
39 PCR	350/F/D/X/T

0-550 Vorm 5010

## Lisa 2.4.2 550-3070 aruande lisa

### Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Section Report

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

Job Name: TLL RWY 550-3070

Section: 550-3070

Analysis Type: HMA on Aggregate

No run has been done on this section.

#### Pavement Structure Information by Layer

No.	Type	Thickness mm	Modulus MPa	Poisson's Ratio	Strength R MPa
1	P-401/P-403 HMA Surface	230,0	1379	0.35	0
2	P-209 Crushed Aggregate	300,0	426	0.35	0
3	P-154 Uncrushed Aggregate	500,0	123	0.35	0
4	Subgrade	0	58	0.35	0

#### Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. kg	Annual Departures	% Annual Growth
1	A300-600 Std Bogie	172600	6	0
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	2	0
3	A310-300	142900	436	0
4	A319-100 opt	68400	920	0
5	A320-200 std	73900	2744	0
6	A321-200 std	89400	1438	0
7	A330-200 WV020	230900	4	0
8	Beechcraft King Air 350	6849	18	0
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	2	0
10	B737-300	63503	1480	0
11	B737-400	68266	544	0
12	B737-500	60781	515	0
13	B737-700	70307	26	0
14	B737-800	79242	1840	0
15	B747-200/300	379203	2	0
16	B747-200/300 Belly	379203	2	0
17	B747-400	397801	14	0
18	B747-400 Belly	397801	14	0
19	B747-8	449056	2	0
20	B747-8 Belly	449056	2	0
21	B757-200	116100	249	0
22	B767-200 ER	179623	2	0

550-3070 lähteandmed lehekülg 1

No.	Name	Gross Wt. kg	Annual Departures	% Annual Growth
23	B767-300 ER	175994	2	0
24	B777-200	248120	2	0
25	Beechcraft King Air C90	4404	36	0
26	C-130	70307	6	0
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	545	0
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	105	0
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	18	0
30	Cessna Citation V	7484	20	0
31	CRJ100/200	21636	124	0
32	CRJ900	38555	5664	0
33	CRJ1000	41867	4	0
34	DC3	11431	6	0
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	2096	0
36	ERJ-135	19100	130	0
37	ERJ-145 ER	20700	104	0
38	EMB-170 STD	36150	5703	0
39	EMB-190 STD	47950	42	0
40	Dassault Falcon 2000	15876	34	0
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	16	0
42	Gulfstream-G-IV	34019	20	0
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	26	0
44	Hawker-800/800XP	12755	58	0
45	IL-62	162600	4	0
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	42	0
47	Learjet 45/55B	9752	732	0
48	MD-83	73016	34	0
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	166	0
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	58	0
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	24	0
52	Saab 340B	13154	502	0
53	TU-134A	49000	4	0

### Additional Airplane Information

#### Subgrade CDF

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	A300-600 Std Bogie	0,0	0,00	1,16
2	A300-B4/C4 Std Bogie	0,0	0,00	1,16
3	A310-300	0,0	0,00	1,16
4	A319-100 opt	0,0	0,00	1,17
5	A320-200 std	0,0	0,00	1,17
6	A321-200 std	0,0	0,00	1,16
7	A330-200 WV020	0,0	0,00	1,08
8	Beechcraft King Air 350	0,0	0,00	1,53
9	BAe 146-300/300QC/300QT	0,0	0,00	1,26

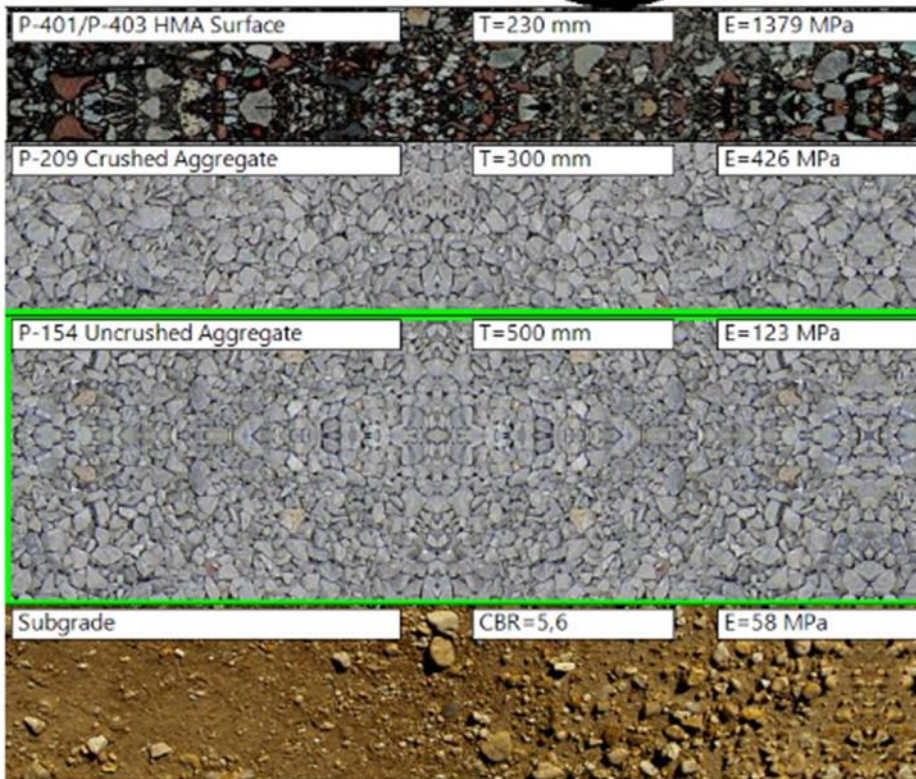
550-3070 lähteandmed lehekülg 2

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
10	B737-300	0,0	0,00	1,22
11	B737-400	0,0	0,00	1,21
12	B737-500	0,0	0,00	1,22
13	B737-700	0,0	0,00	1,19
14	B737-800	0,0	0,00	1,18
15	B747-200/300	0,0	0,00	1,12
16	B747-200/300 Belly	0,0	0,00	1,12
17	B747-400	0,0	0,01	1,12
18	B747-400 Belly	0,0	0,01	1,12
19	B747-8	0,0	0,01	1,11
20	B747-8 Belly	0,0	0,01	1,11
21	B757-200	0,0	0,00	1,19
22	B767-200 ER	0,0	0,00	1,12
23	B767-300 ER	0,0	0,00	1,12
24	B777-200	0,0	0,00	1,09
25	Beechcraft King Air C90	0,0	0,00	1,75
26	C-130	0,0	0,00	1,54
27	Cessna 172 Skyhawk	0,0	0,00	1,78
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	0,0	0,00	1,78
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	0,0	0,00	1,78
30	Cessna Citation V	0,0	0,00	1,79
31	CRJ100/200	0,0	0,00	1,4
32	CRJ900	0,0	0,00	1,28
33	CRJ1000	0,0	0,00	1,28
34	DC3	0,0	0,00	1,58
35	Q400/Dash 8 Series 400	0,0	0,00	1,37
36	ERJ-135	0,0	0,00	1,38
37	ERJ-145 ER	0,0	0,00	1,38
38	EMB-170 STD	0,0	0,00	1,24
39	EMB-190 STD	0,0	0,00	1,19
40	Dassault Falcon 2000	0,0	0,00	1,48
41	Dassault Falcon 900B/C	0,0	0,00	1,45
42	Gulfstream-G-IV	0,0	0,00	1,4
43	Gulfstream G-V/G500/G550	0,0	0,00	1,36
44	Hawker-800/800XP	0,0	0,00	1,48
45	IL-62	0,0	0,00	1,18
46	Learjet 35/36/35A/36A	0,0	0,00	1,51
47	Learjet 45/55B	0,0	0,00	1,51
48	MD-83	0,0	0,00	1,22
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	0,0	0,00	1,86
50	PA-32R-301 Saratoga	0,0	0,00	1,81
51	PA-31-325 Navajo C/R	0,0	0,00	1,8
52	Saab 340B	0,0	0,00	1,4
53	TU-134A	0,0	0,00	1,32

*User is responsible For checking frost protection requirements.*

550-3070 lähteandmed lehekülj 3





550-3070 lähteandmed lehekülg 4



## Federal Aviation Administration FAARFIELD CDF Graph

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

Job Name: TLL RWY 550-3070

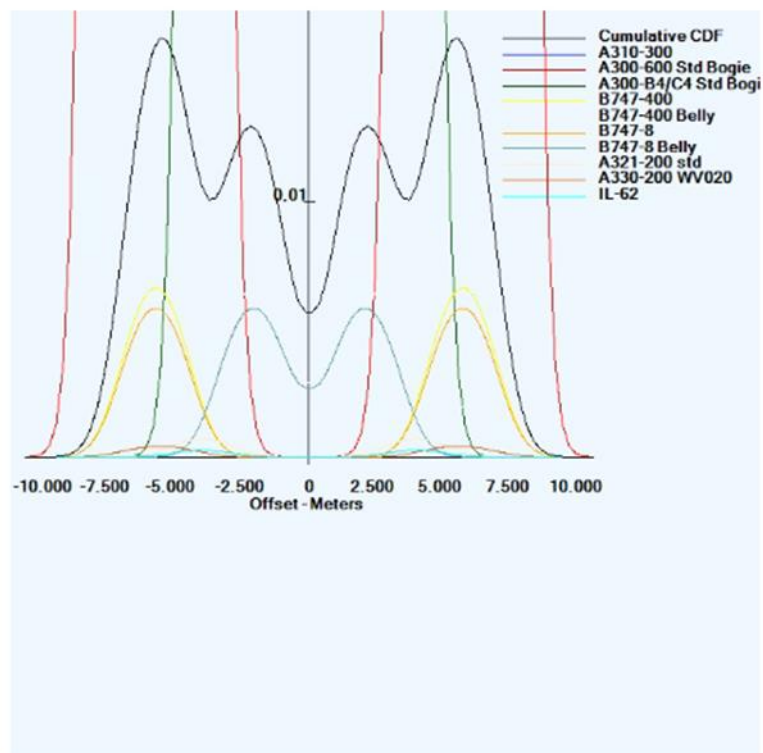
Section: 550-3070

Analysis Type: HMA on Aggregate

Last Run: PCR

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 1030mm



550-3070 CDF graafik

## Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Form 5010

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

### RUNWAY DATA

Job Name: TLL RWY 550-3070

Section: 550-3070

### Gross Weight (In THSDS)

35 S	120,00
36 D	250,00
37 2D	550,00
38 2D/2D2	1 120,00
39 PCR	1643/F/D/X/T

550-3070 vorm 5010

## Lisa 2.5.2 3070-3490 aruande lisa

### Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Section Report

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

Job Name: TLL RWY 3070-3490

Section: 3070-3490

Analysis Type: New Flexible

No run has been done on this section.

#### Pavement Structure Information by Layer

No.	Type	Thickness mm	Modulus MPa	Poisson's Ratio	Strength R MPa
1	P-401/P-403 HMA Surface	130,0	1379	0.35	0
2	User Defined	150,0	1900	0.35	0
3	P-209 Crushed Aggregate	152,4	383	0.35	0
4	P-154 Uncrushed Aggregate	800,0	123	0.35	0
5	Subgrade	0	38	0.35	0

#### Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. kg	Annual Departures	% Annual Growth
1	A300-600 Std Bogie	172600	6	0
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	2	0
3	A310-300	142900	436	0
4	A319-100 opt	68400	920	0
5	A320-200 std	73900	2744	0
6	A321-200 std	89400	1438	0
7	A330-200 WV020	230900	4	0
8	Beechcraft King Air 350	6849	18	0
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	2	0
10	B737-300	63503	1480	0
11	B737-400	68266	544	0
12	B737-500	60781	515	0
13	B737-700	70307	26	0
14	B737-800	79242	1840	0
15	B747-200/300	379203	2	0
16	B747-200/300 Belly	379203	2	0
17	B747-400	397801	14	0
18	B747-400 Belly	397801	14	0
19	B747-8	449056	2	0
20	B747-8 Belly	449056	2	0
21	B757-200	116100	249	0

3070-3490 lähteandmed lehekülg 1

No.	Name	Gross Wt. kg	Annual Departures	% Annual Growth
22	B767-200 ER	179623	2	0
23	B767-300 ER	175994	2	0
24	B777-200	248120	2	0
25	Beechcraft King Air C90	4404	36	0
26	C-130	70307	6	0
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	545	0
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	105	0
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	18	0
30	Cessna Citation V	7484	20	0
31	CRJ100/200	21636	124	0
32	CRJ900	38555	5664	0
33	CRJ1000	41867	4	0
34	DC3	11431	6	0
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	2096	0
36	ERJ-135	19100	130	0
37	ERJ-145 ER	20700	104	0
38	EMB-170 STD	36150	5703	0
39	EMB-190 STD	47950	42	0
40	Dassault Falcon 2000	15876	34	0
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	16	0
42	Gulfstream-G-IV	34019	20	0
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	26	0
44	Hawker-800/800XP	12755	58	0
45	IL-62	162600	4	0
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	42	0
47	Learjet 45/55B	9752	732	0
48	MD-83	73016	34	0
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	166	0
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	58	0
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	24	0
52	Saab 340B	13154	502	0
53	TU-134A	49000	4	0

### Additional Airplane Information

#### Subgrade CDF

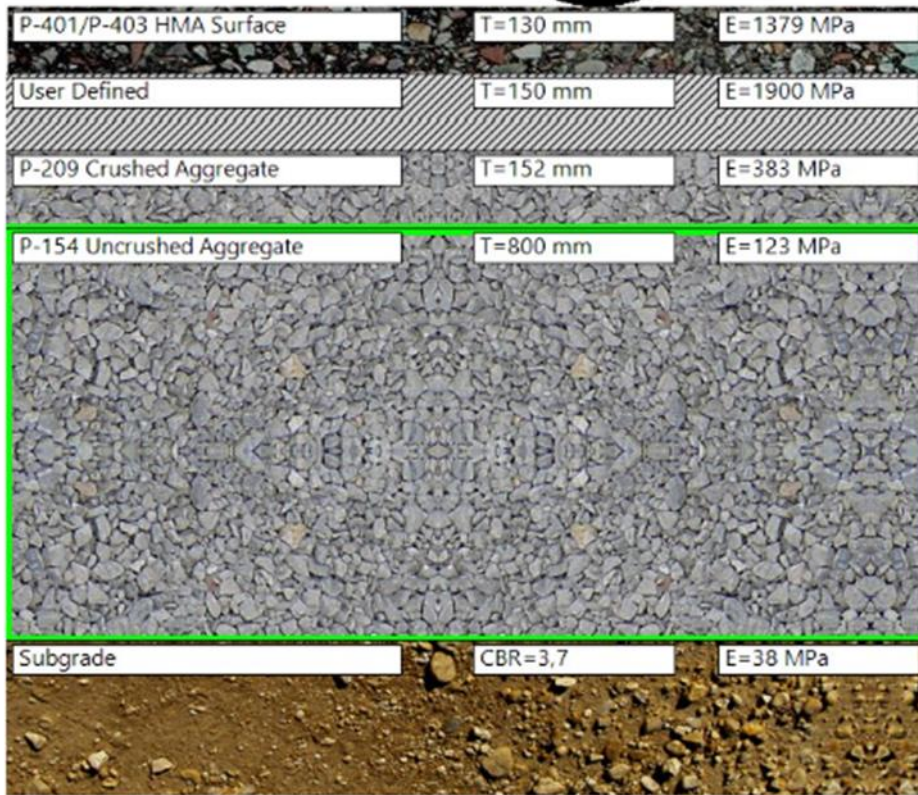
No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	A300-600 Std Bogie	0,0	0,03	1,12
2	A300-B4/C4 Std Bogie	0,0	0,01	1,12
3	A310-300	0,0	0,00	1,12
4	A319-100 opt	0,0	0,00	1,12
5	A320-200 std	0,0	0,02	1,12
6	A321-200 std	0,0	0,01	1,06
7	A330-200 WV020	0,0	0,00	1,39
8	Beechcraft King Air 350	0,0	0,00	1,19

3070-3490 lähteandmed lehekülj 2

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
9	BAe 146-300/300QC/300QT	0,0	0,00	1,16
10	B737-300	0,0	0,00	1,16
11	B737-400	0,0	0,00	1,16
12	B737-500	0,0	0,00	1,14
13	B737-700	0,0	0,00	1,14
14	B737-800	0,0	0,01	1,09
15	B747-200/300	0,0	0,01	1,09
16	B747-200/300 Belly	0,1	0,09	1,09
17	B747-400	0,0	0,09	1,09
18	B747-400 Belly	0,0	0,04	1,08
19	B747-8	0,0	0,04	1,08
20	B747-8 Belly	0,0	0,00	1,14
21	B757-200	0,0	0,00	1,09
22	B767-200 ER	0,0	0,00	1,09
23	B767-300 ER	0,0	0,00	1,06
24	B777-200	0,0	0,00	1,55
25	Beechcraft King Air C90	0,0	0,00	1,41
26	C-130	0,0	0,00	1,55
27	Cessna 172 Skyhawk	0,0	0,00	1,58
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	0,0	0,00	1,58
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	0,0	0,00	1,58
30	Cessna Citation V	0,0	0,00	1,3
31	CRJ100/200	0,0	0,00	1,21
32	CRJ900	0,0	0,00	1,21
33	CRJ1000	0,0	0,00	1,43
34	DC3	0,0	0,00	1,28
35	Q400/Dash 8 Series 400	0,0	0,00	1,29
36	ERJ-135	0,0	0,00	1,29
37	ERJ-145 ER	0,0	0,00	1,18
38	EMB-170 STD	0,0	0,00	1,14
39	EMB-190 STD	0,0	0,00	1,36
40	Dassault Falcon 2000	0,0	0,00	1,33
41	Dassault Falcon 900B/C	0,0	0,00	1,3
42	Gulfstream-G-IV	0,0	0,00	1,27
43	Gulfstream G-V/G500/G550	0,0	0,00	1,35
44	Hawker-800/800XP	0,0	0,00	1,14
45	IL-62	0,0	0,00	1,37
46	Learjet 35/36/35A/36A	0,0	0,00	1,37
47	Learjet 45/55B	0,0	0,00	1,17
48	MD-83	0,0	0,00	1,63
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	0,0	0,00	1,6
50	PA-32R-301 Saratoga	0,0	0,00	1,59
51	PA-31-325 Navajo C/R	0,0	0,00	1,3
52	Saab 340B	0,0	0,00	1,24
53	TU-134A	0,0	0,00	1,24

*User Is responsible For checking frost protection requirements.*

3070-3490 lähteandmed lehekülj 3



3070-3490 lähteandmed lehekülg 4

## Federal Aviation Administration FAARFIELD CDF Graph

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

Job Name: TLL RWY 3070-3490

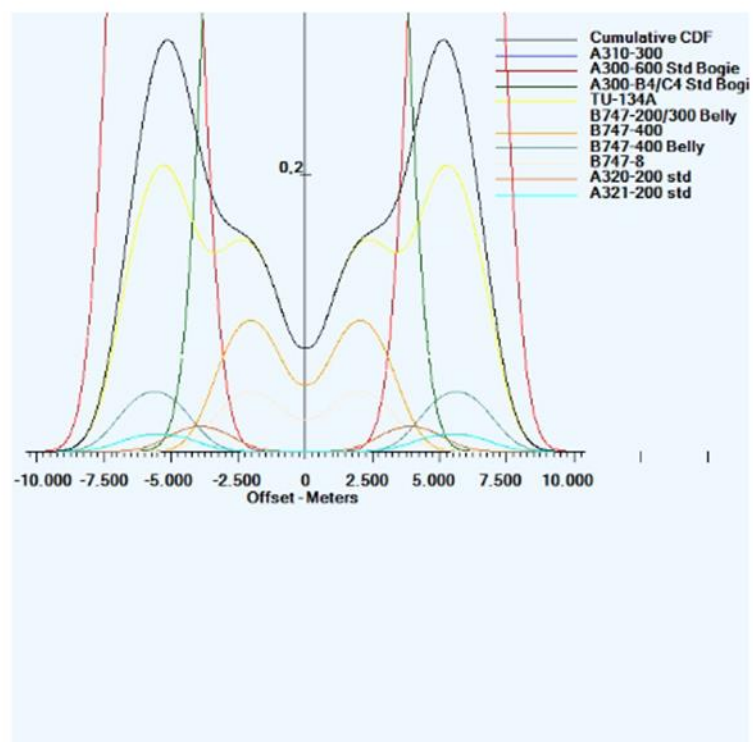
Section: 3070-3490

Analysis Type: New Flexible

Last Run: PCR

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 1232mm



3070-3490 CDF Graafik

## Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Form 5010

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

### RUNWAY DATA

Job Name: TLL RWY 3070-3490

Section: 3070-3490

### Gross Weight (In THSDS)

35 S	120,00
36 D	250,00
37 2D	459,43
38 2D/2D2	979,00
39 PCR	1072/F/D/X/T

3070-3490 vorm 5010



## Lisa 2.7.2 Perroon K aruande lisa

### Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Section Report

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

**Job Name: APRON K**

Section: K

Analysis Type: New Rigid

Last Run: Thickness Design

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 2093mm

#### Pavement Structure Information by Layer

No.	Type	Thickness mm	Modulus MPa	Poisson's Ratio	Strength R MPa
1	P-501 PCC Surface	293.5	27579	0.15	4.5
2	P-304 Cement Treated Base	200.0	3447	0.35	0
3	P-209 Crushed Aggregate	300.0	500	0.35	0
4	P-154 Uncrushed Aggregate	1300.0	167	0.35	0
5	Subgrade	0	106	0.4	0

#### Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. kg	Annual Departures	% Annual Growth
1	A300-600 Std Bogie	172600	1	0
2	A300-B4/C4 Std Bogie	165900	1	0
3	A310-300	142900	18	0
4	A319-100 opt	68400	37	0
5	A320-200 std	73900	110	0
6	A321-200 std	89400	58	0
7	A330-200 WV020	230900	1	0
8	Beechcraft King Air 350	6849	1	0
9	BAe 146-300/300QC/300QT	43091	1	0
10	B737-300	63503	60	0
11	B737-400	68266	22	0
12	B737-500	60781	21	0
13	B737-700	70307	2	0
14	B737-800	79242	74	0
15	B747-200/300	379203	1	0
16	B747-200/300 Belly	379203	1	0
17	B747-400	397801	1	0
18	B747-400 Belly	397801	1	0

Perroon K lähteandmed lehekülg 1

No.	Name	Gross Wt. kg	Annual Departures	% Annual Growth
19	B747-8	449056	1	0
20	B747-8 Belly	449056	1	0
21	B757-200	116100	10	0
22	B767-200 ER	179623	1	0
23	B767-300 ER	175994	1	0
24	B777-200	248120	1	0
25	Beechcraft King Air C90	4404	2	0
26	C-130	70307	1	0
27	Cessna 172 Skyhawk	1160	22	0
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	3969	5	0
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	6804	1	0
30	Cessna Citation V	7484	1	0
31	CRJ100/200	21636	50	0
32	CRJ900	38555	227	0
33	CRJ1000	41867	1	0
34	DC3	11431	1	0
35	Q400/Dash 8 Series 400	29347	84	0
36	ERJ-135	19100	5	0
37	ERJ-145 ER	20700	5	0
38	EMB-170 STD	36150	229	0
39	EMB-190 STD	47950	2	0
40	Dassault Falcon 2000	15876	2	0
41	Dassault Falcon 900B/C	20638	1	0
42	Gulfstream-G-IV	34019	1	0
43	Gulfstream G-V/G500/G550	41232	2	0
44	Hawker-800/800XP	12755	3	0
45	IL-62	162600	1	0
46	Learjet 35/36/35A/36A	8165	2	0
47	Learjet 45/55B	9752	30	0
48	MD-83	73016	2	0
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1134	7	0
50	PA-32R-301 Saratoga	1640	3	0
51	PA-31-325 Navajo C/R	2965	1	0
52	Saab 340B	13154	21	0
53	TU-134A	49000	1	0

#### Additional Airplane Information

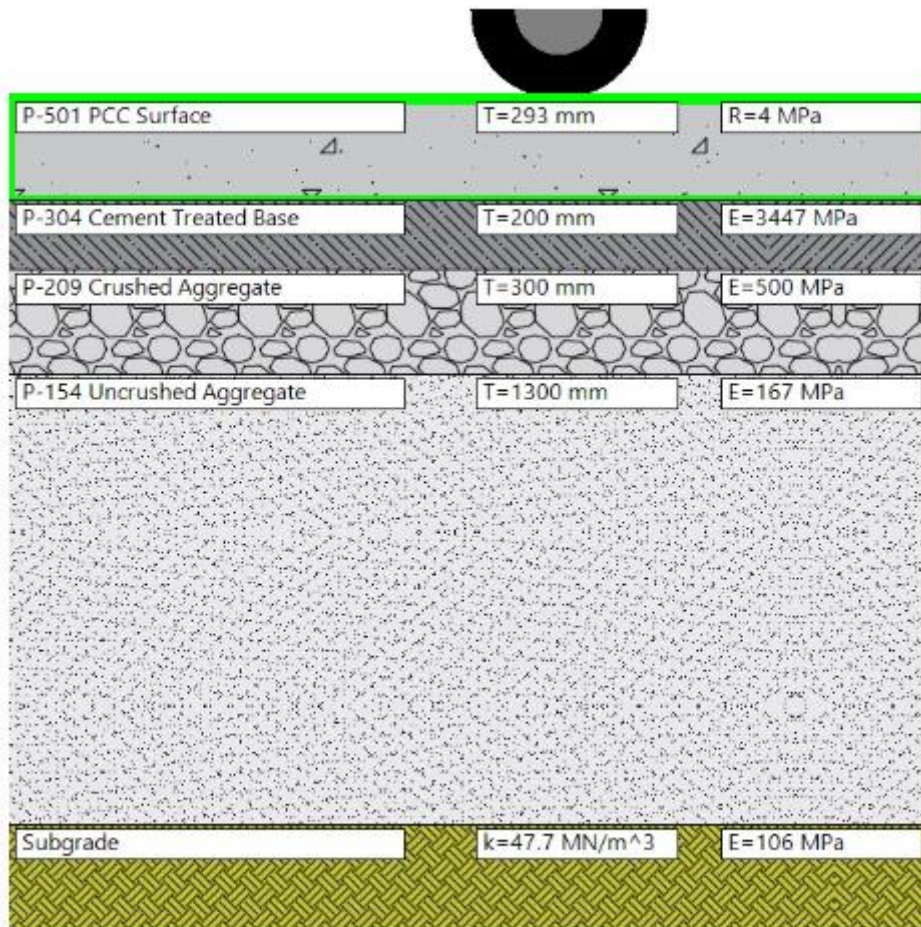
No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	A300-600 Std Bogie	0.0	0.01	3.38
2	A300-B4/C4 Std Bogie	0.0	0.00	3.63
3	A310-300	0.0	0.00	3.64
4	A319-100 opt	0.0	0.00	3.66
5	A320-200 std	0.0	0.03	3.7
6	A321-200 std	0.8	0.75	3.46
7	A330-200 WV020	0.0	0.09	1.98

Perroon K lähteandmed lehekülj 2

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
8	Beechcraft King Air 350	0.0	0.00	7.02
9	BAe 146-300/300QC/300QT	0.0	0.00	3.72
10	B737-300	0.0	0.00	3.8
11	B737-400	0.0	0.00	3.52
12	B737-500	0.0	0.00	3.82
13	B737-700	0.0	0.00	3.68
14	B737-800	0.1	0.13	3.53
15	B747-200/300	0.0	0.01	3.46
16	B747-200/300 Belly	0.0	0.01	3.47
17	B747-400	0.0	0.02	3.47
18	B747-400 Belly	0.0	0.02	3.47
19	B747-8	0.1	0.19	3.55
20	B747-8 Belly	0.0	0.19	3.55
21	B757-200	0.0	0.00	3.92
22	B767-200 ER	0.0	0.00	3.59
23	B767-300 ER	0.0	0.00	3.63
24	B777-200	0.0	0.00	4.18
25	Beechcraft King Air C90	0.0	0.00	4.81
26	C-130	0.0	0.00	4.67
27	Cessna 172 Skyhawk	0.0	0.00	8.68
28	Cessna 208B Grand Caravan EX	0.0	0.00	5.76
29	Cessna Citation II/Bravo C550/551	0.0	0.00	5.79
30	Cessna Citation V	0.0	0.00	5.52
31	CRJ100/200	0.0	0.00	5.41
32	CRJ900	0.0	0.00	4.17
33	CRJ1000	0.0	0.00	4.37
34	DC3	0.0	0.00	2.65
35	Q400/Dash 8 Series 400	0.0	0.00	5.57
36	ERJ-135	0.0	0.00	5.19
37	ERJ-145 ER	0.0	0.00	5.18
38	EMB-170 STD	0.0	0.00	3.9
39	EMB-190 STD	0.0	0.00	3.85
40	Dassault Falcon 2000	0.0	0.00	6.8
41	Dassault Falcon 900B/C	0.0	0.00	5.12
42	Gulfstream-G-IV	0.0	0.00	4.53
43	Gulfstream G-V/G500/G550	0.0	0.00	4.23
44	Hawker-800/800XP	0.0	0.00	6.29
45	IL-62	0.0	0.00	2.99
46	Learjet 35/36/35A/36A	0.0	0.00	8.68
47	Learjet 45/55B	0.0	0.00	8.61
48	MD-83	0.0	0.00	3.42
49	PA-28R-200 Cherokee Arrow	0.0	0.00	8.78
50	PA-32R-301 Saratoga	0.0	0.00	6.37
51	PA-31-325 Navajo C/R	0.0	0.00	6.25
52	Saab 340B	0.0	0.00	3.96
53	TU-134A	0.0	0.00	4.46

*User Is responsible For checking frost protection requirements.*

Perroon K lähteandmed lehekülj 3



Perroon K lähteandmed lehekülj 4

## Federal Aviation Administration FAARFIELD CDF Graph

FAARFIELD 2.0.0.i RC 10/14/2020

Job Name: APRON K

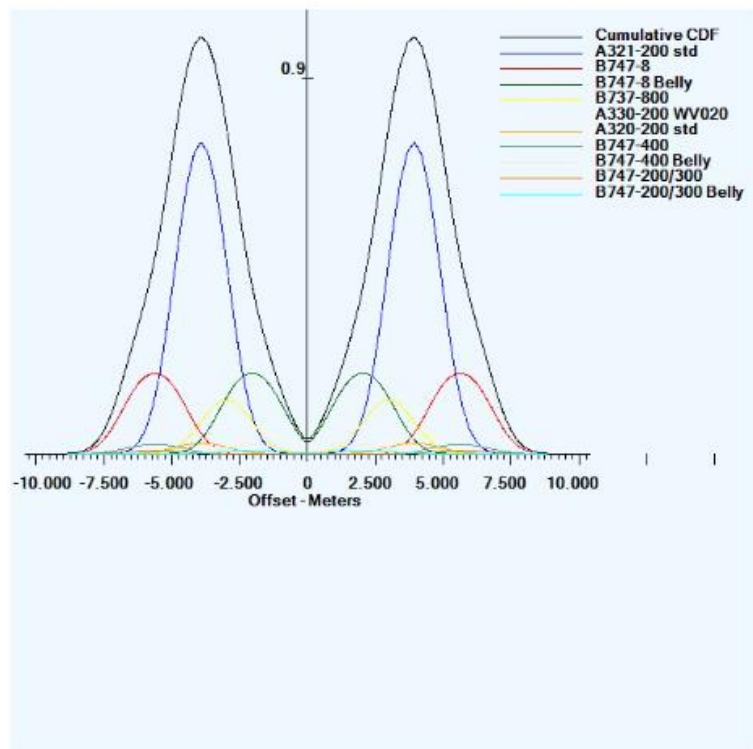
Section: K

Analysis Type: New Rigid

Last Run: Thickness Design

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 2093mm



Perroon K CDF graafik

**Table 1 – Pavement Classification Number Code**

Feature	Station (km)	Pavement Classification Number Code	
Runway 8-26	0.000 to 0.550	31/F/B/X/T	
	0.550 to 2.775	114/F/A/X/T	
	2.775 to End	61/F/A/X/T	
Taxiway A	0.000 to 1.100	74/F/A/X/T	
	1.100 to End	78/F/A/X/T	
Taxiway B	0.000 to 0.075	78/F/A/X/T	
	0.075 to End	63/F/A/X/T	
Taxiway C	0.000 to 0.075	104/F/A/X/T	
	0.075 to End	65/F/A/X/T	
Taxiway D	0.000 to End	26/F/B/X/T	
Taxiway E	0.000 to End	47/F/A/X/T	
Taxiway F	0.000 to End	97/F/A/X/T	
Apron A	Taxi Line 1	0.000 to End	61/F/A/X/T
	Taxi Line 2	0.000 to End	78/F/A/X/T
	Taxi Line 3	0.000 to End	84/F/A/X/T
	Taxi Line 4	0.000 to End	81/F/A/X/T
	Taxi Line 5	0.000 to End	99/F/A/X/T
Apron B	Taxi Line 1	0.000 to 0.045	83/F/A/Y/T
		0.045 to End	14/F/B/Y/T
	Taxi Line 2	0.000 to End	13/F/C/Y/T
	Taxi Line 3	0.000 to End	18/F/B/Y/T

2008. aasta Dynatesti aruanne Tabel 1 lk 1.

**Table 6.7 – PCN Results of Runway 08-27**

Pavement	Station		PCN [average]	PCN [85-percentil]	ACN [average]
	From	To			
<b>RWY 08-27 – 6mL</b>					
Section 1	0.02	0.52	>81/F/C/W/T	62	81
Section 2	0.58	2.18	>120/F/A/W/T	>120	64
<b>RWY 08-27 – 3mL</b>					
Section 1	0.00	0.50	>100/F/C/W/T	51	83
Section 2	0.55	2.40	>120/F/A/W/T	>120	64
<b>RWY 08-27 – 3mR</b>					
Section 1	0.00	0.55	>80/F/C/W/T	51	78
Section 2	0.60	3.05	>120/F/A/W/T	>120	64
<b>RWY 08-27 – 6mR</b>					
Section 1	0.02	0.52	87/F/C/W/T	72	87
Section 2	0.57	3.02	>120/F/A/W/T	>120	64

2015. aasta Dynatesti aruanne Tabel 6.7 lk 29.

Table 6.19 – PCN Results of Runway 08-26.

Track	From (km)	To (km)	PCN [Average]	PCN [85-percentile]	ACN [A310]
18mL	0.000	0.550	>120/F/D/W/T	>120	70
	0.550	3.070	>120/F/B/W/T	>120	45
	3.070	3.490	>250/F/C/W/T	>120	54
6mL	0.000	0.550	>120/F/D/W/T	101	70
	0.550	3.070	>120/F/B/W/T	>120	45
	3.070	3.490	119/F/C/W/T	115	54
3mL	0.000	0.550	110/F/D/W/T	70	70
	0.550	3.070	>120/F/B/W/T	>120	45
	3.070	3.490	118/F/D/W/T	107	70
3mR	0.000	0.550	110/F/D/W/T	78	70
	0.550	3.070	>120/F/B/W/T	>120	45
	3.070	3.490	122/F/D/W/T	108	70
6mR	0.000	0.550	116/F/D/W/T	90	70
	0.550	3.070	>120/F/C/W/T	>120	54
	3.070	3.490	116/F/C/W/T	112	54
18mR	0.000	0.550	>120/F/D/W/T	>120	70
	0.550	3.070	>120/F/C/W/T	>120	54
	3.070	3.490	>120/F/C/W/T	>120	54

2017. aasta Dynatesti aruanne Tabel 6.19 lk 40.

## Lisa 3.5 Kasutatud likluskoosseis

Section

Job Name: TLL RWY 0-550    PCR    Run    Status: Gear Structure

Section Name: 0-550     Include in summary report     Add To Batch    PCR Calculation Completed  
Run Time: 5 seconds  
PCR = 268/F/D/X/T

Pavement Layers

Pavement Type: New Flexible

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
User Defined	130	2800.00	
User Defined	200	1900.00	
P-209 Crushed Aggregate	240	207.33	
P-154 Uncrushed Aggregate	160	57.37	
Subgrade		28.96	2.8

Select As The Design Layer    Delete Selected Layer

Design Life: 20

Results

Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 730 mm

---

Traffic

Stored Aircraft Mix: 2017    Save Aircraft Mix to File    Clear All Aircraft from List    Remove Selected Aircraft From Section    Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm <sup>2</sup> )	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
Cessna 172 Skyhawk	1160	6730	0	134600	0	0	2.35	345	95.00%	2184	0	248	396	77077	117	9.4
B737-800	79242	12514	0	250280	38.07	182.44	1.28	1407	93.56%	864	0	321	513	129232	785	507.1
EMB-170 STD	36150	16530	0	330600	0	0	1.37	869	95.00%	711	0	278	444	96916	538	203.1
A310-200	142900	7473	0	149460	326.31	334.36	1.25	1330	93.20%	927	1397	312	500	122755	810	555.1
A320-200 std	73900	88	0	1760	0.38	0.51	1.25	1379	93.80%	927	0	313	501	123245	744	444

RWY 0-550 PCR 2017 LOP



Section

Job Name: TLL RWY 0-550    PCR    Run    Status: Gear Structure

Section Name: 0-550     Include in summary report     Add To Batch

PCR Calculation Completed  
Run Time: 7 seconds  
PCR = 390/F/D/X/T

Pavement Layers  
Pavement Type: New Flexible

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
User Defined	130	2800.00	
User Defined	200	1900.00	
P-209 Crushed Aggregate	240	207.33	
P-154 Uncrushed Aggregate	160	57.37	
Subgrade		28.96	2.8

Select As The Design Layer    Delete Selected Layer

Design Life: 20

Results  
Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 730 mm

Traffic

Stored Aircraft Mix: 2015    Save Aircraft Mix to File    Clear All Aircraft from List    Remove Selected Aircraft From Section    Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm <sup>2</sup> )	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
B737-800	79242	3579	0	71580	51.36	52.18	1.28	1407	93.56%	864	0	277	443	96393	785	507.1
EMB-170 STD	36150	11092	0	221840	0	0	1.37	869	95.00%	711	0	277	443	96393	538	203.1
A310-200	142900	848	0	16960	18.14	30.66	1.25	1330	93.20%	927	1397	313	501	123245	810	555.1
A320-200 std	73900	5337	0	106740	0.27	4.49	1.33	1379	93.80%	927	0	285	456	102071	744	444
B737-300	63503	2879	0	57560	38.69	45.72	1.23	1366	90.86%	775	0	368	589	170516	704	388.7
B747-8F	449056	63	0	1260	0.62	45.64	1.23	1524	47.20%	1189	1435	368	589	170516	1052	1051.3
B747-8F Belly	449056	63	0	1260	27.54	45.64	1.23	1524	47.20%	1189	1435	368	589	170516	0	0

### RWY 0-550 PCR 2015 LOP

Section

Job Name: TLL RWY 0-550    PCR    Run    Status: Gear Structure

Section Name: 0-550     Include in summary report     Add To Batch

PCR Calculation Completed  
Run Time: 5 seconds  
PCR = 363/F/D/X/T

Pavement Layers  
Pavement Type: New Flexible

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
User Defined	130	2800.00	
User Defined	200	1900.00	
P-209 Crushed Aggregate	240	207.33	
P-154 Uncrushed Aggregate	160	57.37	
Subgrade		28.96	2.8

Select As The Design Layer    Delete Selected Layer

Design Life: 20

Results  
Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 730 mm

Traffic

Stored Aircraft Mix: 2008    Save Aircraft Mix to File    Clear All Aircraft from List    Remove Selected Aircraft From Section    Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm <sup>2</sup> )	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
EMB-170 STD	36150	8472	0	169440	0	0	1.37	869	95.00%	711	0	274	439	94464	538	203.1
A310-200	142900	233	0	4660	10.42	10.42	1.25	1330	93.20%	927	1397	312	500	122755	810	555.1
B737-300	63503	2350	0	47000	0.22	3.66	1.33	1386	90.86%	775	0	285	456	102071	704	388.7
Cessna 172 Skyhawk	1160	2270	0	45400	0	0	2.35	345	95.00%	2184	0	112	179	15677	117	9.4
B737-200	52617	11010	0	220200	0.04	0.59	1.33	1089	92.76%	775	0	296	473	109845	638	310
Cessna Citation X	16329	4073	0	81460	0	0	1.79	1303	95.00%	311	0	152	244	29187	455	129.1

### RWY 0-550 PCR 2008 LOP

Section

Job Name: TLL RWY 550-3070    PCR    Run    Status: Gear Structure

Section Name: 550-3070     Include in summary report     Add To Batch

PCR Calculation Completed  
Run Time: 4 seconds  
PCR = 728/F/D/X/T

Pavement Layers  
Pavement Type: HMA on Aggregate

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
P-401/P-403 HMA Surface	230	1378.95	
P-209 Crushed Aggregate	300	425.38	
P-154 Uncrushed Aggregate	500	122.60	
Subgrade		57.92	5.6

Design Life: 20

Results  
Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 1030 mm

Traffic

Stored Aircraft Mix: 2017    Save Aircraft Mix to File    Clear All Aircraft from List    Remove Selected Aircraft From Section    Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm <sup>2</sup> )	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
Cessna 172 Skyhawk	1160	6730	0	134600	0	0	1.78	345	95.00%	2184	0	337	539	142709	117	9.4
B737-800	79242	12514	0	250280	0	0	1.18	1407	93.56%	864	0	321	513	129232	785	507.1
EMB-170 STD	36150	16530	0	330600	0	0	1.24	869	95.00%	711	0	278	444	96916	538	203.1
A310-200	142900	7473	0	149460	0	0	1.17	1330	93.20%	927	1397	312	500	122755	810	555.1
A320-200 std	73900	88	0	1760	0	0	1.17	1379	93.80%	927	0	313	501	123245	744	444

### RWY 550-3070 PCR 2017 LOP

Section

Job Name: TLL RWY 550-3070    PCR    Run    Status: Gear Structure

Section Name: 550-3070     Include in summary report     Add To Batch

PCR Calculation Completed  
Run Time: 5 seconds  
PCR = 1444/F/D/X/T

Pavement Layers  
Pavement Type: HMA on Aggregate

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
P-401/P-403 HMA Surface	230	1378.95	
P-209 Crushed Aggregate	300	425.38	
P-154 Uncrushed Aggregate	500	122.60	
Subgrade		57.92	5.6

Design Life: 20

Results  
Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 1030 mm

Traffic

Stored Aircraft Mix: 2015    Save Aircraft Mix to File    Clear All Aircraft from List    Remove Selected Aircraft From Section    Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm <sup>2</sup> )	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
B737-800	79242	3579	0	71580	0	0	1.18	1407	93.56%	864	0	399	638	199967	785	507.1
EMB-170 STD	36150	11092	0	221840	0	0	1.24	869	95.00%	711	0	399	638	199967	538	203.1
A310-200	142900	848	0	16960	0	0	1.17	1330	93.20%	927	1397	312	500	122755	810	555.1
A320-200 std	73900	5337	0	106740	0	0	1.17	1379	93.80%	927	0	313	501	123245	744	444
B737-300	63503	2879	0	57580	0	0	1.22	1386	90.86%	775	0	285	456	102071	704	388.7
B747-8F	449056	63	0	1260	0.18	0.18	1.11	1524	47.20%	1189	1435	368	589	170516	1052	1051.3
B747-8F Belly	449056	63	0	1260	0	0.18	1.11	1524	47.20%	1189	1435	368	589	170516	0	0

### RWY 550-3070 PCR 2015 LOP

Section

Job Name: TLL RWY 550-3070    PCR    Run    Status: Gear Structure

Section Name: 550-3070     Include in summary report     Add To Batch

PCR Calculation Completed  
Run Time: 5 seconds  
PCR = 1013/F/D/X/T

Pavement Layers  
Pavement Type: HMA on Aggregate

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
P-401/P-403 HMA Surface	230	1378.95	
P-209 Crushed Aggregate	300	425.38	
P-154 Uncrushed Aggregate	500	122.60	
Subgrade		57.92	5.6

Select As The Design Layer    Delete Selected Layer

Design Life: 20

Results  
Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 1030 mm

Traffic

Stored Aircraft Mix: 2008    Save Aircraft Mix to File    Clear All Aircraft from List    Remove Selected Aircraft From Section    Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm^2)	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
EMB-170 STD	36150	8472	0	169440	0	0	1.24	869	95.00%	711	0	372	596	174309	538	203.1
A310-200	142900	233	0	4660	0	0	1.17	1330	93.20%	927	1397	312	500	122755	810	555.1
B737-300	63503	2350	0	47000	0	0	1.22	1386	90.86%	775	0	285	456	102071	704	388.7
Cessna 172 Skyhawk	1160	2270	0	45400	0	0	1.78	345	95.00%	2184	0	112	179	15677	117	9.4
B737-200	52617	11010	0	220200	0	0	1.21	1089	92.76%	775	0	296	473	109845	638	310
Cessna Citation X	16329	4073	0	81460	0	0	1.51	1303	95.00%	311	0	152	244	29187	455	129.1

RWY 550-3070 PCR 2008 LOP

Section

Job Name: TLL RWY 3070-3490    PCR    Run    Status: Gear Structure

Section Name: 3070-3490     Include in summary report     Add To Batch

PCR Calculation Completed  
Run Time: 5 seconds  
PCR = 553/F/D/X/T

Pavement Layers  
Pavement Type: New Flexible

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
P-401/P-403 HMA Surface	130	1378.95	
User Defined	150	1900.00	
P-209 Crushed Aggregate	152	383.59	
P-154 Uncrushed Aggregate	800	122.89	
Subgrade		38.27	3.7

Select As The Design Layer    Delete Selected Layer

Design Life: 20

Results  
Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 1232 mm

Traffic

Stored Aircraft Mix: 2017    Save Aircraft Mix to File    Clear All Aircraft from List    Remove Selected Aircraft From Section    Delete Aircraft Mix File

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm^2)	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
Cessna 172 Skyhawk	1160	6730	0	134600	0	0	1.55	345	95.00%	2184	0	312	500	122471	117	9.4
B737-800	79242	12514	0	250280	0	0	1.14	1407	93.56%	864	0	321	513	129232	785	507.1
EMB-170 STD	36150	16530	0	330600	0	0	1.18	869	95.00%	711	0	278	444	96916	538	203.1
A310-200	142900	7473	0	149460	1.06	1.06	1.12	1330	93.20%	927	1397	312	500	122755	810	555.1
A320-200 std	73900	88	0	1760	0	0	1.12	1379	93.80%	927	0	313	501	123245	744	444

RWY 3070-3490 PCR 2017 LOP

Section

Job Name: TLL RWY 3070-3490    PCR    Run

Section Name: 3070-3490     Include in summary report     Add To Batch

Pavement Layers

Pavement Type: New Flexible

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
P-401/P-403 HMA Surface	130	1378.95	
User Defined	150	1900.00	
P-209 Crushed Aggregate	152	383.59	
P-154 Uncrushed Aggregate	800	122.89	
Subgrade		38.27	3.7

Design Life: 20

Results

Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 1232 mm

PCR Calculation Completed  
Run Time: 5 seconds  
PCR = 977/F/D/X/T

Traffic

Stored Aircraft Mix: 2015               

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm <sup>2</sup> )	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
B737-800	79242	3579	0	71580	0	0	1.14	1407	93.56%	864	0	361	578	164103	785	507.1
EMB-170 STD	36150	11092	0	221840	0	0	1.18	869	95.00%	711	0	361	578	164103	538	203.1
A310-200	142900	848	0	16960	0.11	0.12	1.12	1330	93.20%	927	1397	312	500	122755	810	555.1
A320-200 std	73900	5337	0	106740	0	0	1.12	1379	93.80%	927	0	313	501	123245	744	444
B737-300	63503	2879	0	57580	0	0	1.16	1386	90.86%	775	0	285	456	102071	704	388.7
B747-5F	449056	63	0	1260	1.27	1.27	1.08	1524	47.20%	1189	1435	368	589	170516	1052	1051.3
B747-5F Belly	449056	63	0	1260	0.01	1.27	1.08	1524	47.20%	1189	1435	368	589	170516	0	0

### RWY 3070-3490 PCR 2015 LOP

Section

Job Name: TLL RWY 3070-3490    PCR    Run

Section Name: 3070-3490     Include in summary report     Add To Batch

Pavement Layers

Pavement Type: New Flexible

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
P-401/P-403 HMA Surface	130	1378.95	
User Defined	150	1900.00	
P-209 Crushed Aggregate	152	383.59	
P-154 Uncrushed Aggregate	800	122.89	
Subgrade		38.27	3.7

Design Life: 20

Results

Calculated Life:    Total thickness to the top of the subgrade: 1232 mm

PCR Calculation Completed  
Run Time: 5 seconds  
PCR = 795/F/D/X/T

Traffic

Stored Aircraft Mix: 2008               

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	Dual Tire Spacing (mm)	Tandem Tire Spacing (mm)	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Contact Area (mm <sup>2</sup> )	ACR Thick (mm) (D)	ACR/F/D
EMB-170 STD	36150	8472	0	169440	0	0	1.18	869	95.00%	711	0	346	553	150258	538	203.1
A310-200	142900	233	0	4660	0.03	0.03	1.12	1330	93.20%	927	1397	312	500	122755	810	555.1
B737-300	63503	2350	0	47000	0	0	1.16	1386	90.86%	775	0	285	456	102071	704	388.7
Cessna 172 Skyhawk	1160	2270	0	45400	0	0	1.55	345	95.00%	2184	0	112	179	15677	117	9.4
B737-200	52617	11010	0	220200	0	0	1.16	1089	92.76%	775	0	296	473	109845	638	310
Cessna Citation X	16329	4073	0	81460	0	0	1.38	1303	95.00%	311	0	152	244	29187	455	129.1

### RWY 3070-3490 PCR 2008 LOP