

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra silničních staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Letištní vozovky

Airport pavements

Vypracovala: Tereza Vyskočilová

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Pánek, Ph.D.

Praha 2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Vyskočilová</u>	Jméno: <u>Tereza</u>	Osobní číslo: <u>476985</u>
Zadávací katedra: <u>K136 - Katedra silničních staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Letištní vozovky</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Airport pavements</u>	
Pokyny pro vypracování: Shrňte problematiku zpevněných letištních ploch (rozmístění, geometrické parametry, únosnost.....). Zaměřte se na systém únosnosti ACN/PCN. Stanovte hodnotu PCN pro konkrétní letištní vozovku.	
Seznam doporučené literatury: Aerodrome design manuals, L14 Letiště, COMFAA 3.0 Kaun M.: Letiště (Navrhování), ČVUT, Praha 1996	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Petr Pánek, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>19.2.2021</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>16.5.2021</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

19.2.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je popsat jednotlivé typy vozovek na letišti, rozdělení letištních ploch, popsat různé metody hodnocení únosnosti vozovek a určit klasifikační čísla letadel metodou ACN/PCN.

Klíčová slova

Vozovka, systém ACN/PCN, letiště, konstrukce, L14, runway, EISWL, COMFAA

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to describe the types of pavements at the airport, types of airfield areas, describe the different methods of assessing the bearing capacity of pavements and determine the classification numbers of aircrafts using the ACN/PCN method.

Keywords

Pavement, system ACN/PCN, airport, construction, L14, runway, EISWL, COMFAA

Poděkování:

Děkuji Ing. Petru Pánkovi, Ph.D., za jeho odborné a přátelské vedení, užitečné rady a připomínky při zpracování bakalářské práce.

Ráda bych také poděkovala mé rodině a blízkým, kteří mě během celého studia na vysoké škole podporovali.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „**Letištní vozovky**“ zpracovala samostatně a veškeré informace, které jsem použila k vypracování, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 16.05.2021

.....

Tereza Vyskočilová

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
1. ÚVOD	9
2. HISTORICKÝ VÝVOJ LETIŠTNÍCH VOZOVEK V ČR	10
3. ROZDĚLENÍ LETIŠTNÍCH PLOCH	14
3.1 Dráha/RWY (Runway)	14
3.2 Postranní pás (Shoulder)	15
3.3 Dráhový pás / Pás RWY (Runway strip)	15
3.4 Dojezdová dráha / SWY (Stopway)	16
3.5 Předpolí/CWY (Clearway)	17
3.6 Koncová bezpečnostní plocha / RESA (Runway end safety area)	17
3.7 Pojezdová dráha / TWY (Taxiway)	18
3.8 Odbavovací plocha (Apron)	19
4. KONSTRUKCE LETIŠTNÍCH VOZOVEK	20
4.1 Nezpevněné vozovky	20
4.1.1 Travnaté vozovky	20
4.2 Zpevněné vozovky	21
4.2.1 Zpevněné travnaté vozovky	21
4.2.2 Vrstvy letištní vozovky	23
4.2.2.1 Ochranná vrstva (spodní podkladní vrstva)	23
4.2.2.2 Podkladní vrstva	23
4.2.2.3 Kryt	24
4.2.2.3.1 Netuhé asfaltové vozovky	24
4.2.2.3.2 Tuhé cementobetonové vozovky	26
5. ÚNOSNOST LETIŠTNÍCH VOZOVEK	29
5.1 Zatěžování vozovek	30
5.2 Systém ESIWL (Ekvivalent Single Isolated Wheel Load)	32
5.3 Systém LCN (Load Classification Number)	32
5.4 Systém ACN/PCN (Aircraft Classification Number / Pavement Classification Number)	33
5.4.1 Klasifikační číslo letadla (ACN)	33
5.4.2 Klasifikační číslo vozovky (PCN)	34

6. ZPŮSOBY STANOVENÍ HODNOT ACN A PCN	38
6.1 Klasifikační číslo letadla (ACN).....	38
6.1.1 Matematické metody.....	38
6.1.2 Výpočet dle Aerodrome Design Manual – Part 3.....	38
6.1.3 Grafy od výrobce	40
6.1.4 Výpočetní program	41
6.1.5 Tabulky od výrobce.....	42
6.2 Klasifikační číslo vozovky (PCN).....	42
6.2.1 Hodnocení podle zkušeností (Using aircraft)	42
6.2.2 Technické hodnocení.....	43
7. STANOVENÍ HODNOTY ACN	45
7.1 Airbus A320-200	45
7.1.1 Výpočet dle ADM	45
7.1.2 Grafy	49
7.1.3 Program COMFAA 3.0.....	51
7.1.4 Výsledné tabulky.....	52
7.2 Boeing B737-800	53
7.2.1 Výpočet dle ADM.....	53
7.2.2 Grafy	57
7.2.3 Program COMFAA 3.0.....	59
7.2.4 Výsledné tabulky.....	60
7.3 Airbus A380-800	61
7.3.1 Výpočet dle ADM	61
7.3.2 Grafy	61
7.3.3 Program COMFAA 3.0.....	63
7.3.4 Výsledné tabulky.....	64
7.4 Shrnutí výsledků	65
8. ZÁVĚR	67
9. SEZNAM OBRÁZKŮ	68
10. SEZNAM TABULEK	70
11. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
11.1 Literatura.....	71
11.2 Internetové zdroje	72

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ACN	Aircraft Classification Number / Klasifikační číslo letounu
CBR	California Bearing Ratio / Kalifornský poměr únosnosti
CDF	Cumulative damage factor / Kumulativní faktor poškození
CWY	Clearway / Předpolí
DSWL	Derived Single Wheel Load / Vypočítané zatížení jednoho kola
FAA	Federal Aviation Administration / Federální letecká správa
ICAO	International Civil Aviation Organization / Mezinárodní organizace pro civilní letectví
L14	Anexx č. 14 z ICAO v českém překladu
PCN	Pavement Classification Number / Klasifikační číslo vozovky
RESA	Runway and safety area / Koncové a bezpečnostní plochy 7
RWY	Runway / Vzletová a přistávací dráha
SWY	Stopway / Dojezdová dráha
TWY	Taxiway / Pojezdová dráha
VPD	Vzletová a přistávací dráha

1. ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá problematikou letištních vozovek. Letištní vozovky tvoří specifickou skupinu v oboru vozovek pozemních komunikací. Mají rozdílné typy namáhání, rozměry, složité a časově náročné opravy a rekonstrukce.

Na začátku práce je popsán historický vývoj letištních vozovek v České republice, rozdělení letištních ploch a typy letištních vozovek.

Ve své praktické části jsem se věnovala únosnosti letištních vozovek. Všechny letištní plochy musí vyhovovat maximálnímu zatížení, které je vyvozené letadlem. Je potřeba tedy stanovit vztah mezi únosností letištních ploch a zatěžovací charakteristikou letadel. Existují tři metody, které se využívají na stanovení těchto vztahů.

Nejpoužívanější metodou je systém ACN/PCN, kde se stanovuje klasifikační číslo letadla a vozovky. V hlavní části bakalářské práce je ukázáno několik způsobů, jak určit hodnotu klasifikačního čísla letadla. Hodnoty ACN jsou vypočítány pro tři různé typy letadel od společnosti Airbus a Boeing. Problematika stanovení hodnot ACN je rozsáhlá a existuje několik způsobů, jak postupovat při jejich určení.

Cílem této bakalářské práce je ukázat základní postupy a na základě jejich výsledků říci, který výpočet je přesnější a jak by bylo případně potřeba metodu ACN/PCN vylepšit.

2. HISTORICKÝ VÝVOJ LETIŠTNÍCH VOZOVEK V ČR

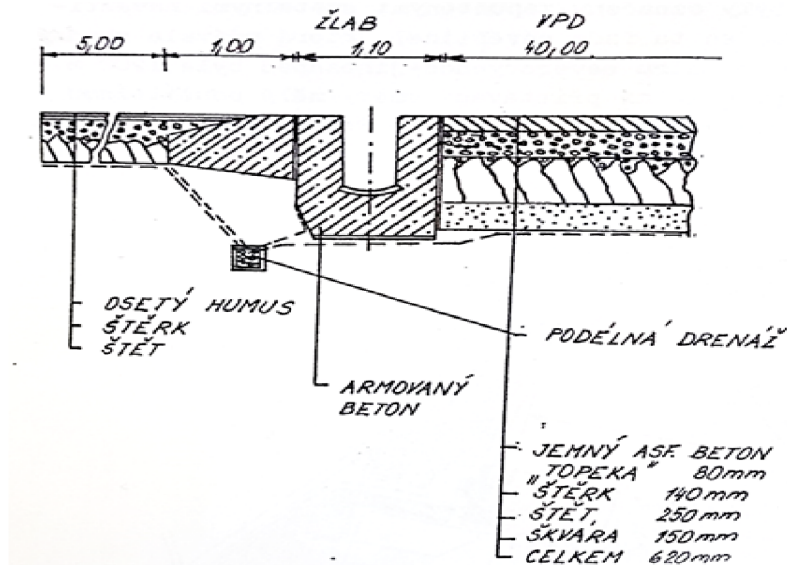
První travnaté plochy byly u nás vybudovány na letišti na Chebsku v letech 1916–1917 a byly zničeny na konci první světové války. Za druhé světové války vzniklo druhé chebské letiště, kde se postavila betonová i travnatá RWY.

V roce 1918 vzniklo první pražské letiště ve Kbelích. Bylo to první plnohodnotné letiště na našem území, které bylo využíváno hlavně jako vojenské, ale později i jako sportovní a dopravní. Se vzrůstajícím počtem linek se muselo založit nové letiště.

V roce 1937 bylo postaveno nové letiště Praha-Ruzyně (dnes letiště Václava Havla), které bylo určeno pouze pro civilní dopravu, a na letišti Praha-Kbely zůstal vojenský letecký provoz. Letiště Ruzyně se v té době stalo jedním z nejmodernějších letišť ve světě a vzorem pro výstavbu dalších zahraničních letišť.

Letiště bylo vybudováno s travnatými vzletovými a přistávacími pásy. Díky prudkému rozvoji techniky a letecké dopravy došlo takřka k okamžitému rozšíření letiště a v průběhu čtyřicátých let dvacátého století byla vybudována první zpevněná plocha na letišti Ruzyně.

Konstrukce vozovky, která byla použita, je dnes již velice zastaralá. Podloží bylo tvořeno škvárou v tloušťce 150 mm, na kterém byla položena vrstva štěrku o tloušťce 250 mm a na ní byla vrstva zakaleného štěrku o tloušťce 140 mm. Kryt byl tvořen jemnozrnným asfaltovým betonem tloušťky 80 mm.



Obr. 1: Praha-Ruzyně konstrukce RWY 04/22 z roku 1938 [7]

Po roce 1939 došlo opět ke změně skladby konstrukce. Začala se používat deska z prostého cementového betonu a do podkladních vrstev se použila štěrkokodř nebo štěrkopísek.

Díky nárůstu provozu a zvyšování hmotnosti letadel se začaly na zpevněných vozovkách objevovat poruchy hlavně u RWY 13/31 (dnes 12/30). Jelikož v té době nebyly takové technologické možnosti a provoz nemohl být přerušen na delší dobu, byla nová cementobetonová deska položena na starou desku a desky byly od sebe odděleny tenkou vrstvou plastického asfaltobetonu. Rozdílná pokládka, kvalita betonu a velké rozměry desky zapříčinily vznik rozsáhlých poruch, jako například koroze, trhliny a další.

Byla provedena rekonstrukce obou hlavních drah RWY 07/25 (dnes 06/24) a RWY 13/31 úplně stejně, jen desky oddělovala živičná vrstva. Jako první byla opravena RWY 13/31, u které se konstrukce skládala ze tří cementobetonových desek. Dále se opravila a prodloužila RWY 07/25.

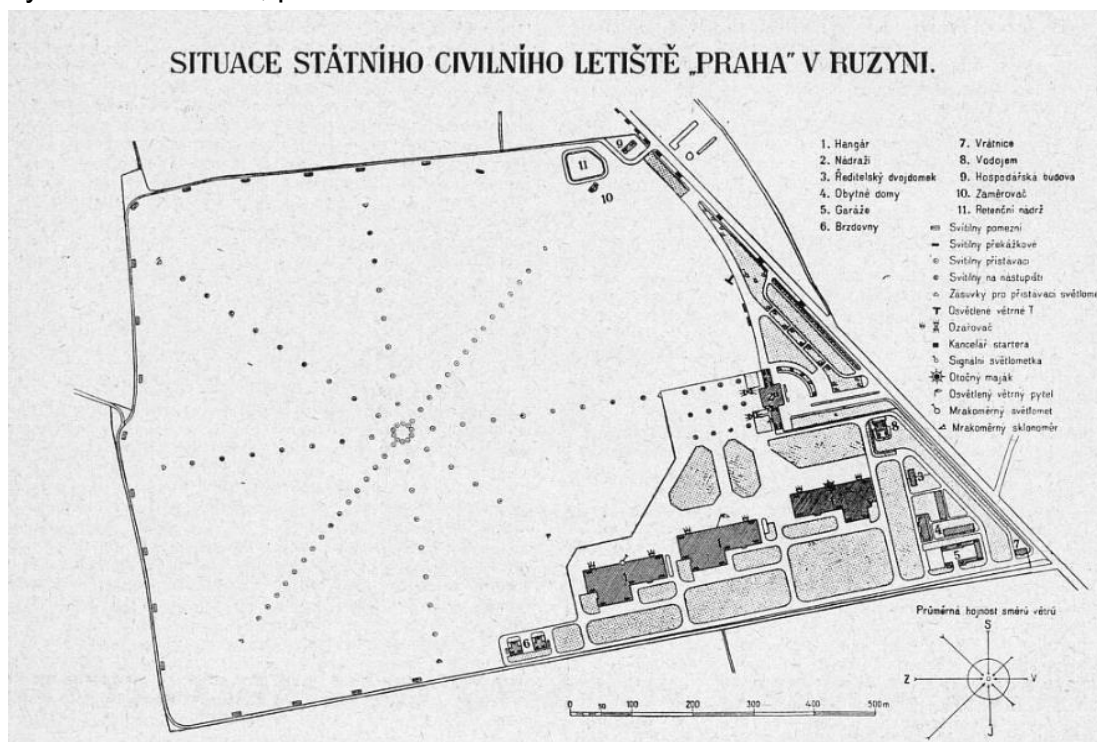
Jelikož spodní desky nebyly dokonale rovné a spodní povrch nové desky její nerovnosti kopíroval, začaly se opět objevovat poruchy. Proto se v devadesátých letech vybouraly všechny staré cementobetonové desky a byly nahrazeny jednou deskou.

V roce 2012 byla zahájena generální oprava hlavní dráhy RWY 06/24. Rekonstrukce byla rozdělena do tří etap. První etapa proběhla v roce 2012

a opraveno bylo zhruba 900 metrů dráhy z celkové délky 3 715 m. Jelikož během první etapy hluk přistávajících letadel rušil obyvatele v hustě obydlené pražské části, byly nakonec druhá a třetí etapa spojeny do jedné. V roce 2013 bylo opraveno zbývajících 2 815 m, včetně 400metrového úseku, kde se hlavní dráha kříží s vedlejší RWY 12/30. Kromě výměny krytu a podkladních vrstev byla nutná stabilizace aktivní zóny hydraulickým pojivem v místě křížení, jelikož jde o nejvíce namáhaný úsek. Na stabilizovanou pláň se rozprostřela nestmelená ochranná vrstva ze štěrkodrti o tloušťce 350 mm, na kterou byla položena cementová stabilizace v tloušťce 200 mm. Horní podkladní vrstva je tvořena mezerovitým betonem o tloušťce 160 mm. Kryt byl proveden z cementobetonové desky tloušťky 400 mm.

V roce 2017 byla provedena rekonstrukce CB krytu vzletové a přistávací dráhy 12/30 a opraveno bylo zhruba 225 m dráhy.

V dnešní době má letiště Václava Havla problém s nedostatečnou kapacitou dráhového systému, který se vyřeší jen v případě, že bude vybudována nová, paralelní dráha.



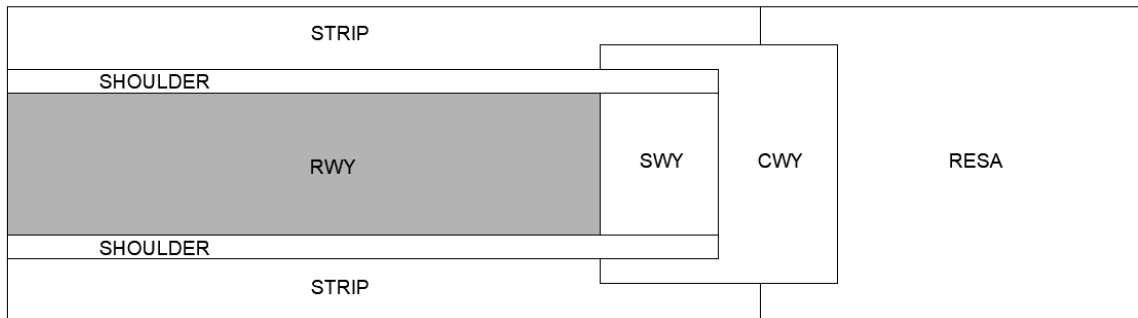
Obr. 2: Satelitní snímek letiště Praha-Ruzyně z roku 1936 [7]

Mezi další významná letiště patří i například letiště v Karlových Varech, které bylo postaveno s nezpevněnými plochami a jehož provoz byl zahájen v roce 1931. V roce 1952 byla zahájena výstavba zpevněné RWY 11/29. V roce 1985 proběhla rekonstrukce dráhy. Další rekonstrukce povrchu RWY byla zahájena koncem roku 2005, jejímž záměrem bylo navýšit únosnost, protože stávající únosnost plochy již nevyhovovala kvůli narůstajícímu provozu a technická životnost vozovky byla vyčerpána.

Za zmínku určitě stojí i letiště Brno-Tuřany, které bylo otevřeno v roce 1954 a sloužilo pro vojenský i civilní provoz. Letiště bylo postaveno pouze s travnatými plochami. Od roku 1989 má letiště mezinárodní letecký provoz. Nyní má RWY 09/27 cementobetonový povrch a RWY 08/26 travnatý povrch.

3. ROZDĚLENÍ LETIŠTNÍCH PLOCH

3.1 Dráha/RWY (Runway)



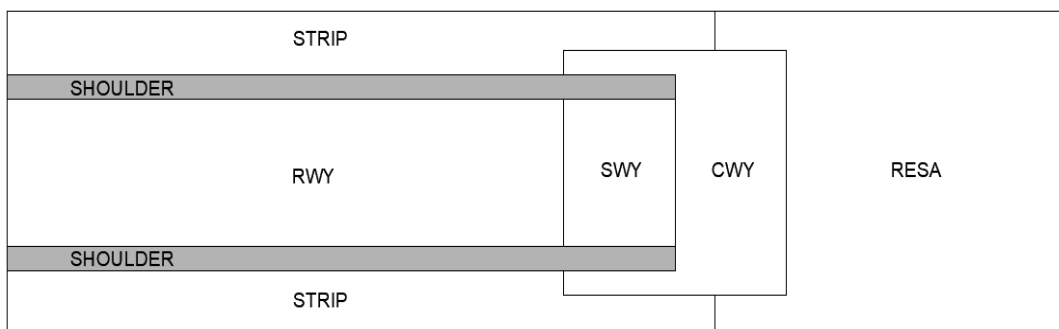
Obr. 3: Schéma RWY

Vzletová a přistávací dráha je vymezená plocha na letišti, která je určena pro přistání a vzlety letadel. RWY může být zpevněná (beton, asfalt, asfaltobeton) nebo nezpevněná (travnatá).



Obr. 4: RWY Letiště Václava Havla [26]

3.2 Postranní pás (Shoulder)

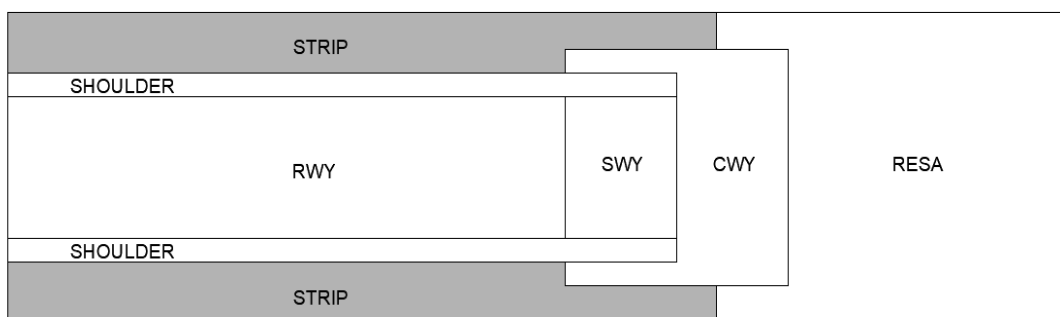


Obr. 5: Schéma postranního pásu

Postranní pás je zpevněná plocha, která zajišťuje přechod mezi zpevněnou plochou RWY a nezpevněnou plochou. Postranní pás se buduje pouze u velkých letišť.

Musí být vybudován tak, aby přenesl zatížení letadla při vyjetí z RWY, aniž by došlo ke vzniku poškození konstrukce. Konstrukce vozovky postranního pásu se navrhuje asfaltová s menší tloušťkou, než má vozovka RWY.

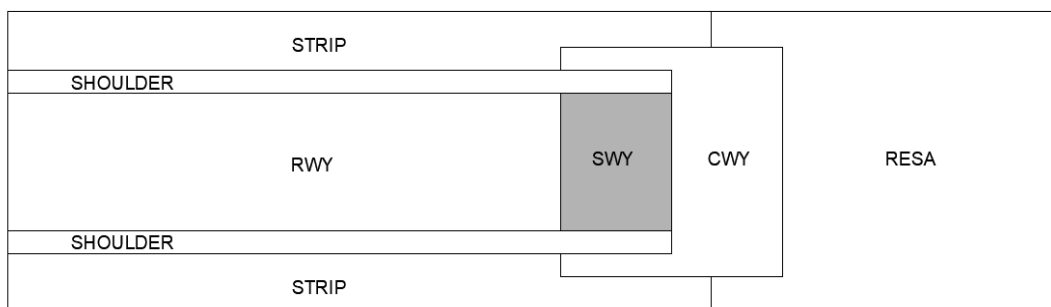
3.3 Dráhový pás / Pás RWY (Runway strip)



Obr. 6: Schéma dráhových pásů

Dráhový pás je nezpevněná plocha navazující na RWY, která je určena ke snížení nebezpečí poškození letadla v případě, že vyjede z RWY, a zajišťuje bezpečnost letadla letícího nad pásem RWY při vzletu nebo přistání. V těchto pásech se nesmí nacházet objekty, které by mohly ohrozit přistávající nebo vzlétající letadlo.

3.4 Dojezdová dráha / SWY (Stopway)



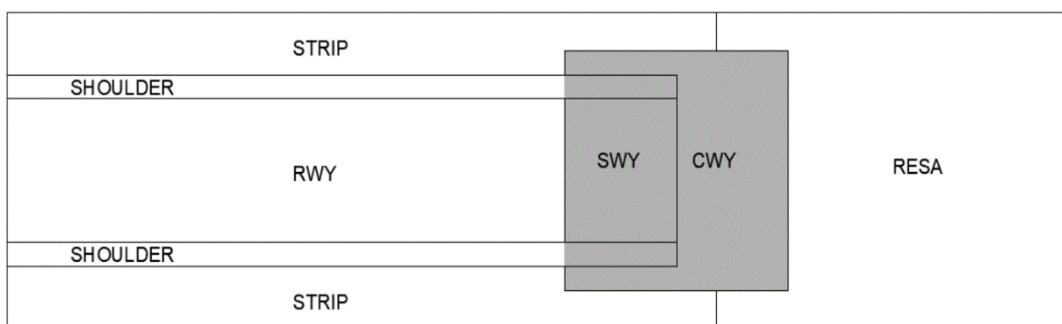
Obr. 7: Schéma dojezdové dráhy

Dojezdová dráha je zpevněná plocha navazující na konec použitelné délky rozjezdu tak, aby na ploše mohlo letadlo zastavit, pokud přeruší vzlet. Konstrukce vozovky se navrhuje asfaltová s menší tloušťkou, než má vozovka RWY. Stačí, aby konstrukce snesla určitý počet zatížení.



Obr. 8: Dojezdová dráha / Stopway [25]

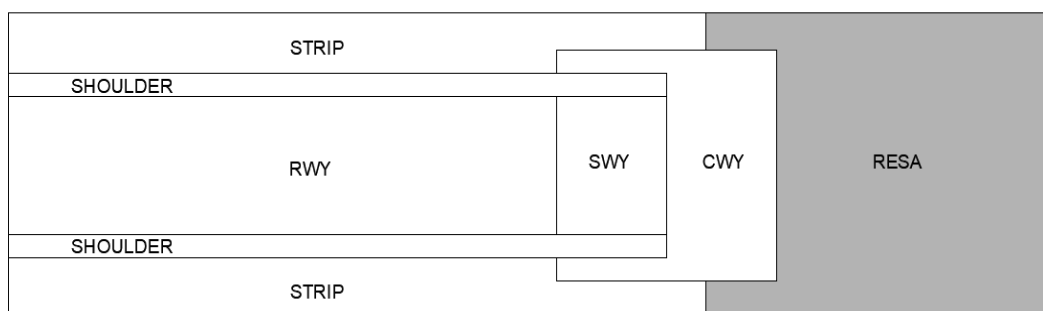
3.5 Předpolí/CWY (Clearway)



Obr. 9: Schéma předpolí

Předpolí je nezpevněná plocha, která se nachází na konci dráhy použitelné pro vzlet. Plocha může být vybudována na zemi nebo na vodě tak, aby nad ní letadlo mohlo provést část svého počátečního stoupání do předepsané výšky. Nemusí být vždy zřízeno.

3.6 Koncová bezpečnostní plocha / RESA (Runway end safety area)



Obr. 10: Schéma koncové bezpečnostní plochy

RESA je nezpevněná plocha navazující na konec pásu RWY, která zvyšuje bezpečnost dosednutí letadla před prahem VPD anebo vyjetí za konec dráhy.

3.7 Pojezdová dráha / TWY (Taxiway)

Zpevněná pojezdová plocha je určena k pojíždění letadel a ke spojení jedné části letiště s druhou. Pojezdová dráha je vystavena větší intenzitě provozu a většímu zatížení od pomalu pojíždějících nebo stojících letadel než RWY.

Pojezdová dráha zahrnuje:

- a) pojezdový pruh, který je součástí odbavovací plochy a umožňuje přístup letadel pouze ke stáním,
- b) pojezdovou dráhu na odbavovací ploše umožňující průjezd odbavovací plochou,
- c) pojezdovou dráhu pro rychlé odbočení, která je připojena k RWY tak, aby umožnila letadlům při vyšší rychlosti odbočit.



Obr. 11: Pojezdová dráha / Taxiway [24]

3.8 Odbavovací plocha (Apron)

Zpevněná plocha na pozemním letišti sloužící k umístění letadel pro nastupování nebo vystupování cestujících, nakládání nebo vykládání zavazadel, plnění letadla pohonnými hmotami, parkování nebo údržbu letadel. Odbavovací plochy se navrhují s cementobetonovou vozovkou, protože letadla zde pomalu pojíždějí, stojí a pohybují se prakticky v jedné stopě.



Obr. 12: Odbavovací plocha / Apron [19]

4. KONSTRUKCE LETIŠTNÍCH VOZOVEK

Letištní vozovky jsou komplikované inženýrské konstrukce, které musí být navrženy tak, aby zajistily rychlý, plynulý, ale hlavně bezpečný provoz letadel. Návrh a výběr letištní vozovky závisí na mnoha parametrech. Mezi ty hlavní patří:

- geologické podmínky,
- dostupnost a cena materiálů,
- zatížení,
- klimatické podmínky.

Letištní vozovky dělíme na:

- nezpevněné:
 - travnaté,
- zpevněné:
 - travnaté,
 - asfaltové (netuhé),
 - cementobetonové (tuhé),
 - dlážděné.

4.1 Nezpevněné vozovky

4.1.1 Travnaté vozovky

Nezpevněné travnaté vozovky se navrhují jen pro letadla o vzletové hmotnosti do 2 000 kg. Při návrhu nezpevněných travnatých ploch je důležité, aby zemina v podloží měla dobré drenážní vlastnosti.

Povrch vozovky musí být tvořen kobercem z letištních travních směsí, které vytvářejí hustý, plastický a pružný drn. Tyto směsi mají vysokou schopnost regenerace, dobře snášejí sešlapávání a nevyžadují speciální intenzivní údržbu. Maximální výška travního porostu může být 35 cm.

Po období delších dešťů je omezen provoz na letištích kvůli podmáčenému povrchu a menší únosnosti. Často je povrch zničen natolik, že je nutné jej opravit včetně kořenového systému.

Únosnost travnaté plochy závisí na kvalitě povrchu, únosnosti a typu zeminy. K měření únosnosti travnatých ploch se využívají penetrometry. Stanovuje se odpor zeminy proti vnikání kužele, kde penetrační odpor je definován jako počet úderů potřebných k zaražení kužele do stanovené hloubky.

V případě, že potřebujeme zvýšit únosnost vozovky, ale zachovat travnatý povrch, můžeme do zeminy přidat nehašené vápno (CaO). Vápno zvýší únosnost, sníží vlhkost a namrzavost.

4.2 Zpevněné vozovky

4.2.1 Zpevněné travnaté vozovky

V některých případech je nutné přistoupit k dalšímu zpevnění travnatých ploch. Ke zpevnění letištní ploch se nejčastěji využívají plastové zatravňovací dlaždice nebo síťoviny z umělých vláken.

Síťovina se položí do horní vrstvy humusu při zakládání travnatého koberce. Síťovina pomáhá přenášet část smykového zatížení při rozjezdu a brzdění letadel.

V dnešní době se nejvíce používají zatravňovací dlaždice, které je možné instalovat různými způsoby v závislosti na vlastnostech stávající zeminy.

Jestliže je zemina dostatečně únosná, je možné dlaždice zaválcovat přímo do stávajícího travnatého povrchu. Před instalací se nejprve opraví drobné nerovnosti terénu a poseká se tráva na co nejkratší výšku. Zemina musí být při instalaci dostatečně vlhká, aby bylo možné dlaždice zaválcovat.

V případě, že je zemina málo únosná, je nutné vybudovat podkladní vrstvy. Nejprve se upraví zemní pláň například pomocí geosyntetických prvků. Geosyntetika nemění vlastnosti zeminy, snižují množství vytěžené zeminy a zajišťují lepší přenášení tahových napětí. Mezi nejpoužívanější geosyntetika patří geomříže a geotextílie. Pokud je zemina nevhodná a nelze ji upravit běžnými technologiemi, odtěží se a vymění za jinou, vhodnější zeminu.

Na upravenou zemní pláň se rozprostře spodní podkladní vrstva z hrubého kameniva, na kterou se položí horní podkladní vrstva z kamenné drti,

kteřá má užší frakci než spodní podkladní vrstva. Na horní podkladní vrstvu se poté ukládají zatravňovací dlaždice, které se vyplní vhodnou zeminou smíchanou s travní směsí.



Obr. 13: Zatravňovací dlaždice pár dní po instalaci - letiště Šumperk



Obr. 14: Zatravňovací dlaždice dva měsíce po instalaci - letiště Šumperk

4.2.2 Vrstvy letištní vozovky

Letištní zpevněná vozovka je tvořena jednotlivými konstrukčními vrstvami, jejichž únosnost klesá směrem k podloží. Vzhledem k vysokému dopravnímu zatížení musí být v jednotlivých vrstvách vozovky použity kvalitní materiály.

Vozovka spočívá na zemní pláni. U letištních ploch musí být pláň dostatečně únosná, nepropustná a nesmí měnit svůj objem účinkem mrazu a vlhkosti.

Jednotlivé vlastnosti pláně ovlivňují celkový návrh vozovky a cenu. Je tedy nutné, aby součástí projektové dokumentace byl i geotechnický průzkum, který stanoví charakteristiky podloží. Na návrh konstrukce vozovky má také vliv výskyt vhodného stavebního materiálu v okolí letiště. Při výstavbě se využívá nejvíce materiál z místních zdrojů, protože přeprava potřebných materiálů je velice nákladná.

4.2.2.1 Ochranná vrstva (spodní podkladní vrstva)

Na upravenou pláň se rozprostře ochranná vrstva z nenamrzavých nestmelených materiálů, jako jsou štěrkopísek, mechanicky zpevněná zemina nebo štěrkodrt'. U letištních vozovek se nejčastěji využívá štěrkodrt' s třídou zrnitosti Ge (ŠDA).

Ochranná vrstva je určena zejména k ochraně vozovky před účinky promrznání podloží, dále roznáší tlaky do podloží a zabraňuje vzlínání kapilární vody z podloží.

4.2.2.2 Podkladní vrstva

Podkladní vrstva je jednou ze základních konstrukčních částí vozovky, jejímž úkolem je roznášet zatížení od podvozku letadla, které na něj přechází z vrstev krytu, na dostatečně velkou plochu podsypu a podloží. Podkladní vrstva také zajišťuje, aby nedošlo k nepřípustným deformacím podloží a podkladních vrstev, a také přispívá k ochraně podloží před jeho promrznáním.

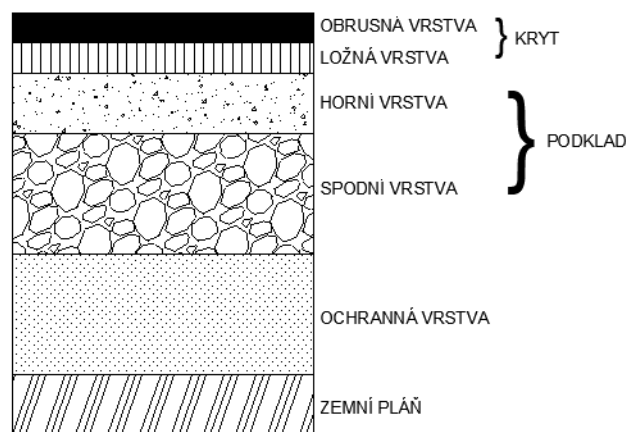
Podkladní vrstvy dělíme na:

- *nestmelené*, které jsou vhodné pro vozovky nižších skupin dopravního zatížení. Do nestmelených vrstev se využívá šterkodrť, vibrovaný šterk a mechanicky zpevněné kamenivo;
- *stmelené*, které se navrhují v případě, že na vozovku působí vyšší zatížení. Na silně zatížených konstrukcích (jako jsou právě letištní vozovky) se doporučuje, aby horní i spodní podkladní vrstva byly stmeleny. Jednotlivá zrna kameniva nebo zeminy jsou stmelená pojivem. Mezi nepoužívanější pojiva patří cement a vápno.

4.2.2.3 Kryt

4.2.2.3.1 Netuhé asfaltové vozovky

Kryt u netuhých asfaltových vozovek je obvykle tvořen ložnou a obrusnou vrstvou. Kryt tvoří horní část konstrukce vozovky, která je přímo vystavena účinkům kol letadel, atmosférickým a klimatickým vlivům. Do krytu musí být využity kvalitní materiály a při výstavbě musí být dodrženy technologické postupy, protože jeho kvalita má velký vliv na životnost vozovky, dopravní náklady a náklady na údržbu.



Obr. 15: Schéma konstrukce netuhé vozovky

Příklad konstrukce asfaltové vozovky na TWY B na letišti České Budějovice:

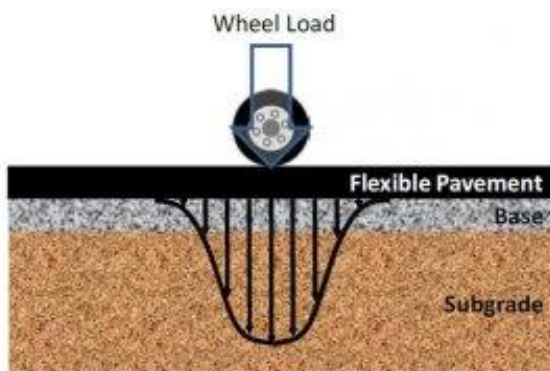
Konstrukce vozovky:

Asfalt. beton pro obrusné vrstvy ČSN EN 13108-1, ČSN 73 6121	ACO 11 50/70	40 mm
Spojovací postřík ČSN 73 6129	PS-E	0,2 kg/m ²
Asfalt. beton pro podkladní vrstvy ČSN EN 13108-1, ČSN 73 6121	ACP 16+	70 mm
Infiltrační postřík ČSN 73 6129	PI-E	0,5 kg/m ²
Štěrkodrt' 73 6126-1	ŠDA 0/32 Ge	min. 250 mm ČSN
Konstrukce celkem		min. 360 mm

- Výhody a nevýhody asfaltové vozovky

Asfaltové vozovky jsou méně výrobně náročné a jejich pořizovací cena je nižší než u cementobetonových vozovek. Při rekonstrukci stačí v některých případech vyměnit pouze obrusnou vrstvu. U asfaltových vozovek je možné zachovat provoz při rekonstrukci. Výhodou je určitě i rovný povrch beze spár.

Na druhou stranu ze statického hlediska méně odolávají smykovým napětím. Mají nižší únosnost než cementobetonové vozovky. Zatížení se u netuhých vozovek přenáší vzájemným spolupůsobením jednotlivých částic materiálu.



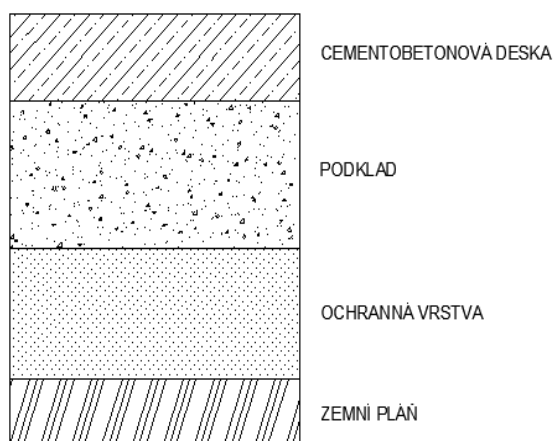
Obr. 16: Rozložení napětí v netuhé vozovce [20]

Asfaltové vozovky musí být chráněny před případným únikem paliva z letadla. Mají nižší životnost a je nutné je častěji opravovat, tím pádem mají vyšší náklady na údržbu.

4.2.2.3.2 Tuhé cementobetonové vozovky

Kryt u tuhých vozovek je tvořen cementobetonovou deskou, která leží na polopružném podkladu. Na letištních plochách se využívají cementobetonové kryty na nejzatíženějších místech, proto se navrhuje cementobetonová deska skupiny CB I.

Pevnost cementobetonové desky závisí na kvalitě směsi kameniva a cementu. Tuhé kryty nejsou tolik plastické jako netuhé, proto je musíme navrhovat na kvalitní podloží.



Obr. 17: Schéma konstrukce tuhé vozovky

Příklad konstrukce cementobetonové vozovky na TWY A na letišti Praha-Kbely:

Konstrukce vozovky:

CB kryt	CB I	320 mm
ČSN 13877, ČSN 73 6123		
Separáční textilie netkaná		500 g/m ²
Směs stmelená cementem	SC 0/32, C _{8/10}	230 mm
ČSN 73 6126-1		
Štěrkořť	Š _{DA} 0/32 Ge	min. 250 mm
ČSN 73 6126-1		
Konstrukce celkem		min. 800 mm

- Výhody a nevýhody cementobetonové vozovky

Hlavní výhodou tuhých cementobetonových vozovek je především jejich vyšší únosnost, která vyplývá z odlišného přenosu zatížení.

Koncentrované zatížení od kol letadla je rozloženo na velkou plochu a napětí pod betonovým krytem jsou malá.



Obr. 18: Rozložení napětí v cementobetonové vozovce [20]

CMB vozovky dobře přejímají svislé tlaky, smykové síly a dobře odolávají dlouhodobým zatížením a úkapům pohonných hmot. Díky vysoké pevnosti betonu má vozovka dlouhou životnost, která samozřejmě závisí na správném technologickém postupu výstavby a údržbě vozovky. Náklady na údržbu cementobetonových vozovek jsou až o třetinu nižší než u netuhých vozovek. Další výhodou je i menší spotřeba paliva, jelikož se cementobetonové vozovky tolik nedeformují jako pružné netuhé vozovky.

Nevýhodou cementobetonových vozovek je vyšší pořizovací cena. Opravy jsou obtížnější než u asfaltových krytů. CMB vozovky je nutné zlepšovat speciálními přísadami a ochrannými nátěry, aby měly vyšší odolnost proti střídavým účinkům mrazu, vody a chemickým rozmrazovacím látkám. Povrch CMB desky je narušen spárami a vozovky nelze zatížit okamžitě po jejich zhotovení, ale musí se čekat, až kryt získá dostatečnou pevnost.

Další nevýhodou je odlišná dilatace horní a spodní části desky, která je způsobena teplotními rozdíly. Deska se potom snaží deformovat do vypouklého, nebo vydutého tvaru. Aby se zabránilo vzniku nepravidelných trhlin od dilatace, je cementobetonový pás rozdělen kontrakčními a dilatačními spárami na jednotlivé desky. Největší rozměr desky cementobetonového krytu u letištních ploch je 7,5 m.

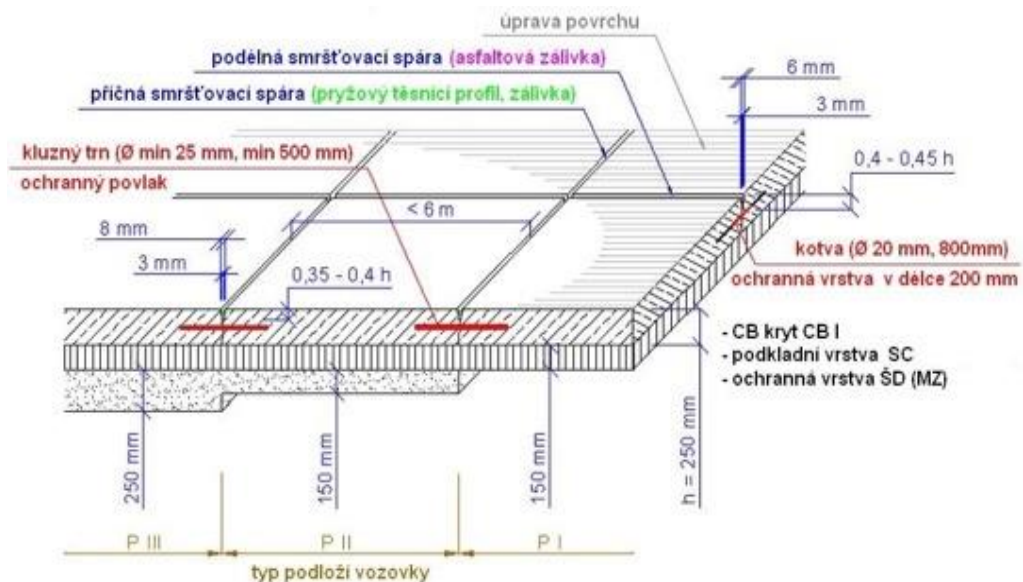
- Spáry

Jak jsem již zmiňovala, spáry patří mezi nevýhody cementobetonových vozovek. Spáry jsou obtížné, nákladné na výrobu a údržbu. V cementobetonovém krytu se zřizují spáry příčné a podélné.

Spáry dále dělíme na:

- *kontrakční (smršťovací) spáry*, které se zhotovují s kluznými trny nebo bez nich. U letištních ploch se zhotovují příčné spáry s kluznými ocelovými trny a podélné spáry s ocelovými kotvami. Spáry se provádějí řezáním do ztvrdlé betonové směsi. Hloubka řezu je $0,35 h$ až $0,40 h$ u příčných spár a $0,40 h$ až $0,45 h$ u podélných spár. V místě řezu je betonová deska oslabena.
- *dilatační spáry* se mohou zhotovit s kluznými trny nebo bez těchto trnů. Spáry přerušují desku v celém jejím průřezu a umožňují smršťování a roztahování betonu.
- *pracovní spáry* dělí konstrukci betonového krytu podle etap postupného betonování. Podélné i příčné pracovní spáry se provádějí jako těsné na sraz.

Spáry musí být dokonale očistěny a utěsněny, aby nedocházelo k průsaku vody a vniknutí nečistot do podkladních vrstev. Těsnění se provádí například z elastických profilů nebo zálivkou. Těsnění musí v létě odolávat vysokým teplotám, aby nezačala téct, a v zimě nesmí vlivem nízkých teplot praskat.



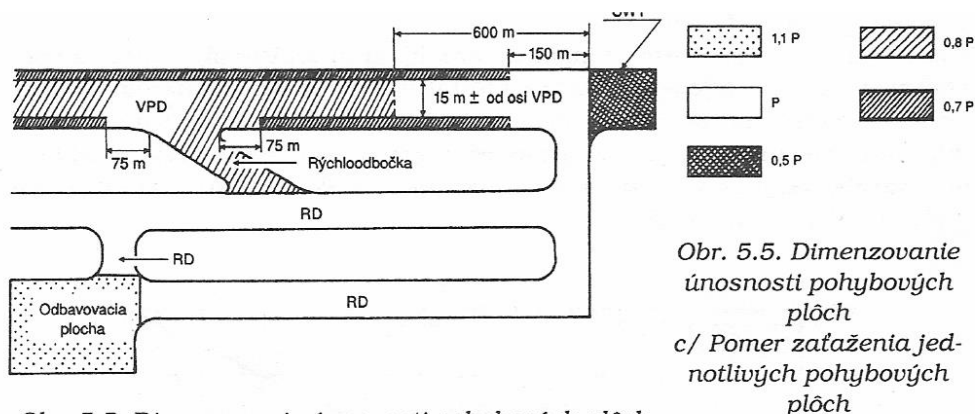
Obr. 19: Vyztužování spár cementobetonové vozovky [21]

5. ÚNOSNOST LETIŠTNÍCH VOZOVEK

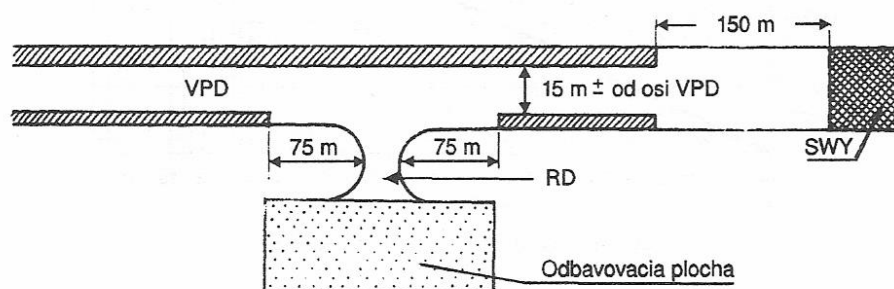
Únosnost vozovky je schopnost konstrukce přenášet zatížení, které závisí na hmotnosti letadla, typu podvozku, počtu kol na hlavních nohách podvozku, prostorovém uspořádání kol v podvozku a na huštění pneumatik.

Z hlediska únosnosti jsou kladeny vysoké požadavky na odbavovací plochy. Na odbavovací plochy působí maximální hmotnost stojícího letadla, které nemá žádný vztlak, do toho můžou být zapnuté motory, a způsobovat tak vibrace. VPD nejsou tolik namáhány jako odbavovací plochy, protože v okamžiku, kdy letadlo přistává, má dostatečný vztlak a jeho dynamické účinky nepřesahují 40 % maximální hmotnosti letadla.

Jednotlivé pohybové plochy je nutné navrhnout na skutečné působící zatížení, které je korigované součiniteli v rozmezí 0,8–1,1.



Obr. 5.5. Dimenzovanie únosnosti pohybových plôch
a/ Príklad VPD s paralelnými rolovacími dráhami



Obr. 5.5. Dimenzovanie únosnosti pohybových plôch
b/ Príklad VPD s priamym napojením na odbavovaciu plochu

Obr. 20: Dimenzování pohybových ploch [6]

Informace o únosnosti letištních vozovek jsou potřebné:

- ke stanovení typů letadel, která mohou na letišti přistát;
- na návrh podvozků letadel, aby je bylo možné používat na většině letišť;
- kvůli zabezpečení neporušenosti vozovky při její optimální životnosti.

5.1 Zatěžování vozovek

Únosnost letištních ploch musí vyhovovat maximálnímu zatížení vyvozenému tzv. kritickým letadlem, které lze na letišti očekávat.

Zatížení je vyvolané dvěma hlavními podvozkovými nohama a předním nosným kolem. Rozhodující zatížení letištní vozovky závisí na velikosti styčné plochy podvozkových kol. U větších letadel jsou podvozkové nohy opatřeny dvěma, čtyřmi, ale i více koly. V nejjednodušším případě má letadlo jen jedno kolo a velikost zatížení spočítáme ze vzorce:

$$A = Q/P_o$$

Kde:

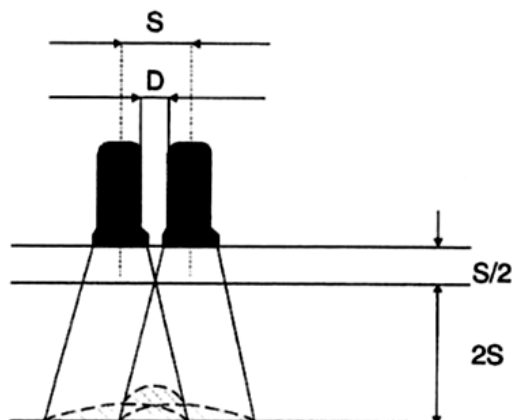
A je dotyková plocha pneumatiky [m^2]

Q je zatížení přenášené hlavní podvozkovou nohou [N]

P_o je huštění pneumatik p [Pa], které se vynásobí kontrakčním součinitelem pneumatiky m (m je v rozmezí 1,03–1,1)

$$P_o = p * m$$

U hlavní nohy, která má dvě nebo více kol, se zatížení vyvolané jednotlivými koly částečně sčítá v závislosti na vzájemné vzdálenosti kol a vlastnostech vozovky.



Obr. 21: Průběh zatížení na vozovce při působení dvoukolového podvozku [6]

Kde:

S je vzdálenost středů od jednotlivých kol [m]

D je vzdálenost mezi vnitřní stranou kol [m]

Je nutné stanovit, jaký typ letadla může na daném letišti přistát. Stanoví se obecně vztahy mezi únosností letištních ploch a zatěžovací charakteristikou letadel. Pro stanovení těchto vztahů se využívají tři metody (ESIWL, LCN, ACN/PCN), které budou popsány v následujících podkapitolách.

Přetížení letištních vozovek, které může být způsobeno nárůstem počtu pohybů nebo velkým zatížením, způsobuje zkrácení návrhové životnosti. Přetěžování vozovek nemá vliv na životnost konstrukce v těchto případech:

- Pokud se po netuhé vozovce ojedinele pohybuje letadlo s ACN, které nepřesahuje o více než 10 % PCN vozovky.
- Pokud se po tuhé nebo kombinované vozovce pohybuje ojedinele letadlo s ACN, které nepřesahuje o více než 5 % PCN vozovky.
- Pokud neznáme typ konstrukce vozovky, tak se uvažuje 5% omezení.
- Roční počet pohybů, které vozovku přetěžují, nesmí překročit přibližně 5 % z celkového ročního počtu pohybů.

Jestliže dochází k přetěžujícímu provozu, musí provozovatel letiště provádět pravidelné kontroly vozovky. Přetížení vozovky by nemělo být

připuštěno v případě, že vozovka vykazuje znaky poruch, nebo v jakémkoli období tání po předchozím promrznutí.

5.2 Systém ESIWL (Ekvivalent Single Isolated Wheel Load)

Ekvivalentní zatížení je takové teoretické zatížení, které je přenášeno na vozovku jednokolovým podvozkem. Ekvivalentní zatížení vyvolává ve vozovce stejné účinky jako skutečné zatížení přenášené podvozkem s více koly.

Stanovení ekvivalentního zatížení závisí na typu konstrukce vozovky, tj. konstrukce tuhá nebo netuhá. U netuhých vozovek se jedná o tloušťku konstrukce h a u tuhých vozovek o poloměr relativní tuhosti l .

$$l = \sqrt[4]{\frac{E h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot k}}$$

Kde:

E	je modul pružnosti betonu [N/m ²]
h	je tloušťka betonové desky [m]
ν	je Poissonovo číslo (0,15) [-]
k	je modul reakce podloží [MN/m ³]

5.3 Systém LCN (Load Classification Number)

Klasifikační systém LCN stanovuje závislost mezi velikostí zatížení vozovek a velikostí plochy. Zatížení potřebné k poškození vozovky se přenáší na povrch plochy.

$$W_1 / W_2 = (A_1 / A_2)^{0,44}$$

Kde:

W_1	je mezní zatížení vozovky odpovídající zatěžovací ploše A_1
W_2	je mezní zatížení vozovky odpovídající zatěžovací ploše A_2

Klasifikační čísla LCN se určují pro letadla v závislosti na ESIWL, dotykové ploše a grafu. Stanovuje se i pro vozovku v závislosti na síle při porušené dotykové ploše desky a grafu.

5.4 Systém ACN/PCN (Aircraft Classification Number / Pavement Classification Number)

Systém ACN/PCN byl vyvinut organizací ICAO v roce 1981 jako mezinárodní metoda pro hlášení únosnosti vozovek. Metoda není určena k návrhu vozovek a ani nestanovuje metodu, kterou by se musela zjišťovat únosnost vozovek. Návrh vozovky se v ČR provádí dle TP 170.

Podle předpisu L14, *Letiště*, metoda ACN/PCN vyjadřuje únosnost vozovek v celých číslech, která je určená pro letadla s maximální hmotností pro stání větší než 5 700 kg. V metodě ACN/PCN se porovnává únosnost konstrukce letištní vozovky, která je vyjádřena číslem PCN, a relativní účinek letadla na vozovku vyjádřený hodnotou ACN. Pokud má letadlo ACN menší nebo rovné PCN ($ACN \leq PCN$), může používat neomezeně vozovku při dodržení přípustného huštění pneumatik. Je důležité zmínit, že neomezeně neznamena to, že vozovka je schopna přenést nekonečné množství pohybů letadla. Spíše to znamená, že před přistáním nemusí vyžadovat žádné speciální povolení. Když ACN letadla překročí PCN dráhy, musí provozovatel letadla získat povolení od provozovatele letiště.

Systém ACN/PCN vyžaduje, aby byly zveřejněny následující informace:

- typ vozovky,
- kategorie únosnosti podloží,
- huštění pneumatik,
- způsob hodnocení.

5.4.1 Klasifikační číslo letadla (ACN)

Klasifikační číslo letadla (ACN) vyjadřuje relativní účinek letadla na vozovku pro specifické standardní podloží, aniž by byla stanovena přesná tloušťka konstrukce.

Hodnota ACN každého letounu musí být stanovena pro maximální vzletovou hmotnost a pro hmotnost prázdného letadla. Dále se stanovuje pro tuhé i netuhé vozovky a pro čtyři kategorie podloží. Při výpočtech se uvažuje taková poloha těžiště letadla, která vyvolává kritické zatížení. Určení konkrétní

hodnoty ACN závisí na hmotnosti letadla, huštění pneumatik, typu vozovky a únosnosti podloží.

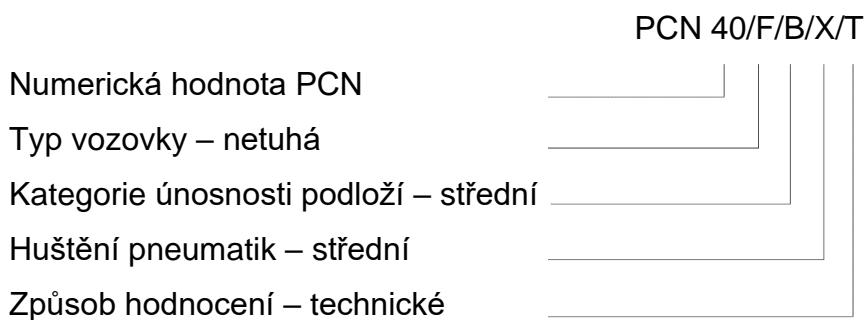
Pro ACN je definováno osm kategorií podloží, kde čtyři hodnoty jsou pro tuhé a čtyři pro netuhé vozovky:

- netuhé vozovky:
 - vysoká pevnost – CBR 15 (CBR >13 %)
 - střední pevnost – CBR 10 (8 < CBR < 13 %)
 - nízká pevnost – CBR 6 (4 < CBR < 8 %)
 - velmi nízká pevnost – CBR 3 (CBR < 4 %)
- tuhé vozovky:
 - vysoká pevnost – $k = 150 \text{ MN/m}^3$ ($k > 120 \text{ MN/m}^3$)
 - střední pevnost – $k = 80 \text{ MN/m}^3$ ($60 < k < 120 \text{ MN/m}^3$)
 - nízká pevnost – $k = 40 \text{ MN/m}^3$ ($25 < k < 60 \text{ MN/m}^3$)
 - velmi nízká pevnost – $k = 20 \text{ MN/m}^3$ ($k < 25 \text{ MN/m}^3$)

5.4.2 Klasifikační číslo vozovky (PCN)

Klasifikační číslo vozovky (PCN) vyjadřuje únosnost letištní vozovky. PCN je hlášeno v pětidílném formátu. Kromě číselné hodnoty obsahuje typ vozovky, kategorii únosnosti podloží, tlak v pneumatikách a poslední údaj říká, jakým způsobem byla hodnota PCN stanovena.

Příklad:



1) Typy vozovky

Typy vozovky	Kódové značení
Tuhá vozovka	R (Rigid)
Netuhá vozovka	F (Flexible)

Tab. 1: Typy vozovek

V případě, že se jedná o kombinovanou vozovku, je nutné tento typ uvést v poznámce. Pokud se konstrukce skládá z tuhé podkladní vrstvy a vrchní ohrubné asfaltové vrstvy, je kompozitní vozovka označena kódem *R*. Jestliže tloušťku krytu tvoří ve více než 75 % asfalt, je vozovka označena kódem *F*.

2) Kategorie podloží

V metodě ACN/PCN se používá osm standardních hodnot podloží (čtyři hodnoty pro tuhou vozovku a čtyři hodnoty pro netuhou vozovku). Pro netuhé vozovky je v metodě ACN/PCN únosnost vyjádřena kalifornským poměrem únosnosti (*CBR*) a pro tuhé vozovky je vyjádřena modulem reakce položí (*k*).

Kategorie únosnosti podloží	Hodnota k [MN/m ³]	Kódové značení
Vysoká	$k = 150; k > 120$	A
Střední	$k = 80; 60 < k < 120$	B
Nízká	$k = 40; 25 < k < 60$	C
Velmi nízká	$k = 20; k < 25$	D

Tab. 2: Hodnoty pevnosti podloží pro tuhé vozovky

Kategorie únosnosti podloží	Hodnota CBR [%]	Kódové značení
Vysoká	CBR = 15; CBR > 13	A
Střední	CBR = 10; 8 < CBR < 13	B
Nízká	CBR = 6; 4 < CBR < 8	C
Velmi nízká	CBR = 3; CBR > 4	D

Tab. 3: Hodnoty pevnosti podloží pro netuhé vozovky

3) Kategorie maximálního přípustného huštění pneumatik

Kategorie	Huštění	Kódové značení
Vysoká	Bez omezení	W
Střední	Omezeno tlakem do 1,5 MPa	X
Nízká	Omezeno tlakem do 1,0 MPa	Y
Velmi nízká	Omezeno tlakem do 0,5 MPa	Z

Tab. 4: Huštění pneumatik

Tlak v pneumatikách má menší vliv na cementobetonové vozovky, proto se obvykle hodnotí kódem W. U netuhých vozovek závisí na kvalitě asfaltové směsi a klimatických podmínkách, proto se většinou hodnotí kódem X, Y.

4) Způsob hodnocení

Hodnocení	Kódové značení
Technické	T (Technical)
Podle zkušenosti	U (Using Aircraft)

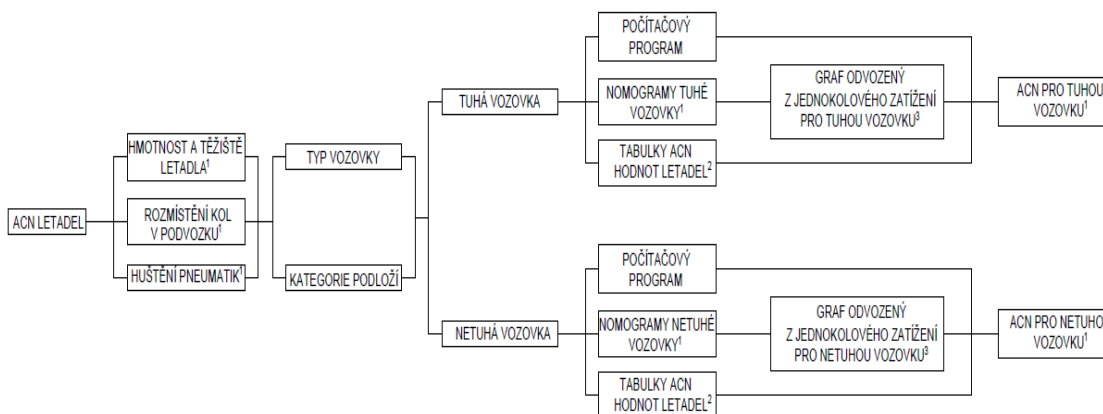
Tab. 5: Způsob hodnocení

Způsoby hodnocení budou popsány v následující kapitole.

6. ZPŮSOBY STANOVENÍ HODNOT ACN A PCN

6.1 Klasifikační číslo letadla (ACN)

Následující diagram stručně vysvětluje, jakými způsoby lze hodnotu ACN zjistit.



1. Charakteristiky letadel, které získáme ze stránek výrobce letadel
2. Tabulky s hodnotami ACN najdeme v předpisu L14 Letiště
3. Grafy najdeme v International Civil Aviation Organization. Aerodrome Design Manual - Part 3 - Pavements

Obr. 22: Diagram

6.1.1 Matematické metody

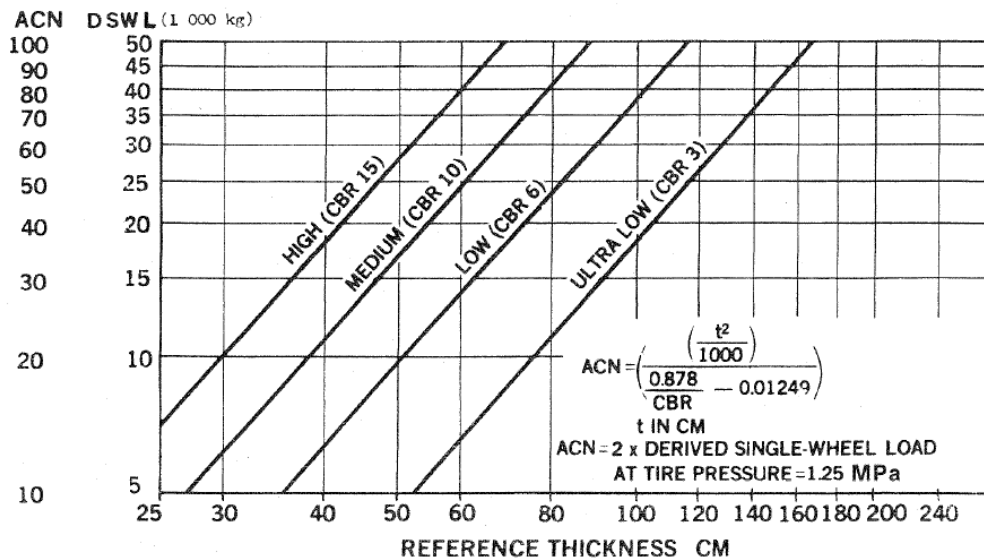
Pro výpočet hodnoty ACN se využívají dvě metody, kde jedna je určena pro tuhé a druhá pro netuhé vozovky. Pro netuhé vozovky je využívána metoda S-77-1, která byla zpracována společností U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (USAEWES). Metoda S-77-1 je založena na CBR metodě a referenční tloušťka je vypočítaná pro 10 000 pojezdů letadlem. Pro tuhé vozovky se využívá metoda zpracovaná firmou Portland Cement Association (PCA) v USA. Metoda je založena na Westergaardově modelu pro zatíženou pružnou desku na Winklerově podloží. Referenční tloušťka se vypočítá pro standardní hodnotu napětí v betonu 2,75 MPa.

6.1.2 Výpočet dle Aerodrome Design Manual – Part 3

a) Netuhé vozovky

Nejprve je potřeba stanovit referenční tloušťku z grafu zveřejněného výrobcem letadel. Grafy pro zjištění referenční tloušťky byly vytvořeny pomocí

metody S-77-1. Tloušťka je určena pro danou hmotnost letadla, kategorii podloží a 10 000 pojezdů. Ze stanovené tloušťky a hodnoty CBR zjistíme z grafu (Obr. 23) hodnotu odvozeného zatížení jednoho kola (DSWL).



Obr. 23: Graf ACN pro netuhé vozovky [1]

Graf (Obr. 23) pro zjištění ACN byl odvozen z následujícího vzorce:

$$t = \sqrt{\frac{DSWL}{C_1 \cdot CBR} - \frac{DSWL}{C_2 \cdot P_s}}$$

Kde:

- t je referenční tloušťka [cm]
- $DSWL$ je zatížení jednoho kola v tisících kilogramech
- P_s je rovno 1,25 [MPa]
- CBR je kalifornský poměr únosnosti [%]
- C_1 je rovno 0,5695
- C_2 je rovno 32,035

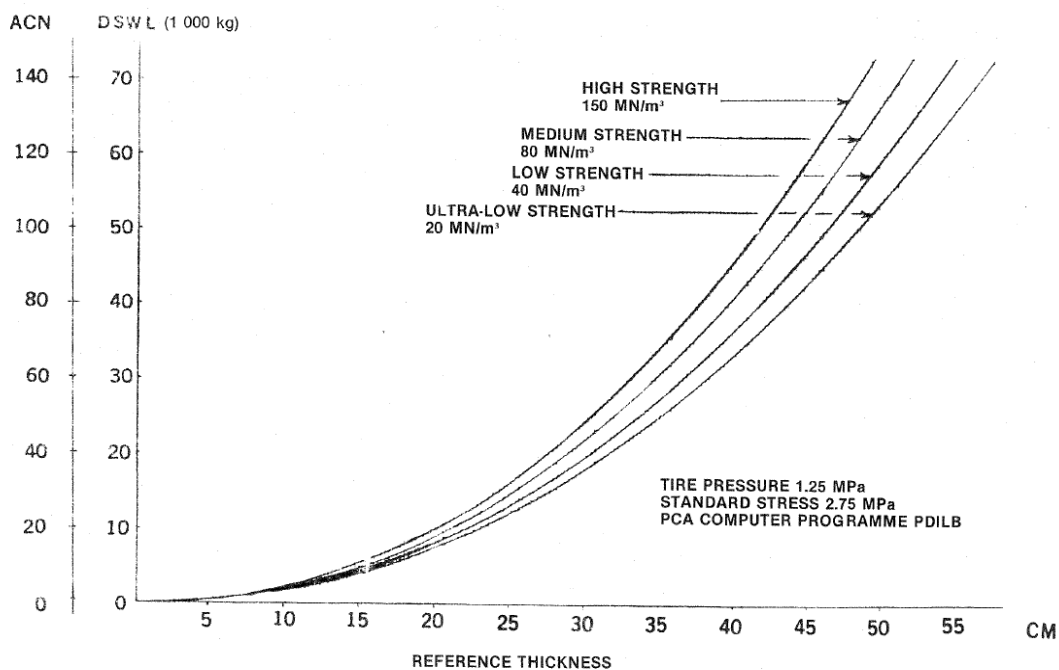
DSWL definuje vzájemné působení podvozku letadla a vozovky, aniž by byla specifikována tloušťka vozovky jako parametr ACN. Toho se dosáhne tak, že se tloušťka získaná matematickou metodou rovná tloušťce pro zatížení jednoho kola při standardním tlaku v pneumatikách 1,25 MPa.

Hodnota ACN je definována jako dvojnásobek vypočítaného zatížení jednoho kola (DSWL), které je vyjádřeno v tisících kilogramů.

$$ACN = 2 \times DSWL$$

b) Tuhé vozovky

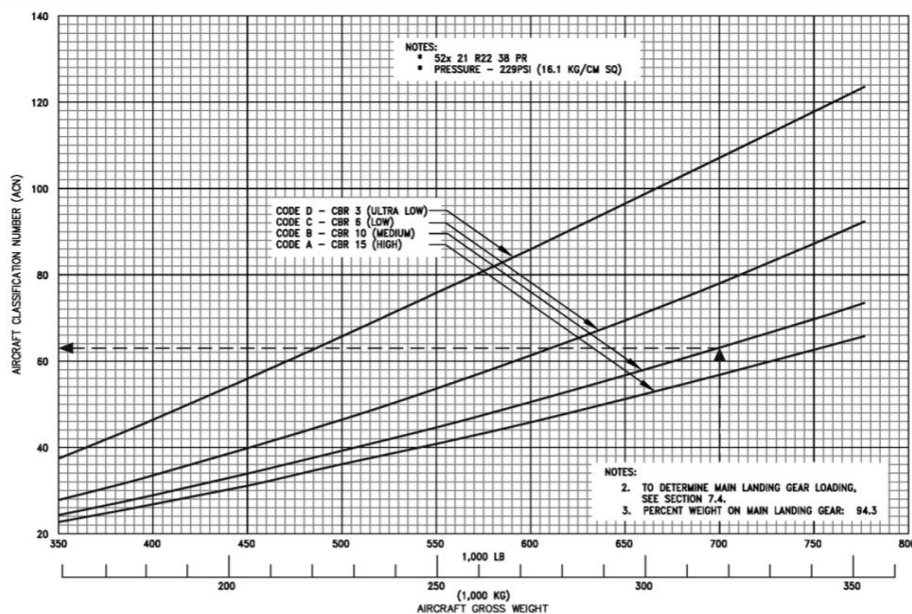
Referenční tloušťka je stanovena z grafu zveřejněného výrobcem letadel, který byl vytvořen pomocí programu od PCA. Ze stanovené tloušťky a hodnoty k zjistíme z grafu (Obr. 24) hodnotu odvozeného zatížení jednoho kola (DSWL).



Obr. 24: Graf ACN pro netuhé vozovky [1]

6.1.3 Grafy od výrobce

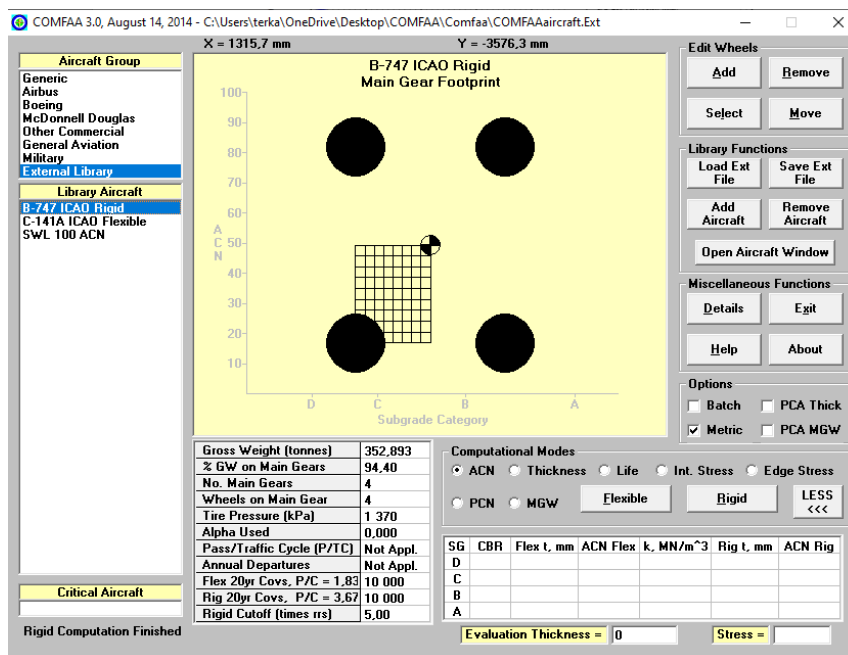
Jednoduchou variantou, jak zjistit hodnotu ACN, je pomocí grafů, kde musíme znát celkovou hmotnost letadla a kategorii únosnosti podloží. Grafy poskytuje výrobce letadla.



Obr. 25: Graf pro stanovení ACN netuhé vozovky od výrobce Boeing [12]

6.1.4 Výpočetní program

Další alternativou výpočtu je využití počítačového programu. Jedním z takových programů je COMFAA 3.0, který byl vyvinut Federální leteckou správou, aby usnadnil používání systému ACN/PCN. COMFAA 3.0 vypočítá hodnoty ACN, PCN, tloušťku konstrukce, životnost dle rozsahu poruch pro uvedenou tloušťku vozovky, vnitřní a maximální namáhání. Dá se využít jak pro tuhé, tak i netuhé vozovky.



Obr. 26: Program COMFAA

6.1.5 Tabulky od výrobce

Výrobce také poskytuje rovnou vypočítané hodnoty ACN pro všechny kategorie podloží a oba typy vozovek.

AIRCRAFT TYPE	MAXIMUM TAXI WEIGHT MINIMUM WEIGHT [1] LB (KG)	LOAD ON ONE MAIN GEAR LEG (%)	TIRE PRESSURE PSI (MPa)	ACN FOR RIGID PAVEMENT SUBGRADES – MN/m ³				ACN FOR FLEXIBLE PAVEMENT SUBGRADES – CBR			
				HIGH	MEDIUM	LOW	ULTRA LOW	HIGH	MEDIUM	LOW	ULTRA LOW
				150	80	40	20	15	10	6	3
777-9	777,000 (352,442)	47.15	229 (1.58)	69	90	114	137	66	74	92	124
	350,000 (158,757)			24	27	33	41	23	24	28	37

Obr. 27: Tabulka s hodnotami ACN od výrobce Boeing [12]

6.2 Klasifikační číslo vozovky (PCN)

Nejnáročnější částí systému ACN/PCN je stanovení klasifikačního čísla vozovky. Pro stanovení numerické hodnoty PCN pro konkrétní vozovku se využívají dvě metody (hodnocení podle zkušenosti a technické hodnocení). Provozovatel letiště může použít pro stanovení PCN tu metodu, která mu přijde nejvhodnější.

Získaná hodnota PCN nám neříká nic o skutečném provozu, návrhovém zatížení nebo tloušťce vozovky.

6.2.1 Hodnocení podle zkušeností (Using aircraft)

Metoda je velice jednoduchá, při ní se hodnota PCN stanoví bez technického zhodnocení vozovky. Hodnota se určí z vypočítaných hodnot ACN letadel, která vozovku používají. Největší hodnota ACN se uvede jako hodnota PCN. Hodnota PCN je přesnější, pokud jsou k dispozici informace o leteckém provozu.

Při použití této metody může dojít ke stanovení vysoké hodnoty PCN, pokud je použita hodnota ACN nadměrně těžkého letadla, které využívá vozovku velmi zřídka. Může tak docházet k rychlejšímu opotřebení vozovky. Pokud se naopak stanoví nižší hodnota, může dojít ke snížení provozu na letišti, což je velice neekonomické.

Z výše uvedených důvodů se nedoporučuje tuto metodu používat. Metodu je vhodné použít v případě, že z ekonomických nebo jiných důvodů není možné provést technické hodnocení.

6.2.2 Technické hodnocení

Druhá metoda, označovaná jako technické hodnocení, je složitější a časově náročnější, ale zato mnohem přesnější. Technické hodnocení může být stanoveno pomocí několika metod, které byly speciálně vytvořeny pro plochy letišť s možností zpětného ohodnocení a označení těchto ploch. Mezi ně patří například metoda FAA, francouzská a anglická. Následující postup výpočtu PCN bude popsán pomocí metody FAA, který nalezneme v poradním oběžníku 150/5335-5C.

Určení hodnoty PCN pomocí technického hodnocení vyžaduje důkladnější znalosti o vozovce a provozu na letišti. Požadované údaje pro výpočet PCN se liší v závislosti na typu vozovky.

Pro netuhé vozovky musíme znát následující údaje:

- materiály konstrukce vozovky,
- tloušťku jednotlivých vrstev vozovky,
- hodnotu CBR podloží.

U tuhých vozovek jsou požadovány následující údaje:

- materiály konstrukce vozovky,
- tloušťka betonové desky,
- pevnost betonu v ohybu,
- modul reakce podloží (hodnota k).

Jak jsem již zmínila, je také důležité znát podrobné informace o provozu na letišti. Musíme znát následující údaje:

- typy letadel, která vozovku používají,
- počet pohybů každého letadla,
- zatížení od kol každého typu,
- počet kol každého typu letadla.

Výpočty nezbytné ke stanovení PCN se provádějí pro jedno letadlo. Roční provoz všech letadel se tedy musí převést na ekvivalentní provoz

jednoho reprezentativního letadla. Metoda kumulativního poškození (CDF) umožňuje výpočet kombinovaného účinku více letadel ve smíšeném provozu pro dané letiště, který je spojen do ekvivalentního provozu jednoho letadla.

Metoda CDF uvádí, že poškození způsobené na vozovce je úměrné počtu aplikovaných zatížení děleno počtem aplikovaných zatížení požadovaných pro selhání vozovky. CDF se spočítá pro všechna letadla a výsledné hodnoty se následně sečtou.

Pokud je výsledná hodnota:

- $CDF < 1$, znamená to, že životnost vozovky není vyčerpána a na vozovce nevznikají poruchy;
- $CDF = 1$, tak vozovka dosáhla hranice své životnosti;
- $CDF > 1$, životnost vozovky je překročena a začínají vznikat poruchy.

Dalším důležitým faktorem je únosnost jednotlivých úseků vozovky, kterou je obtížné shrnout, protože každá část má jinou kombinaci zatížení od letadel a četnost přejezdů. Pro danou konstrukci vozovky a letadlo se přípustný počet pohybů snižuje se zvyšující se hmotností letounu. Je tedy možné, že dvě rozdílné konstrukce budou vykazovat stejnou únosnost, ale povolený provoz letounu se bude značně lišit. Je nutné počítat s tím, že může dojít k přetížení některé části vozovky nebo k okamžitému selhání konstrukce, i když vozovky jsou zřídka vyřazeny z provozu kvůli okamžitému selhání. Proto je velice důležité provádět pravidelné a přísné kontroly vhodně kvalifikovanou osobou.

Pro úplný výpočet PCN musíme znát další parametry, které výslednou hodnotu PCN ovlivňují. Patří mezi ně například:

- vliv teploty,
- vliv poruch vozovky,
- vliv spár v CB krytu.

Výpočet hodnoty PCN je poměrně složitý a je potřeba hlídat mnoho faktorů, které ho ovlivňují. Pro usnadnění výpočtu bylo vytvořeno několik programů. Mezi nejpoužívanější programy patří PCASE, ELMOD anebo již zmíněný program COMFAA 3.0.

7. STANOVENÍ HODNOTY ACN

Pro výpočet hodnot ACN jsem zvolila následující letadla, která pravidelně přistávají na letišti Václava Havla:

- Airbus A320-200
- Boeing B737-800
- Airbus A380-800

7.1 Airbus A320-200

Potřebné hodnoty pro výpočet:

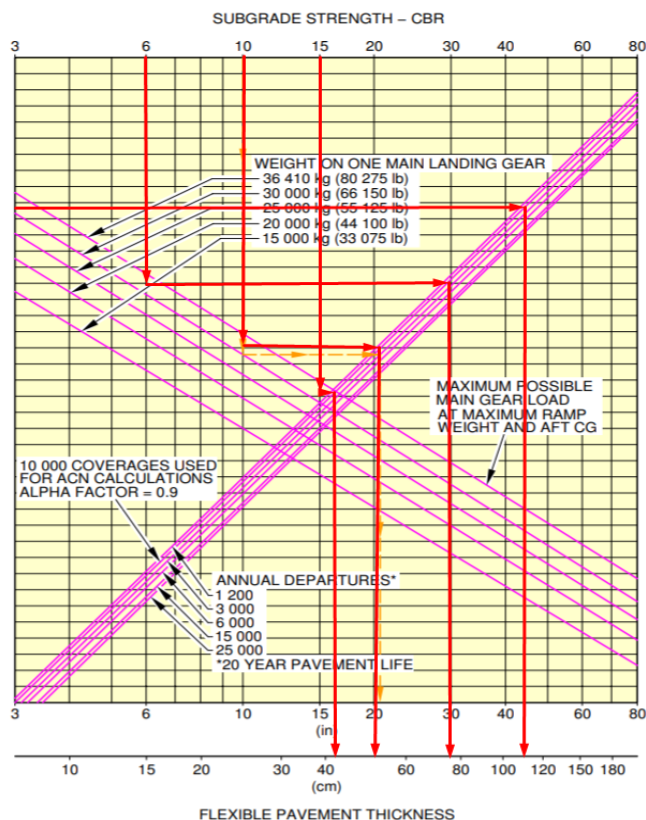
Maximální hmotnost při pojíždění – 73 900 kg

Maximální hmotnost na jedné podvozkové noze – 34 710 kg

7.1.1 Výpočet dle ADM

a) Asfaltová vozovka

- Stanovení referenční tloušťky z grafu od výrobce



Obr. 28: Graf pro stanovení referenční tloušťky netuhé vozovky [9]

Zjištěné hodnoty referenční tloušťky z grafu:

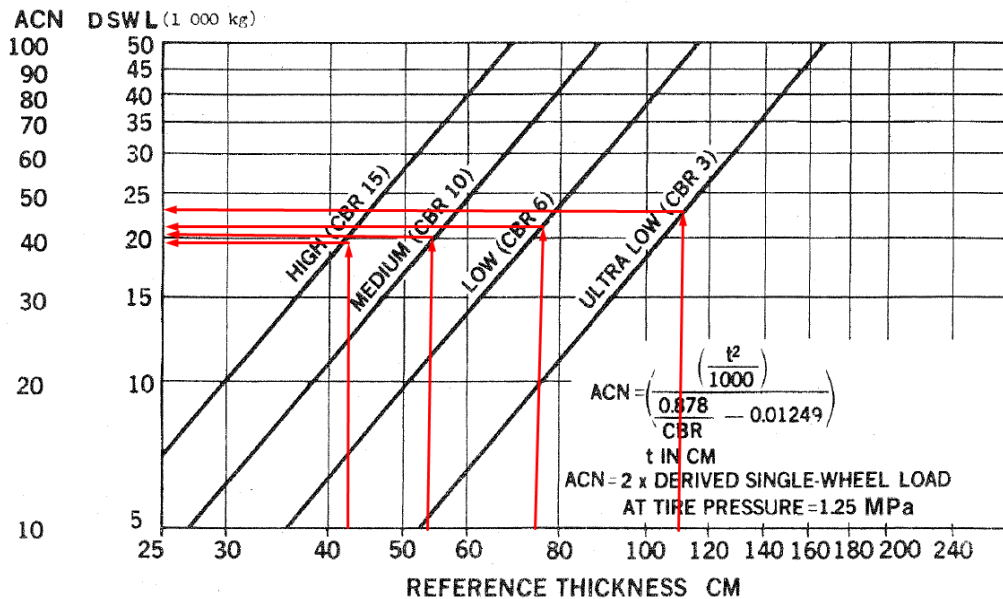
CBR = 3 % => $t_1 = 115$ cm

CBR = 6 % => $t_2 = 78$ cm

CBR = 10 % => $t_3 = 53$ cm

CBR = 15 % => $t_4 = 43$ cm

- Stanovení hodnoty ACN



Obr. 29: Graf pro stanovení DSWL [1]

1) CBR = 3 %, $t_1 = 115$ cm

DSWL \doteq 24 500 kg => ACN = $2 \times DWSL = 2 \times 24,500 \doteq$ 49

2) CBR = 6 %, $t_2 = 78$ cm

DSWL \doteq 21 800 kg => ACN = $2 \times DWSL = 2 \times 21,800 \doteq$ 43,6

3) CBR = 10 %, $t_3 = 53$ cm

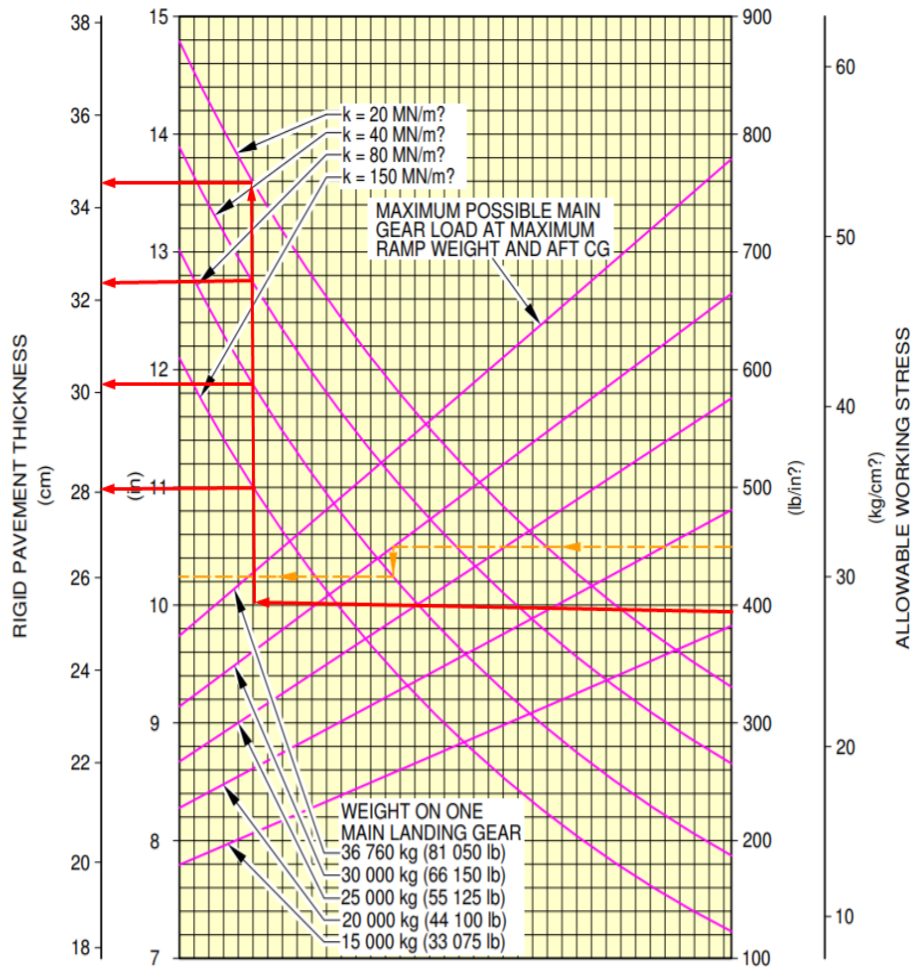
DSWL \doteq 20 100 kg => ACN = $2 \times DWSL = 2 \times 20,100 \doteq$ 40,2

4) CBR = 15 %, $t_4 = 43$ cm

DSWL \doteq 19 500 kg => ACN = $2 \times DWSL = 2 \times 19,500 \doteq$ 39

b) Cementobetonová vozovka

- Stanovení referenční tloušťky z grafu od výrobce

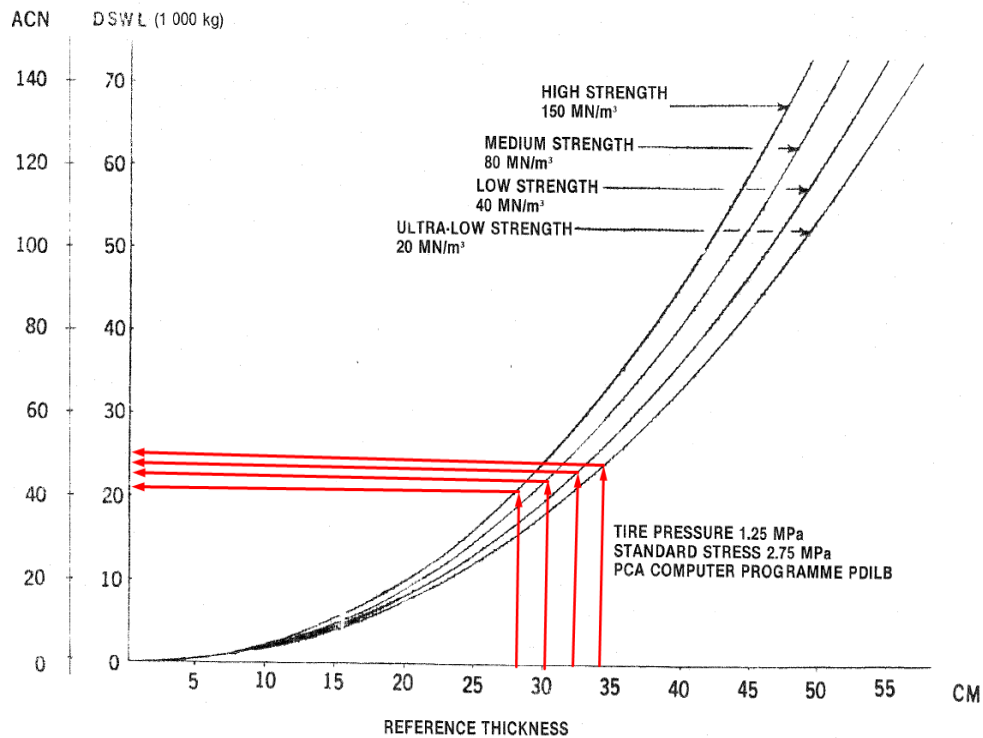


Obr. 30: Graf pro stanovení referenční tloušťky tuhé vozovky [9]

Zjištěné hodnoty referenční tloušťky z grafu:

- 1) $k = 20 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_1 = 34,4 \text{ cm}$
- 2) $k = 40 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_2 = 32,2 \text{ cm}$
- 3) $k = 80 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_3 = 30,1 \text{ cm}$
- 4) $k = 150 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_4 = 28,1 \text{ cm}$

- Stanovení hodnoty ACN



Obr. 31: Graf pro stanovení DSWL [1]

1) $k = 20 \text{ MN/m}^3$; $t_1 = 34,4 \text{ cm}$

DSWL \doteq 25 200 kg \Rightarrow ACN = $2 \times \text{DSWL} = 2 \times 25,200 \doteq$ 50,4

2) $k = 40 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_2 = 32,2 \text{ cm}$

DSWL \doteq 23 700 kg \Rightarrow ACN = $2 \times \text{DSWL} = 2 \times 23,700 \doteq$ 47,4

3) $k = 80 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_3 = 30,1 \text{ cm}$

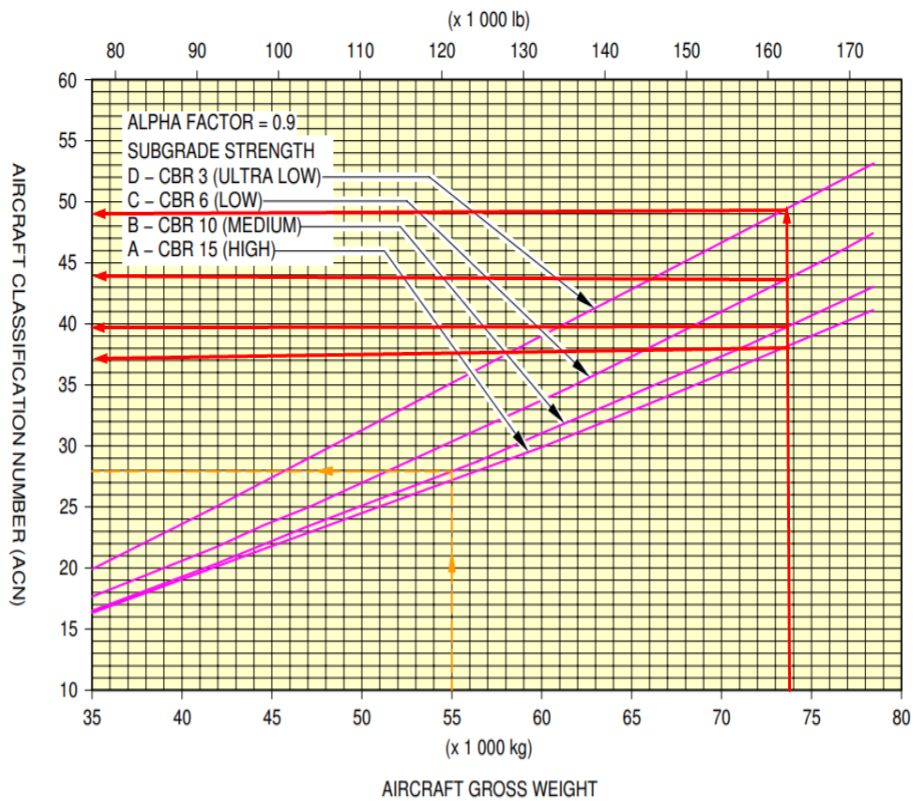
DSWL \doteq 22 600 kg \Rightarrow ACN = $2 \times \text{DSWL} = 2 \times 22,600 \doteq$ 45,2

4) $k = 150 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_4 = 28,1 \text{ cm}$

DSWL \doteq 21 500 kg \Rightarrow ACN = $2 \times \text{DSWL} = 2 \times 21,500 \doteq$ 43

7.1.2 Grafy

a) Asfaltová vozovka

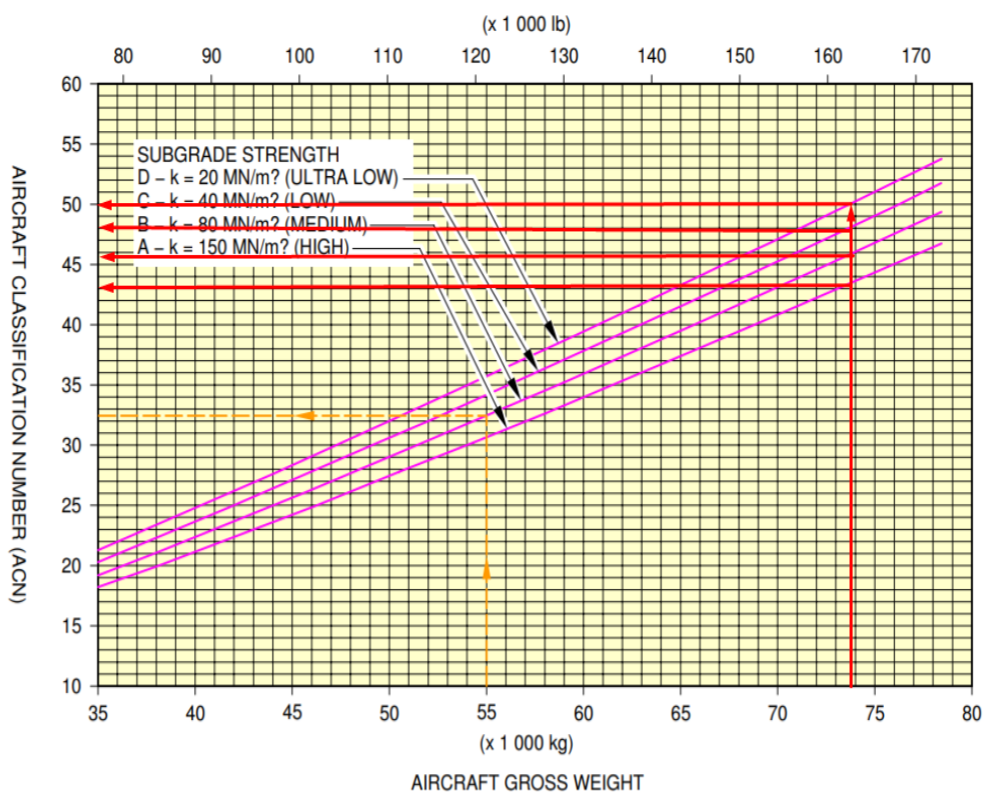


Obr. 32: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [9]

Hodnoty ACN získané z grafu:

- 1) CBR = 3 %; ACN \doteq 49,3
- 2) CBR = 6 %; ACN \doteq 44,1
- 3) CBR = 10 %; ACN \doteq 40,1
- 4) CBR = 15 %; ACN \doteq 38,2

b) Cementobetonová vozovka

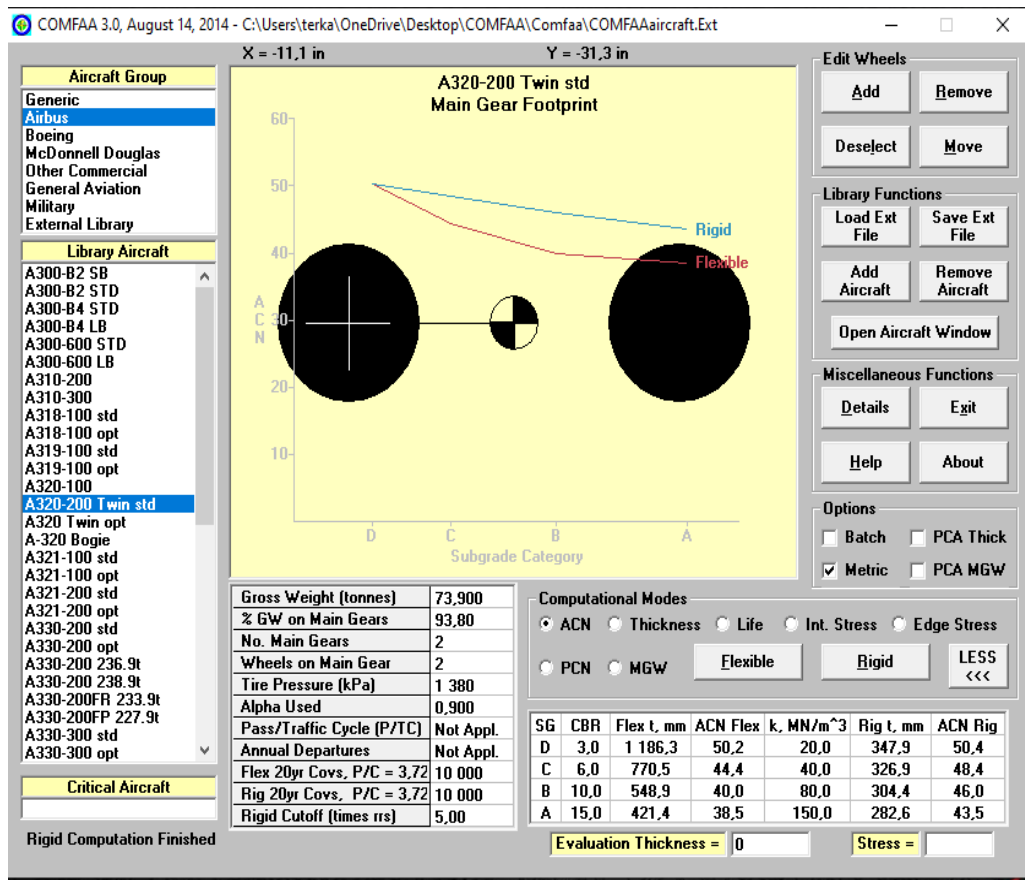


Obr. 33: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [9]

Hodnoty ACN získané z grafu:

- 1) $k = 20 \text{ MN/m}^2$; ACN \doteq 50
- 2) $k = 40 \text{ MN/m}^2$; ACN \doteq 48
- 3) $k = 80 \text{ MN/m}^2$; ACN \doteq 45.5
- 4) $k = 150 \text{ MN/m}^2$; ACN \doteq 43.2

7.1.3 Program COMFAA 3.0



Obr. 34: Zadané letadlo v programu COMFAA

Hodnoty vypočítané programem

Netuhá vozovka			Tuhá vozovka		
CBR [%]	Referenční tloušťka [cm]	ACN	k [MN/m ³]	Referenční tloušťka [cm]	ACN
3	118,63	50,2	20	34,79	50,4
6	77,05	44,4	40	32,69	48,4
10	54,89	40,0	80	30,44	46,0
15	42,14	38,5	150	28,26	43,5

Tab. 6: Výsledky z programu COMFAA

7.1.4 Výsledné tabulky

A320-200	Netuhá vozovka			
	CBR = 3	CBR = 6	CBR = 10	CBR = 15
ADM	49,0	43,6	40,2	39
Graf výrobce	49,3	44,1	40,1	38,2
COMFAA	50,2	44,4	40,0	38,5

Tab. 7: Vypočítané hodnoty ACN pro netuhou vozovku

A320-200	Tuhá vozovka			
	k = 20	k = 40	k = 80	k = 150
ADM	50,2	47,4	45,2	43
Graf výrobce	50	48	45,5	43,2
COMFAA	50,4	48,4	46	43,5

Tab. 8: Vypočítané hodnoty ACN pro tuhovou vozovku

7.2 Boeing B737-800

Potřebné hodnoty pro výpočet:

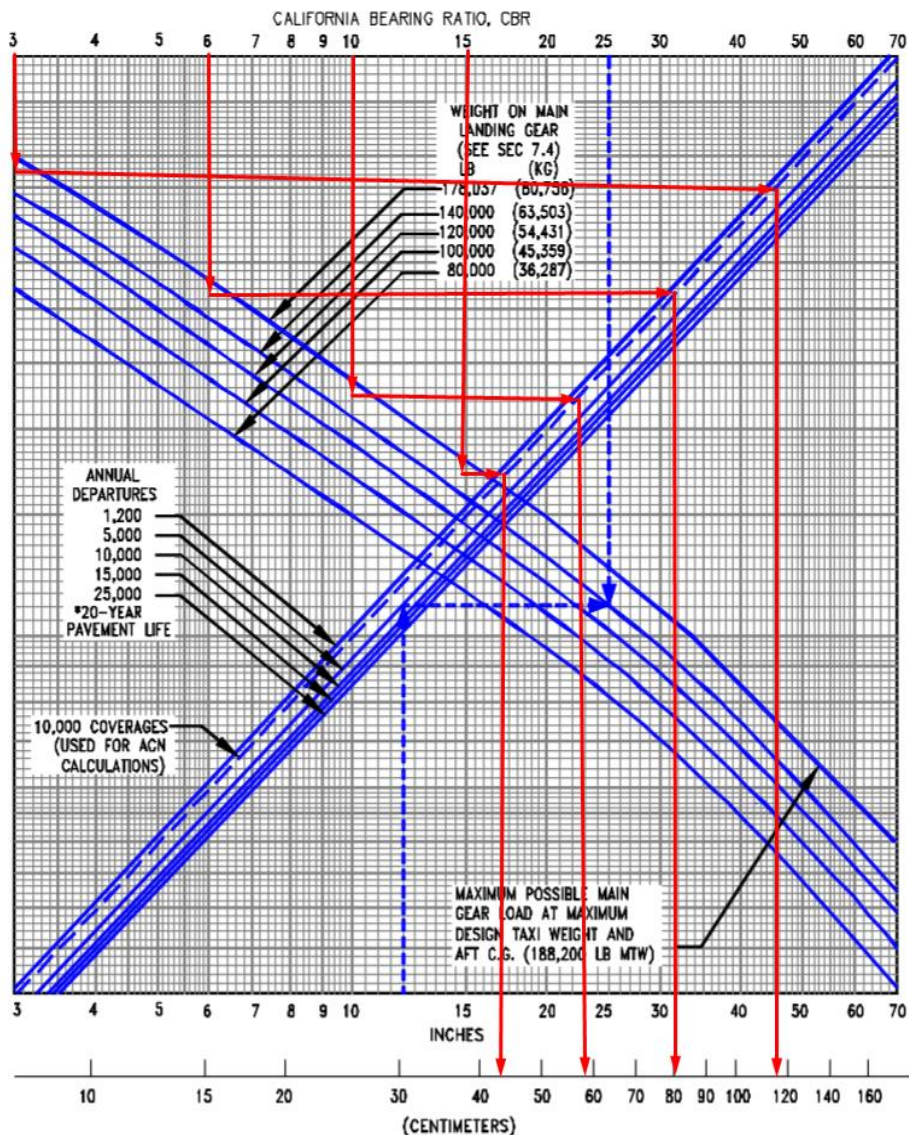
Maximální hmotnost při pojiždění – 79 243 kg

Maximální hmotnost na jedné podvozkové noze – 37 060 kg

7.2.1 Výpočet dle ADM

a) Asfaltová vozovka

- Stanovení referenční tloušťky z grafu od výrobce



Obr. 35: Graf pro stanovení referenční tloušťky netuhé vozovky [11]

Zjištěné hodnoty referenční tloušťky z grafu:

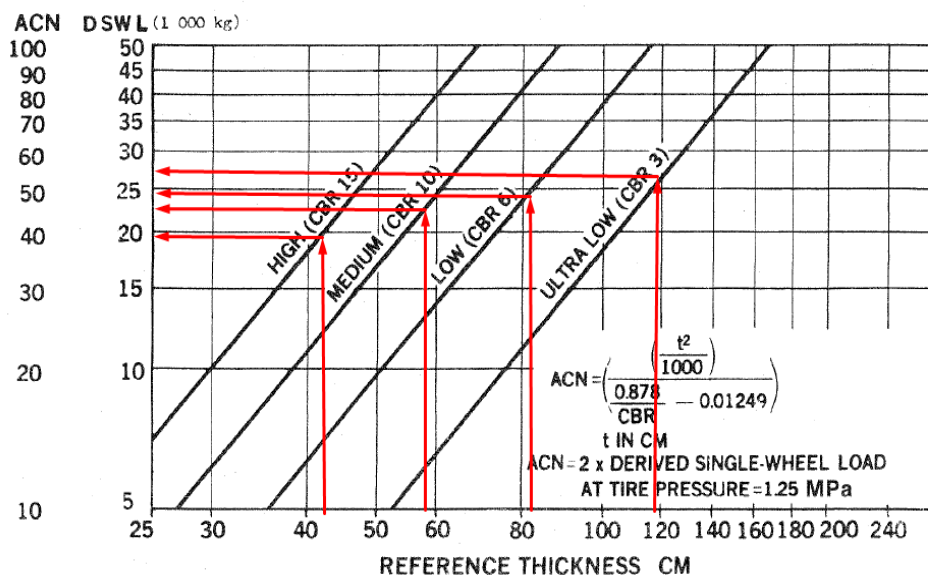
$$\text{CBR} = 3 \% \Rightarrow t_1 = 119,3 \text{ cm}$$

$$\text{CBR} = 6 \% \Rightarrow t_2 = 80,4 \text{ cm}$$

$$\text{CBR} = 10 \% \Rightarrow t_3 = 59,2 \text{ cm}$$

$$\text{CBR} = 15 \% \Rightarrow t_4 = 43,4 \text{ cm}$$

- Stanovení hodnoty ACN



Obr. 36: Graf pro stanovení DSWL [1]

- 1) CBR = 3 %, $t_1 = 119,3 \text{ cm}$

$$\text{DSWL} \doteq \underline{27\,600 \text{ kg}} \Rightarrow \text{ACN} = 2 \times \text{DSWL} = 2 \times 27,600 \doteq \underline{55,2}$$

- 2) CBR = 6 %, $t_2 = 80,4 \text{ cm}$

$$\text{DSWL} \doteq \underline{24\,700 \text{ kg}} \Rightarrow \text{ACN} = 2 \times \text{DSWL} = 2 \times 24,700 \doteq \underline{49,4}$$

- 3) CBR = 10 %, $t_3 = 59,2 \text{ cm}$

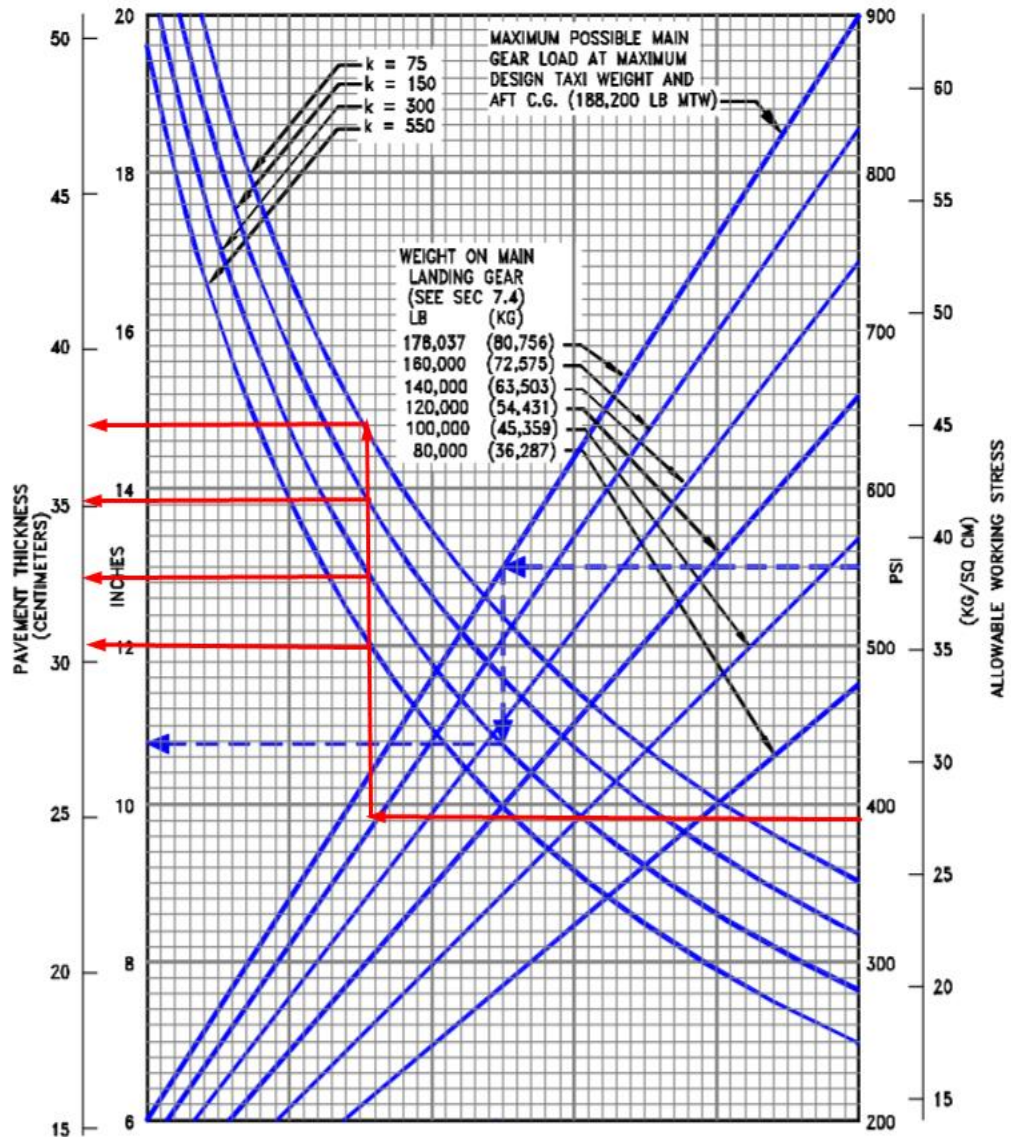
$$\text{DSWL} \doteq \underline{23\,500 \text{ kg}} \Rightarrow \text{ACN} = 2 \times \text{DSWL} = 2 \times 23,500 \doteq \underline{47}$$

- 4) CBR = 15 %, $t_4 = 43,4 \text{ cm}$

$$\text{DSWL} \doteq \underline{20\,400 \text{ kg}} \Rightarrow \text{ACN} = 2 \times \text{DSWL} = 2 \times 20,400 \doteq \underline{40,8}$$

b) Cementobetonová vozovka

- Stanovení referenční tloušťky z grafu od výrobce

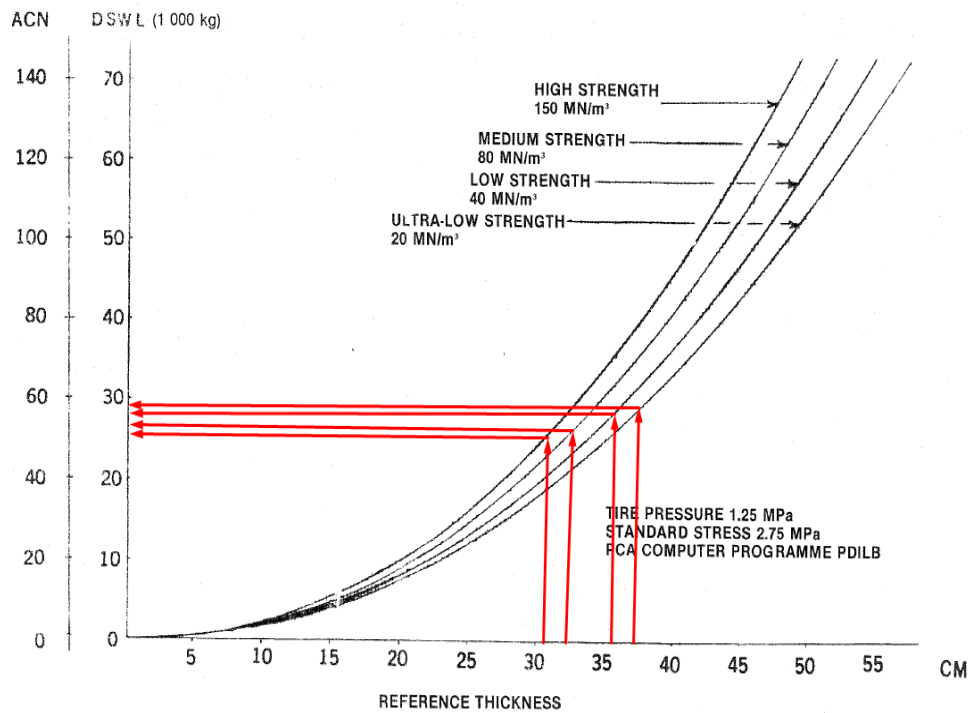


Obr. 37: Graf pro stanovení referenční tloušťky tuhé vozovky [11]

Zjištěné hodnoty referenční tloušťky z grafu:

- 1) $k = 20 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_1 = 36,8 \text{ cm}$
- 2) $k = 20 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_2 = 35,5 \text{ cm}$
- 3) $k = 20 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_3 = 32,3 \text{ cm}$
- 4) $k = 20 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_4 = 30,8 \text{ cm}$

- Stanovení hodnoty ACN



Obr. 38: Graf pro stanovení DSWL [1]

1) $k = 20 \text{ MN/m}^3$; $t_1 = 36,8 \text{ cm}$

$DSWL \doteq \underline{28\,500 \text{ kg}} \Rightarrow ACN = 2 \times DWSL = 2 \times 28,500 \doteq \underline{57}$

2) $k = 40 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_2 = 35,5 \text{ cm}$

$DSWL \doteq \underline{27\,500 \text{ kg}} \Rightarrow ACN = 2 \times DWSL = 2 \times 27,500 \doteq \underline{55}$

3) $k = 80 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_3 = 32,3 \text{ cm}$

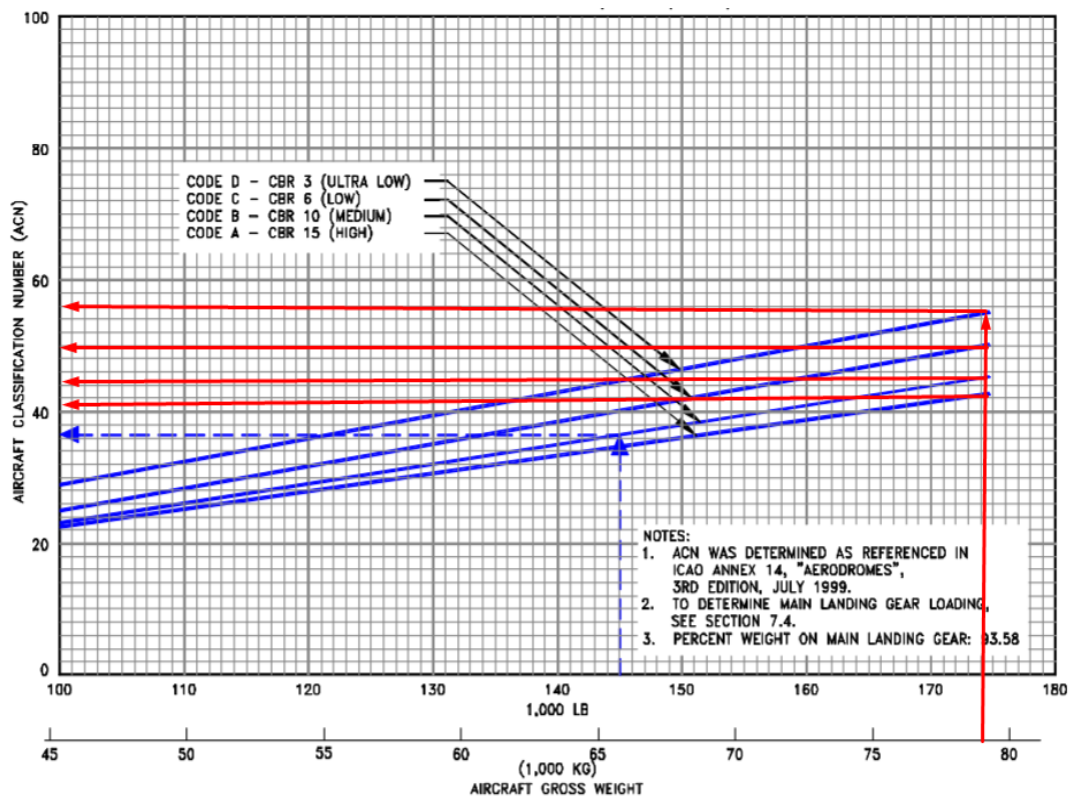
$DSWL \doteq \underline{26\,400 \text{ kg}} \Rightarrow ACN = 2 \times DWSL = 2 \times 26,400 \doteq \underline{52,8}$

4) $k = 150 \text{ MN/m}^3 \Rightarrow t_4 = 30,8 \text{ cm}$

$DSWL \doteq \underline{24\,050 \text{ kg}} \Rightarrow ACN = 2 \times DWSL = 2 \times 24,050 \doteq \underline{49,1}$

7.2.2 Grafy

a) Asfaltová vozovka

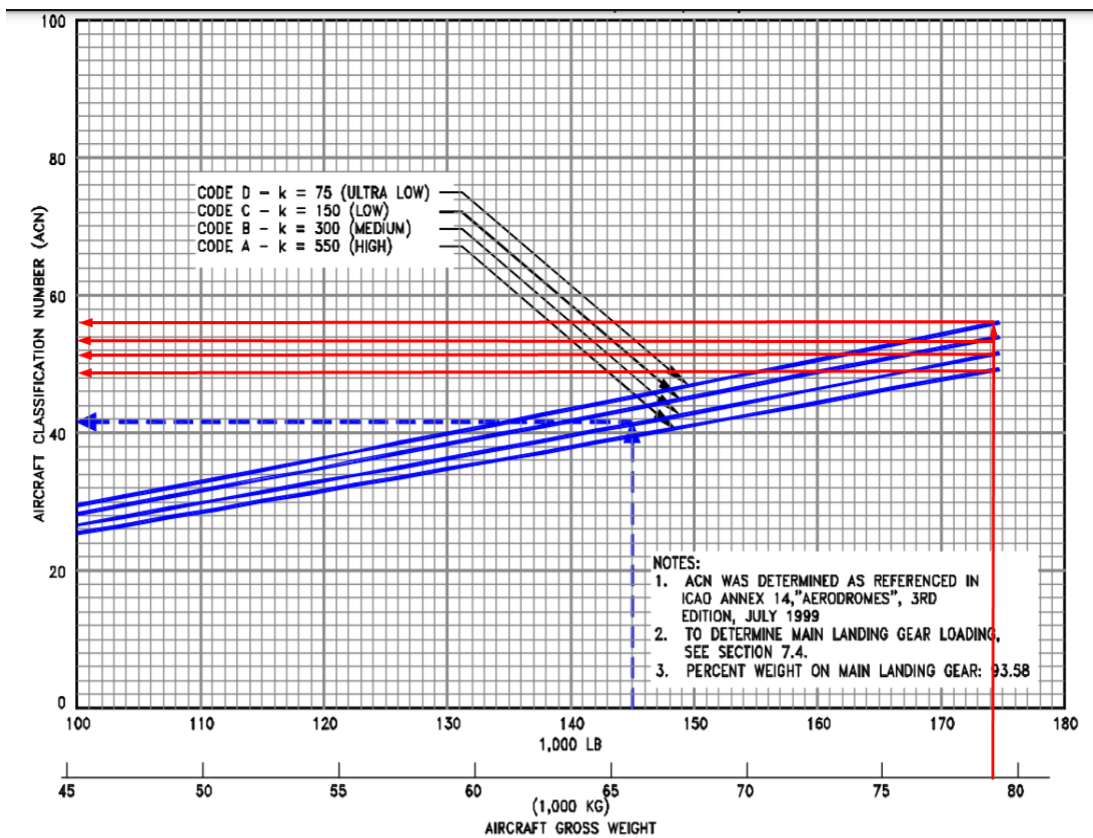


Obr. 39: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [11]

Hodnoty ACN získané z grafu:

- 1) CBR = 3 %; ACN \doteq 55,1
- 2) CBR = 6 %; ACN \doteq 50,1
- 3) CBR = 10 %; ACN \doteq 45,2
- 4) CBR = 15 %; ACN \doteq 42,5

b) Cementobetonová vozovka

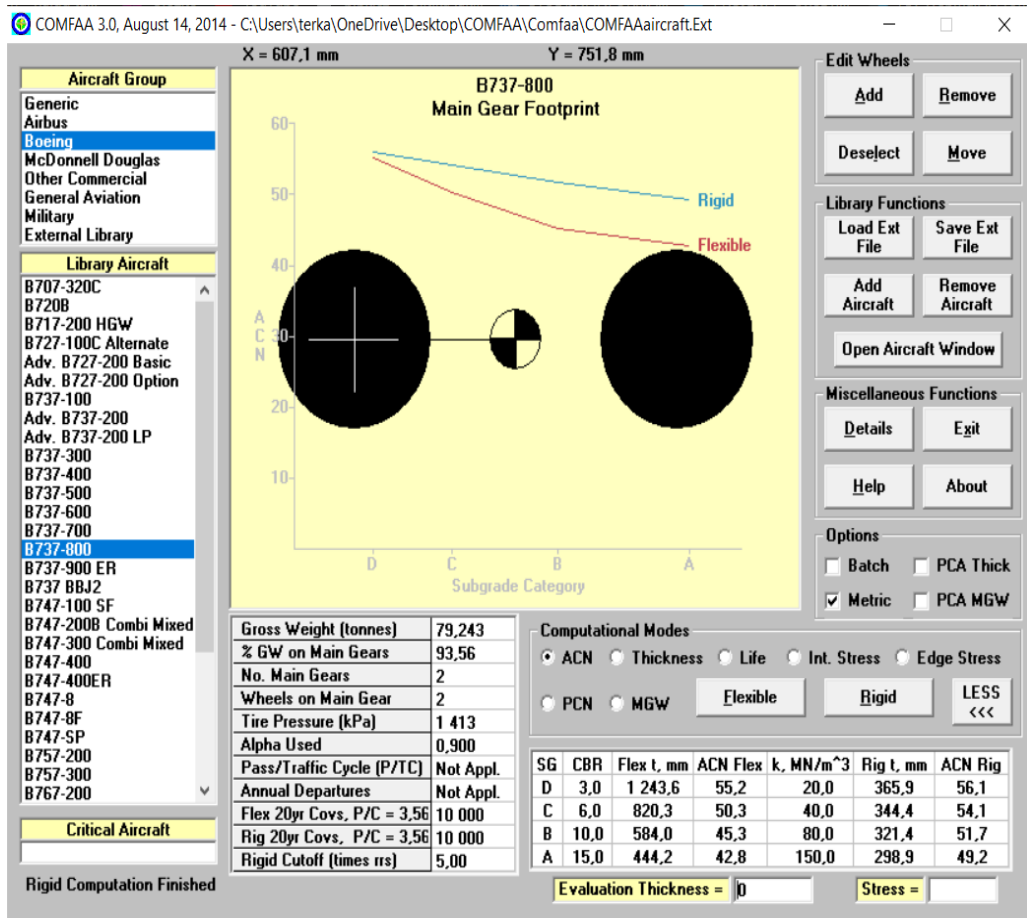


Obr. 40: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [11]

Hodnoty ACN získané z grafu:

- 1) $k = 20 \text{ MN/m}^3$; ACN \doteq 55,8
- 2) $k = 40 \text{ MN/m}^3$; ACN \doteq 54
- 3) $k = 80 \text{ MN/m}^3$; ACN \doteq 51,2
- 4) $k = 150 \text{ MN/m}^3$; ACN \doteq 49,1

7.2.3 Program COMFAA 3.0



Obr. 41: Zadané letadlo v programu COMFAA

Hodnoty vypočítané programem

Netuhá vozovka			Tuhá vozovka		
CBR [%]	Referenční tloušťka [cm]	ACN	k [MN/m ³]	Referenční tloušťka [cm]	ACN
3	124,36	55,2	20	36,59	56,1
6	82,03	50,3	40	34,44	54,1
10	58,40	45,3	80	32,14	51,7
15	44,42	42,8	150	29,89	49,2

Tab. 9: Výsledky z programu COMFAA

7.2.4 Výsledné tabulky

B737-800	Netuhá vozovka			
	CBR = 3	CBR = 6	CBR = 10	CBR = 15
ADM	55,2	49,4	47	40,8
Graf výrobce	55,1	50,1	45,2	42,5
COMFAA	55,2	50,3	45,3	42,8

Tab. 10: Vypočítané hodnoty ACN pro netuhou vozovku

B737-800	Tuhá vozovka			
	k = 20	k = 40	k = 80	k = 150
ADM	57	55	52,8	49,1
Graf výrobce	55,8	54	51,2	49,1
COMFAA	56,1	54,1	51,7	49,2

Tab. 11: Vypočítané hodnoty ACN pro tuhovou vozovku

7.3 Airbus A380-800

Potřebné hodnoty pro výpočet:

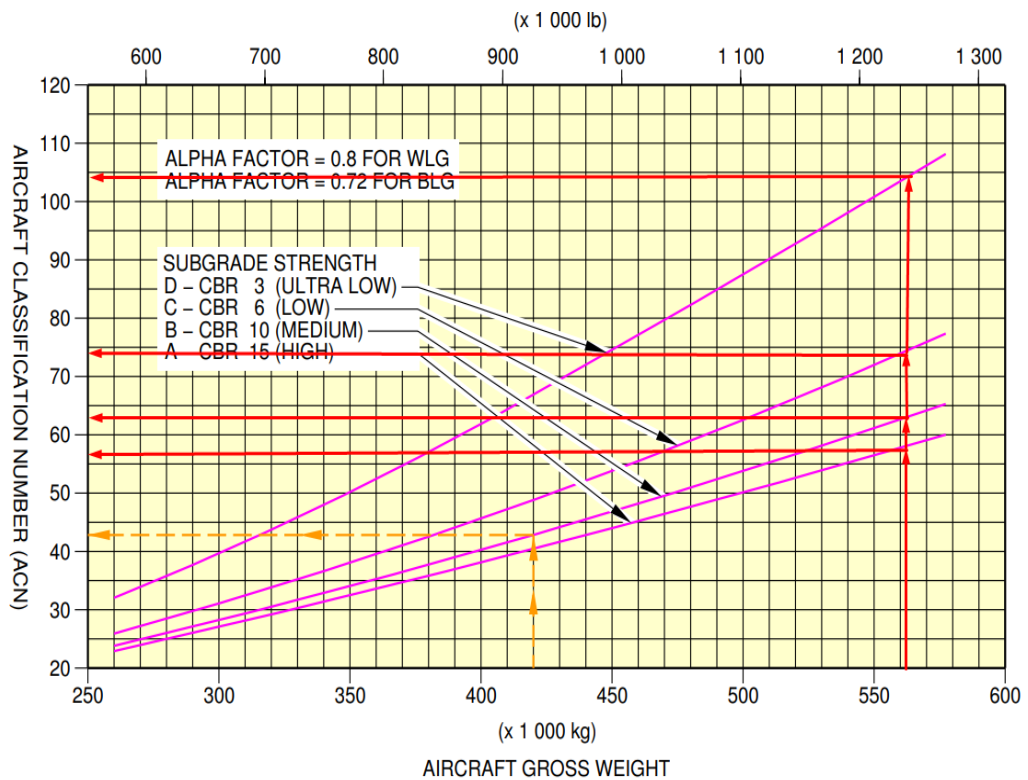
Maximální hmotnost při pojíždění – 562 000 kg

7.3.1 Výpočet dle ADM

Grafy z manuálu bohužel nelze pro takto těžké letadlo využít, protože hodnoty ACN jsou vyšší, než je uvedeno v grafu.

7.3.2 Grafy

a) Asfaltová vozovka

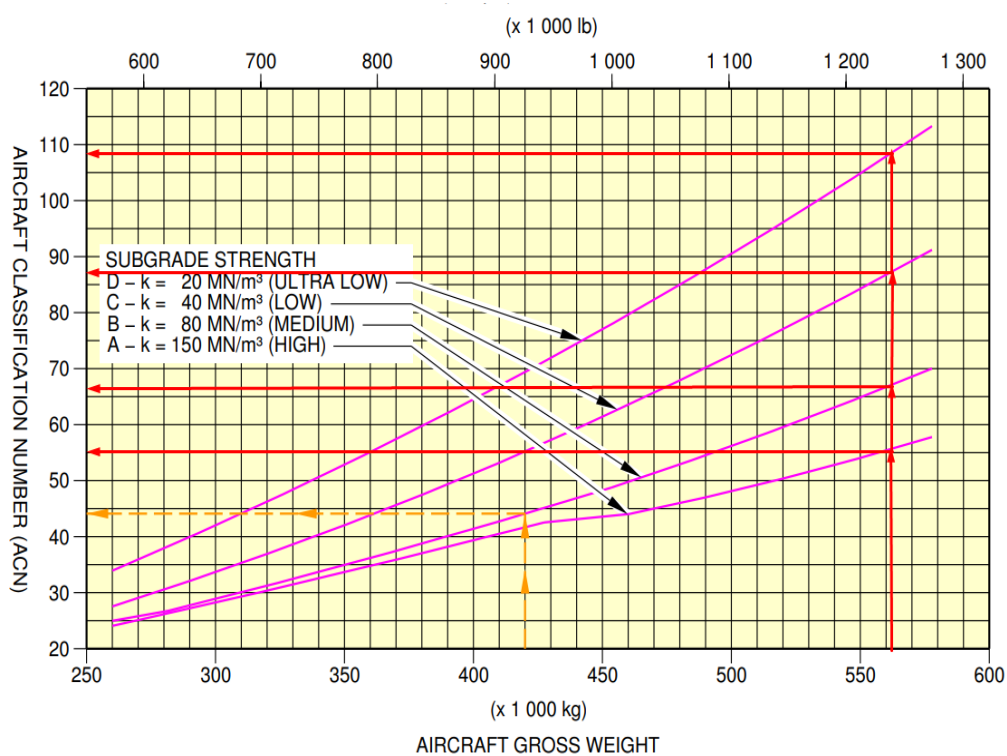


Obr. 42: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [10]

Hodnoty ACN získané z grafu:

- 1) CBR = 3 %; ACN \doteq 104,8
- 2) CBR = 6 %; ACN \doteq 74,5
- 3) CBR = 10 %; ACN \doteq 62,1
- 4) CBR = 15 %; ACN \doteq 56,1

b) Cementobetonová vozovka

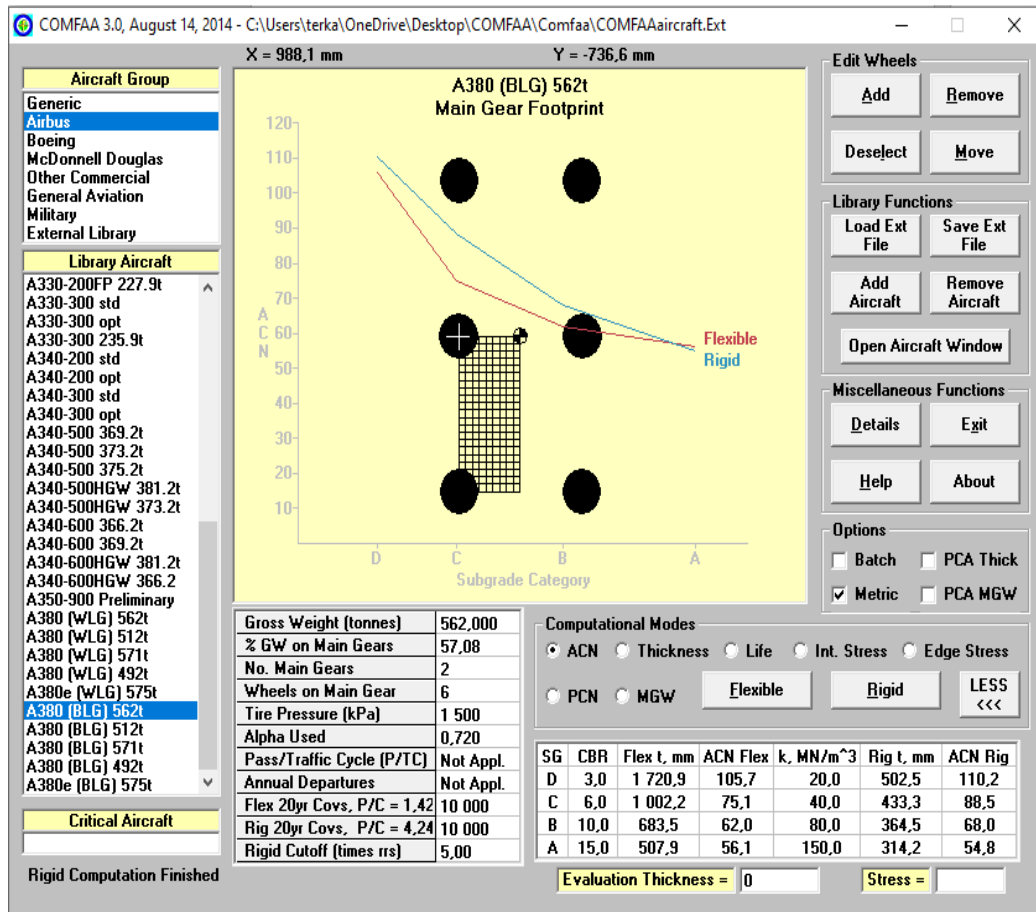


Obr. 43: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [10]

Hodnoty ACN získané z grafu:

- 1) $k = 20 \text{ MN/m}^3$; $\text{ACN} \doteq \underline{\underline{109,2}}$
- 2) $k = 40 \text{ MN/m}^3$; $\text{ACN} \doteq \underline{\underline{87,5}}$
- 3) $k = 80 \text{ MN/m}^3$; $\text{ACN} \doteq \underline{\underline{66,3}}$
- 4) $k = 150 \text{ MN/m}^3$; $\text{ACN} \doteq \underline{\underline{55,1}}$

7.3.3 Program COMFAA 3.0



Obr. 44: Zadané letadlo v programu COMFAA

Hodnoty vypočítané programem

Netuhá vozovka			Tuhá vozovka		
CBR [%]	Referenční tloušťka [cm]	ACN	k [MN/m ³]	Referenční tloušťka [cm]	ACN
3	172,09	105,7	20	50,25	110,2
6	100,22	75,1	40	43,33	88,5
10	68,35	62,0	80	36,45	68,0
15	50,79	56,1	150	31,42	54,8

Tab. 12: Výsledky z programu COMFAA

7.3.4 Výsledné tabulky

A380-800	Netuhá vozovka			
	CBR = 3	CBR = 6	CBR = 10	CBR = 15
Graf výrobce	104,8	74,5	62,1	56,1
COMFAA	105,7	75,1	62,0	56,1

Tab. 13: Vypočítané hodnoty ACN pro netuhou vozovku

A380-800	Tuhá vozovka			
	k = 20	k = 40	k = 80	k = 150
Graf výrobce	109,2	87,5	66,3	55,1
COMFAA	110,2	88,5	68,0	54,8

Tab. 14: Vypočítané hodnoty ACN pro tuhous vozovku

7.4 Shrnutí výsledků

A320-200	Netuhá vozovka				Tuhá vozovka		
	CBR=3	CBR=6	CBR=10	CBR=15	k=20	k=40	k=80
ADM	49,0	43,6	40,2	39	50,2	47,4	45,2
Graf výrobce	49,3	44,1	40,1	38,2	50	48	45,5
COMFAA	50,2	44,4	40,0	38,5	50,4	48,4	46
Hodnoty z tab. výrobce	50	44	40	39	50	48	46

Tab. 15: Porovnání zjištěných hodnot ACN pro A320-200

B737-800	Netuhá vozovka				Tuhá vozovka		
	CBR=3	CBR=6	CBR=10	CBR=15	k=20	k=40	k=80
ADM	55,2	49,4	47	40,8	57	55	52,8
Graf výrobce	55,1	50,1	45,2	42,5	55,8	54	51,2
COMFAA	55,2	50,3	45,3	42,8	56,1	54,1	51,7
Hodnoty z tab. výrobce	56	51	46	44	57	56	53

Tab. 16: Porovnání zjištěných hodnot ACN pro B737-800

A380-800	Netuhá vozovka				Tuhá vozovka		
	CBR=3	CBR=6	CBR=10	CBR=15	k=20	k=40	k=80
Graf výrobce	104,8	74,5	62,1	56,1	109,2	87,5	66,3
COMFA A	105,7	75,1	62,0	56,1	110,2	88,5	68,0
Hodnoty z tab. výrobce	106	75	62	56	110	88	68

Tab. 17: Porovnání zjištěných hodnot ACN pro A380-800

Z porovnání výsledných hodnot ACN letadel je patrné, že se výsledky různých metod výrazně neliší. Hodnoty všech letadel se od sebe liší o hodnotu ± 2 ACN.

Výpočet pomocí Aerodrome Design Manual – Part 3 je poměrně zdlouhavý a postup, který popisuje, se u novějších a těžších typů letadel nedá použít, protože výrobci již neposkytují potřebné grafy pro stanovení referenční tloušťky.

Ve většině manuálů letadel se nyní výrobci přímo odkazují na výpočetní software nebo na tabulky s vypočítanými hodnotami.

Program COMFAA je velice rychlý a jednoduchý způsob, jak hodnoty ACN vypočítat. Výsledky z programu jsou ve většině případů nejvyšší a po zaokrouhlení se shodují s čísly z tabulek výrobce.

Ze zjištěných výsledků je tedy patrné, že nejlepší metodou výpočtu, z mnoha zkoumaných, je program COMFAA.

8. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo nastínit problematiku letištních vozovek. Byla zaměřena zejména na únosnost zpevněných ploch. Ve své praktické části jsem ukázala různé metody výpočtu hodnoty ACN pro mnou vybraná letadla. Způsoby výpočtu a výsledky jsem následně porovнала.

Výsledky ACN jsou ovlivněny nejen jiným způsobem výpočtu, ale i hmotností letadla a huštěním pneumatik. Jestliže bude v pneumatikách vyšší tlak, než se kterým se ACN počítalo, tak letadlo bude vyvozovat větší hodnotu ACN. Klasifikační číslo letadla by tak mohlo být vyšší než klasifikační číslo vozovky, a tím pádem by došlo k poškození vozovky. Stejný problém by mohla způsobit vyšší hmotnost letadla. Pokud přistane letadlo s vyšší hmotností, než se kterou se ACN počítalo, vyvodí tím větší zatížení. V nejhorším případě mohou být překročeny oba tyto parametry, proto je lepší předcházet těmto problémům již při volbě metody výpočtu.

Při výpočtu PCN si musíme hlídat mnohem více faktorů. Je nutné znát tloušťky jednotlivých vrstev vozovky a hodnotu kategorií podloží. Při stanovení klasifikačního čísla stávající vozovky je důležitá i teplota vozovky nebo rozsah poruch. Stanovení klasifikačního čísla vozovky je mnohem náročnější, a proto se tímto problémem ve své práci nezabývám.

Závěrem lze říci, že by bylo vhodné pro jednodušší určení hodnot ACN/PCN stanovit jednu metodu výpočtu a poskytnout stejný program všem výrobcům letadel a provozovatelům letišť. Ale stanovení hodnot ACN a PCN je natolik složité, že je těžké stanovit tu nejlepší metodu bez zohlednění konkrétních podmínek letišť.

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Praha-Ruzyně konstrukce RWY 04/22 z roku 1938 [7]	11
Obr. 2: Satelitní snímek letiště Praha-Ruzyně z roku 1936 [7].....	12
Obr. 3: Schéma RWY.....	14
Obr. 4: RWY Letiště Václava Havla [26]	14
Obr. 5: Schéma postranního pásu	15
Obr. 6: Schéma dráhových pásů.....	15
Obr. 7: Schéma dojezdové dráhy.....	16
Obr. 8: Dojezdová dráha/Stopway [25]	16
Obr. 9: Schéma předpolí	17
Obr. 10: Schéma koncové bezpečnostní plochy	17
Obr. 11: Pojezdová dráha/Taxiway [24]	18
Obr. 12: Odbavovací plocha/ Apron [19].....	19
Obr. 13: Zatravňovací dlaždice pár dní po instalaci - Letiště Šumperk	22
Obr. 14: Zatravňovací dlaždice dva měsíce po instalaci - Letiště Šumperk .	22
Obr. 15:Schéma konstrukce netuhé vozovky	24
Obr. 16: Rozložení napětí v netuhé vozovce [20].....	25
Obr. 17: Schéma konstrukce tuhé vozovky	26
Obr. 18: Rozložení napětí v cementobetonové vozovce [20]	27
Obr. 19: Vyztužování spár cementobetonové vozovky [21]	28
Obr. 20: Dimenzování pohybových ploch [6].....	29
Obr. 21: Průběh zatížení na vozovce při působení dvoukolového podvozku [6]	31
Obr. 22: Diagram.....	38
Obr. 23: Graf ACN pro netuhé vozovky [1].....	39
Obr. 24: Graf ACN pro netuhé vozovky [1].....	40
Obr. 25: Graf pro stanovení ACN netuhé vozovky od výrobce Boeing [12]..	41
Obr. 26: Program COMFAA	41
Obr. 27: Tabulka s hodnotami ACN od výrobce Boeing [12].....	42
Obr. 28: Graf pro stanovení referenční tloušťky netuhé vozovky [9]	45
Obr. 29: Graf pro stanovení DSWL [1]	46
Obr. 30: Graf pro stanovení referenční tloušťky tuhé vozovky [9]	47

Obr. 31: Graf pro stanovení DSWL [1]	48
Obr. 32: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [9]	49
Obr. 33: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [9]	50
Obr. 34: Zadané letadlo v programu COMFAA	51
Obr. 35: Graf pro stanovení referenční tloušťky netuhé vozovky [11]	53
Obr. 36: Graf pro stanovení DSWL [1]	54
Obr. 37: Graf pro stanovení referenční tloušťky tuhé vozovky [11]	55
Obr. 38: Graf pro stanovení DSWL [1]	56
Obr. 39: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [11]	57
Obr. 40: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [11]	58
Obr. 41: Zadané letadlo v programu COMFAA	59
Obr. 42: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [10]	61
Obr. 43: Graf pro stanovení hodnoty ACN pro netuhou vozovku [10]	62
Obr. 44: Zadané letadlo v programu COMFAA	63

10. SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Typy vozovek	35
Tab. 2: Hodnoty pevnosti podloží pro tuhé vozovky	35
Tab. 3: Hodnoty pevnosti podloží pro netuhé vozovky	36
Tab. 4: Huštění pneumatik	36
Tab. 5: Způsob hodnocení	37
Tab. 6: Výsledky z programu COMFAA	51
Tab. 7: Vypočítané hodnoty ACN pro netuhou vozovku.....	52
Tab. 8: Vypočítané hodnoty ACN pro tuhou vozovku.....	52
Tab. 9: Výsledky z programu COMFAA	59
Tab. 10: Vypočítané hodnoty ACN pro netuhou vozovku.....	60
Tab. 11: Vypočítané hodnoty ACN pro tuhou vozovku.....	60
Tab. 12: Výsledky z programu COMFAA	63
Tab. 13: Vypočítané hodnoty ACN pro netuhou vozovku.....	64
Tab. 14: Vypočítané hodnoty ACN pro tuhou vozovku.....	64
Tab. 15: Porovnání zjištěných hodnot ACN pro A320-200	65
Tab. 16: Porovnání zjištěných hodnot ACN pro B737-800.....	65
Tab. 17: Porovnání zjištěných hodnot ACN pro A380-800.....	66

11. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

11.1 Literatura

- [1] International Civil Aviation Organization. *Aerodrome Design Manual – Part 3 – Pavements*. USA: ICAO, 2. vyd., 1983. ISBN 92-9194-117-4.
- [2] KAUN, Miroslav. *Letiště: navrhování*. Praha: České vysoké učení technické, 996 s. ISBN 80-01-01449-5.
- [3] KAUN, Miroslav a František LUXEMBURK. *Pozemní komunikace 30*. Praha: ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02486-5. Dostupné také z:
<https://kramerius-vs.techlib.cz/uuid/uuid:77461f0b-ac9e-47cb-907d-d664c564c082>
- [4] KAZDA, Antonín. *LETISKÁ design a prevádzka*. Vyd. 1. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov, 1995. ISBN 80-7100-240-2.
- [5] *LETECKÝ PŘEDPIS L 14* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky a Úřad pro civilní letectví, 2009 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z:
https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/data/print/L-14_cely.pdf
- [6] *YLET: Přednáška č. 4*. In: PÁNEK, Petr. ČVUT Fakulta stavební: Katedra silničních staveb [online]. 2008 [cit. 2021-04-26].
Dostupné z: <http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/ylet/4.pdf>
- [7] *YSKL: Přednáška č. 1*. In: PÁNEK, Petr. ČVUT Fakulta stavební: Katedra silničních staveb [online]. 2008 [cit. 2013-04-26].
Dostupné z: <http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/yskl/yskl1.pdf>
- [8] KOČÍ, Roman. *Letištní vozovky*. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb. Vedoucí práce Ing. Petr Pánek, Ph.D.

11.2 Internetové zdroje

- [9] AIRBUS. *A320 Aircraft Characteristics Airport And Maintenance Planning* [online]. Rev 39. Airbus, 2020 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/aircraft/support-services/airport-operations-and-technicaldata/aircraft-characteristics.html>
- [10] AIRBUS. *A380 Aircraft Characteristics Airport And Maintenance Planning* [online]. Rev 17. Airbus, 2020 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/aircraft/support-services/airport-operations-and-technicaldata/aircraft-characteristics.html>
- [11] BOEING. *737 Airplane Characteristics for Airport Planning* [online]. Boeing, 2013 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/737.pdf>
- [12] BOEING. *777-9 Airplane Characteristics for Airport Planning* [online]. Rev A. Boeing, 2018 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/777-9_RevA.pdf
- [13] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Advisory Circular 150-5320-6E Airport Pavement Design and Evaluation* [online]. 2009 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/150_5320_6e.pdf
- [14] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Advisory Circular 150-5335-5C Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN* [online]. 2014 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/150-5335-5c.pdf
- [15] Olbron Invent s.r.o. *Dopravní soustava městských aglomerací: Letecká doprava* [online]. [cit. 2021-04-26] Dostupné z: <http://www.olbron.cz/Letadla.pdf>

- [16] Letiště Václava Havla Praha. *Historie dráhového systému* [online]. [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/historie-drahoveho-systemu>
- [17] Řízení letového provozu ČR, s.p. *Historie* [online]. Copyright © ŘLP ČR, s.p. [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/profil/Stranky/historie.aspx>
- [18] VOZOVKY A LETIŠTĚ. *Časopis BETON – technologie, konstrukce, sanace* [online]. 2005 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: https://www.betontks.cz/sites/default/files/BETON_TKS_2005-06.pdf
- [19] Paralelní dráha RWY 06R/24L na letišti. AFC – Aviation Fan Club [online]. Dostupné z: http://www.aviation-fan-club.com/paralelni_draha.htm
- [20] The lowdown: Rigid vs Flexible pavements. *FIRTH* [online]. 2018 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://www.firth.co.nz/news/the-lowdown-rigid-vs-flexible-pavements/>
- [21] Dálnice a silnice. *Betonové vozovky* [online]. 2018 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://www.betonovevozovky.cz/information/dalnice-a-silnice/>
- [22] TP 94 - Technické podmínky 94. Úprava zemin. Ministerstvo dopravy, 2013. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_94.pdf
- [23] TP 170 - Technické podmínky 170. Navrhování vozovek pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy ČR, 2004. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_170.pdf
- [24] Reconstruction of taxiways at MIA. *Timesofmalta* [online]. 1. října 2008 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://timesofmalta.com/articles/view/reconstruction-of-taxiways-at-mia.226953>
- [25] Stopway. *Skybrary* [online]. [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/index.php/Stopway>
- [26] Soutěž Česká dopravní stavba, technologie, inovace roku 2013 výsledky. *Imaterialy* [online]. 16. 6. 2014 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z:

https://www.imaterialy.cz/rubriky/aktuality/souteze/soutez-ceska-dopravni-stavba-technologie-inovace-roku-2013-vysledky_41177.html

[27] Modernizace plánované etapy. *Airport-k-vary* [online]. [cit. 2021-04-26].

Dostupné z: <https://www.airport-k-vary.cz/cs/modernizace-planovane-etapy/>

[28] SOBOTKOVÁ, Šárka. *Průjezdnost vozidel terénem z hlediska jeho únosnosti* [online]. 2010 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z:

<https://www.vojenskerozhledy.cz/kategorie-clanku/technika-a-vyzbroj/prujezdnost-vozidel-terenem-z-hlediska-jeho-unosnosti>

[29] *PERFO SD* [online]. [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <http://www.perfo-sd.cz>