



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Jan Walica

**KONSTRUKCE LETIŠTNÍCH VOZOVEK**

Bakalářská práce

**2015**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta dopravní  
d ě k a n**  
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

**K621..... Ústav letecké dopravy**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Jan Walica**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – LED – Letecká doprava**

Název tématu (česky): **Konstrukce letištních vozovek**

Název tématu (anglicky): Construction of Airport Pavement

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod
- Typy letištních vozovek
- Kontrakční a dilatační spáry
- Fyzikální vlastnosti vozovek
- Návrh vozovky
- Závěr

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Letiská Design a prevádzka - Antonín Kazda, 1995  
Letiská - M. Kaun, L. Rondoš, 1990  
Stavba letišť - návody k projektu, Miroslav Kaun, Blanka Pipková, 1978

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Fajt**  
**Ing. Ladislav Capoušek, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **24. srpna 2015**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Daniel Hanus, CSc.  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Jan Walica  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. prosince 2014

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Vladimíru Fajtovi za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady které mi poskytoval po celou dobu mého studia. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne :

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## KONSTRUKCE LETIŠTNÍCH VOZOVEK

Bakalářská práce

září 2015

Jan Walica

### **Abstrakt**

Předmětem bakalářské práce „Konstrukce letištních vozovek“ je popsat typy vozovek na letišti a ukázat potřebné postupy při výstavbě letištních vozovek a následně dimenzovat navrhovanou vzletovou a přistávací dráhu do místa výstavby v okolí města Olomouc.

### **Abstract**

The subject of bachelor thesis „Construction of airport pavement“ is to describe the types of pavements at the airport and show the necessary procedures for the construction of airport pavements, and then dimension the proposed runway to the construction site near the city of Olomouc.

**Klíčová slova:**

Vzletová a přistávací dráha      runway

L14

Cementobetonová vozovka      cement-concrete pavement

Konstrukce      construction

## Obsah

Seznam použitých zkratk	7
1. Úvod	8
2. Typy letištních vozovek	9
2.1. Nezpevněné vozovky	9
2.1.1. Travnaté vozovky	9
2.2. Zpevněné vozovky	9
2.2.1. Zpevněné vozovky s travnatým povrchem	9
2.2.2. Zpevněné vozovky s bezprašným povrchem	10
2.2.2.1. Struktura vozovky	10
2.2.2.1.1. Podloží	10
2.2.2.1.2. Podsyp	11
2.2.2.1.3. Podklad	12
2.2.2.2. Netuhé bitumenové vozovky	13
2.2.2.3. Tuhé cementobetonové vozovky	14
2.2.2.3.1. Materiál	16
2.2.2.3.2. Kontrola a nedostatky	17
2.2.2.4. Kombinované vozovky	18
2.2.2.5. Dlažby	18
3. Kontrakční a dilatační spáry	19
3.1. Kontrakční spáry	19
3.2. Dilatační spáry	19
3.3. Pracovní spáry	20
4. Fyzikální vlastnosti vozovky	21
4.1. Únosnost vozovek	21
4.1.1. Úvod	21
4.1.2. Zatěžování vozovek	24
4.1.3. Hlášení a stanovení únosnosti	26
4.1.4. Přetěžování vozovek	29
4.1.5. Zesilňování vozovek	29
4.2. Povrch vozovek	30
4.2.1. Rovnost povrchu VPD	30
4.2.2. Měření a hodnocení nerovností	30
4.2.3. Textura vozovky	31
4.2.4. Brzdné účinky	32
4.2.5. Odvodnění vozovek	33
4.3. Vlivy na konstrukci VPD	34
5. Návrh vozovky	36
5.1. Úvod	36

5.2. Projektová příprava.....	36
5.2.1. Umístění .....	36
5.2.2. Výpočty konstrukce VPD .....	38
6. Závěr .....	49
7. Použité zdroje .....	51
8. Seznam obrázků.....	53
9. Seznam tabulek.....	54
10. Přílohy .....	55



## Seznam použitých zkratk

VPD	vzletová a přistávací dráha
L14	Annex č. 14 z ICAO v českém překladu
MTOW	maximum take off weight/maximální odletová hmotnost
MLW	maximum landing weight/maximální přistávací hmotnost
CWY	clearway/předpolí
TWY	taxiway/pojezdová dráha
ACN	aircraft clasification number/klasifikační číslo letadla
PCN	pavement clasification number/klasifikační číslo vozovky
CB	cementobetonový
ICAO	international civil aviation organization/mezinárodní organizace pro civilní letectví
EIA	Environmental Impact Assessment/Vyhodnocení vlivů na životní prostředí
TORA	take off run available/použitelná délka rozjezdu
TODA	Take off distance avaiable/použitelná délka vzletu
ASDA	Accelerate stop distance avaiable/použitelná délka přerušného vzletu
LDA	Landing Distance Available/použitelná délka přistání
ŘLP	Řízení letového provozu

## 1. Úvod

Téma konstrukce letištních vozovek jsem si vybral z důvodu, že jsem chtěl čtenáře seznámit s pracovním postupem při navrhování letištních vozovek. Na začátku práce jsou uvedeny typy vozovek a jejich konstrukční vrstvy pro ukázkou, jak se od sebe liší. Další část práce se zabývá únosností vozovky, a jaké síly na vozovku působí. Nedílnou součástí charakteristiky vozovky je i její povrch, který musí splňovat mnoho vlastností. V praktické části jsem navrhoval vzletovou a přistávací dráhu a volil její konstrukční vrstvy. Při výběru lokality jsem zvolil bezprostřední hospodářskou oblast blízko města Olomouc, mezi vesnicemi Nedvězí a Bystročice. Tuto lokalitu jsem zvolil, protože Olomouc je jedno z největších měst v České republice a má pouze menší letiště s krátkou vzletovou a přistávací dráhou, která neumožňuje vzlet a přistání větších dopravních letounů. Směr VPD jsem umístil na základě historických údajů o směru větru a určil jsem lokalitu, která je vhodná z důvodu, že hlavní letový koridor nebude zasahovat do historického centra města. Další výhodou je napojení na rychlostní silnice R35 a R46, které by zajistili bezproblémovou dopravní obslužnost letiště i okolních měst, zejména Prostějov. Terén v lokalitě je mírně svažité, a proto je nutné počítat s větším přesunem horniny a tím i vyšší náklady na výstavbu. Během výpočtů délky VPD jsem zahrnul vliv nadmořské výšky, teploty letiště a sklonu VPD. Zde je vidět o kolik se musí VPD prodloužit. Dále jsem vypracoval podélný profil terénu a vzorový příčný řez, kde můžeme vidět navrženou konstrukci vozovky. Na závěr práce jsem navrženou VPD umístil do stávající situace na mapě a nákres doplnil o pojezdové dráhy, stojánky a terminál.

## 2. Typy letištních vozovek

### 2.1. Nezpevněné vozovky

#### 2.1.1. Travnaté vozovky

Nezpevněné travnaté vozovky mohou být využívány na území ČR celoročně. Vyhovují ale pouze jenom pro letadla o vzletové hmotnosti do 2000 kg. Pro výstavbu travnaté vozovky máme jisté podmínky, které musí povrch splňovat. Jedná se především o složení a dobré drenážní charakteristiky zeminy v podloží. V ideálním případě bude letiště umístěno na rovině, na přirozené vrstvě šterkopísku, na které bude položeno přibližně 20 cm humusu. Povrch musí tvořit koberec z letištní travní směsi. Musíme zvolit jednotlivé druhy trav, aby byl kořenový systém dostatečně hustý a povrch zpevňoval. Podle Anexu 14 je maximální délka trávy stanovena na 35 cm. Většina použitých druhů trav je kratšího vzrůstu a nevyžadují časté kosení. Problematický je správný vodní režim zejména na jaře a podzimu po delších deštích, kdy je povrch promáčen a má nižší únosnost. Využití vozovek během těchto podmínek je omezen zejména pro obchodní dopravu, protože je těžké zabezpečit pravidelnou dopravu a přepravu. Po dlouhých deštích je povrch někdy zničený a musí se opravit včetně kořenového systému. Vhodné je upravit vodní režim vozovky odvodněním. Z důvodu zvýšení bezpečnosti je žádoucí, aby na nezpevněných vozovkách bylo provedeno značení předepsané pro zpevněné pojezdové dráhy dle Anexu 14 [4].

### 2.2. Zpevněné vozovky

#### 2.2.1. Zpevněné vozovky s travnatým povrchem

V některých případech je nutné přistoupit k dalšímu zpevnění letištní vozovky s travnatou VPD. Tento trend vznikl během 2. světové války, když používali vojáci ke stavbě provizorních polních letišť ocelové rošty. Připojili navzájem několik luk a polí a získali tak dočasnou VPD. Tento způsob zpevnění je používán ještě dnes na odstavné plochy pro těžkou techniku. Princip této techniky je v položení síťoviny z umělých vláken (například Polynet), při zakládání travnatého koberce do horní vrstvy humusu. Síťovina pomáhá lépe zakotvit kořenový systém jednotlivých trsů trávy a zároveň přenáší část smykového zatížení při rozjezdu a brzdění letadel [4].

V některých případech je potřebné zvýšit únosnost vozovky, ale zároveň zachovat travnatý povrch. Často mívá takováto vozovka dočasný charakter a poté se musí vrátit do původního stavu, neboť je hospodářsky využívána. Jedná se například o letecké práce v hospodářství, nebo sportovní létání. Pro tento dočasný způsob zpevnění je vhodné použít v nosné vrstvě vápno. Přednost této metody je jednoduchost a též likvidace tohoto zpevnění vozovky

hlubokou orbou. Vápník se přidává do zeminy buď formou nehašeného vápna – CaO, nebo hydroxidu vápenatého – Ca(OH)<sub>2</sub>. Zpevňující vazby mezi zrny zeminy jsou vratné, takže stabilizaci můžeme kdykoliv rozložit, nebo ztuhnout, přičemž se v zemině opět obnoví. V případě promáčené a vlhké vozovky můžeme použít práškové vápno s vysokým obsahem aktivního CaO s vynikající hydratační schopností, abychom danou vozovku vysušili [4].

V ojedinělých případech je potřebné zvýšit únosnost VPD s travnatým povrchem vybudováním podkladových vrstev podobně jako je tomu například u vozovek s asfaltovým povrchem. Na podkladové vrstvy se potom rozprostře 15 – 20 cm vrstva humusu a založí travnatý koberec. Tento způsob se ale v dnešní době používá ojediněle, protože je nákladný a mnohá menší letiště si ho nemůžou dovolit [4].

## **2.2.2. Zpevněné vozovky s bezprašným povrchem**

### **2.2.2.1. Struktura vozovky**

Letištní vozovka se skládá ze zemního tělesa, tvořící spodní stavbu vozovky v kontaktu s terénem a vlastní zpevněnou částí, tj. vozovkou. Zemní těleso vozovku podepírá a na vozovku působí účinky zatížení a klimatické vlivy. Vozovka spolu s podložím (aktivní zónou zemního tělesa) těmto účinkům odolává. Odbočíme-li od požadavků na krytové vrstvy vozovek, pak podkladní vrstvy zajišťují únosnost vozovky a jsou vhodným podkladem pro položení cementobetonového krytu, asfaltových vrstev nebo dlažby. Musí obvykle umožnit staveništní dopravu, která je nesmí poškodit [9].

Pro celoroční pravidelný provoz letadel s hmotností větší jak 2000 kg je nezbytné v klimatických podmínkách střední Evropy na letištích vybudovat VPD s bezprašným povrchem. Volbu konstrukce vozovky ovlivňuje mnoho činitelů a konečný návrh je často kompromisem. Používané materiály na bázi asfaltu umožňují vybudovat VPD i pro nejtěžší dopravní letadla na světě [4].

Pro některé vozovky volíme cementobetonovou strukturu, v jiných případech je vhodnější použít netuhé bitumenové vozovky. Tyto druhy konstrukce se od sebe v podstatě neliší od silničního stavitelství. Rozdíl je jenom v tloušťce, které je na letištních vozovkách v důsledku vyššího zatížení podstatně větší, než na cestách určených pro silniční vozidla [4].

Konstrukce zpevněné vozovky se skládá z podloží, podsypu, podkladu a krytu vozovky.

#### **2.2.2.1.1. Podloží**

Plocha, která byla vybrána pro letiště, musí splňovat určité parametry. Zemina v podloží musí být dostatečně únosná, nepropustná a nesmí měnit svůj objem účinkem mrazu a vlhkosti. Na základě půdního mechanického rozboru se určuje, které druhy zemin je

potřebné z podloží letištní vozovky odstranit nebo je možné zlepšit přidáním jiné zeminy, či horniny v okolí letiště [4].

Volbu konstrukce vozovky podstatně ovlivňuje únosnost podloží. Jednoduše řečeno, že čím je podloží únosnější, tím může být celková konstrukce vozovky tenčí a levnější. Na projektování konstrukce vozovky má také vliv výskytu vhodného stavebního materiálu v okolí letiště. Při stavbě se používá co nejvíce místního materiálu z důvodu, že přeprava horniny a půdy je velice nákladná a je ho velké množství. O volbě konstrukce vozovky rozhoduje ekonomické posouzení, které bere v úvahu nejen náklady na výstavbu, ale také na její údržbu a rekonstrukci. Dále se vypracuje studie na vrácení financí při uzavření letiště v průběhu oprav a rekonstrukce [4].

Ke vztahu o vyhlášení únosnosti letištní vozovky metodou ACN-PCN je potřebné zjistit únosnost podloží. Pro tuhé vozovky dimenzované podle Westergaarda se vyjadřuje únosnost modulem reakce podloží  $k$ . Modul reakce podloží je dotykový tlak, který je potřebný na zatlačení normované desky, přičemž můžeme použít dvě metody:

- 1) Zatěžovací deska se zatíží tlakem  $p = 0,07$  MPa a potom se zjišťuje  $z$
- 2) Deska se zatlačí do hloubky 1,27 mm a zjistí se dotykové napětí

Modul reakce podloží je určený vztahem

$$k = \frac{p}{z} [MN.m^{-3}]$$

Kde je:  $k$  modul reakce podloží

$p$  dotykové napětí [ $N.m^{-2}$ ]

$z$  zatlačení desky [m]

Pro netuhé vozovky je v metodě ACN - PCN únosnost podloží vyjadřována kalifornským poměrem únosnosti (CBR). Kalifornský poměr únosnosti je poměr únosnosti zkoušeného materiálu k únosnosti porovnávacího vzorku drceného štěrku. Tato metoda se určuje ve speciálním přístroji zatěžkávacími zkouškami, při které se do zeminy zatlačuje ocelová tyč o průměru 50 mm. CBR se vyjadřuje v procentech [4].

#### 2.2.2.1.2. Podsyp

Na upravené podloží, které může být chráněné geotextílií se rozprostře vrstva štěrkopísku, nebo drceného štěrku. Tato vrstva má splňovat drenážní a filtrační funkci. Skrz ni je odváděn kondenzát z konstrukce vozovky, který vzniká při změnách teploty. Tato vrstva zabraňuje vztlínání kapilární vody a je odváděna trativody do sběračů [4].

### 2.2.2.1.3. Podklad

Hlavní úlohou podkladu je přijímat a roznášet tlaky od podvozku letadla na dostatečně velkou plochu podsypu a podloží. Podklad má většinou více vrstev. Tloušťka a složení jednotlivých vrstev závisí na únosnosti podloží a od zvolené konstrukce krytu vozovky. Vždy musí být splněna podmínka, že vyšší vrstva musí být více únosná, než vrstva pod ní, kde je zatížení roznášeno na větší plochu. Tlak je přenášen a rozkládán interakcí jednotlivých částí. Podkladní vrstvy jsou:

- nestmelené,
- stmelené hydraulickým pojivem,
- prolévané,
- stmelené asfaltem. [8]

Jako materiál na podklad můžeme použít:

- hlinitou stabilizaci,
- cementovou stabilizaci (šterkopísek s jemnými frakcemi 8 až 10 % cementu),
- makadam,
- šterk a jiné druhy.

Podkladové vrstvy musí vytvořit únosný a přitom pružný podklad. U podkladu určujeme volbu materiálu zeminy, kameniva a u stmelených vrstev ještě pojivo, nebo prolévanou směs. Dále záleží na způsobu výrobě směsi, zhutnění a dopravou na místo výstavby, protože se jedná o velké objemy přepravovaného materiálu, jejichž doprava je velice nákladná [4].

Nestmelené vrstvy vozovek jsou vytvořené ze zrnitého materiálu, tj. vhodné zeminy, kameniva nebo jejich směsi bez pojiva. Vrstvy se vyznačují složením kameniva s plynulou čarou zrnitosti k dosažení minimálního množství mezer v kamenivu, zhutnitelností, splněním filtračních kritérií, nenamrzavostí a únosností. Filtrační kritérium k zabránění pronikání materiálu ze spodní vrstvy zejména podložní zeminy a horní vrstvy do podkladní vrstvy. [9]

Stmelení směsi je způsob úpravy zemin. Směsi zemin nebo jiného zrnitého materiálu s použitím hydraulických pojiv a směsi pojiv se používají do konstrukčních vrstev vozovky. Stmelené směsi získají požadovanou pevnost a odolnost zejména proti vodě a mrazu. Technologie umožňuje využít místní přírodní materiály a druhotné suroviny. Návrh stmelené směsi spočívá ve stanovení složení směsi (vhodná zrnitost a optimální množství pojiva), zhutnitelnosti a prokázání, že navržená stmelená směs dosahuje projektem požadované minimální pevnosti v prostém tlaku. [9]

Jako pojiva se používají nejčastěji cement nebo cement a příměsi, jako je popílek, odprašky, struska a jiné přísady pro omezení smršťování, urychlení nebo zpomalení tvrdnutí směsi apod. Některá směsná speciální hydraulická pojiva mají specifikované použití ke stmelení různých materiálů. [9]

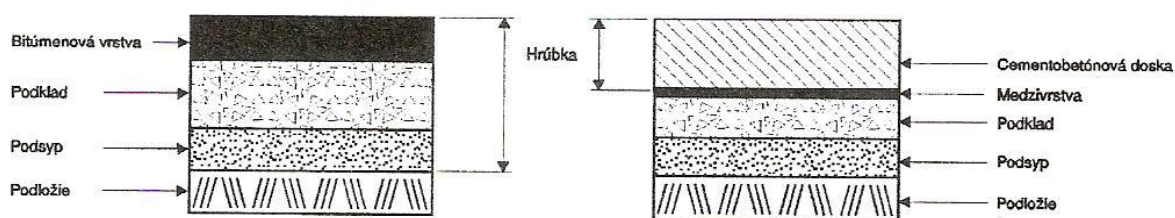
Prolévané vrstvy jsou tvořené předhutněnou kamennou kostrou prolitou výplňovou směsí nebo pojivem do úplného nebo částečného zaplnění mezer za pomoci následného vibračního hutnění. Jsou to vrstvy se dvěma technologickými procesy na stavbě s dodatečnou úpravou kameniva k vyplnění mezer a stmelení povrchové části vrstvy. Nejčastěji se používá:

- štěrk částečně vyplněný cementovou maltou,
- penetrační makadam,
- asfaltocementový beton,
- kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí. [9]

#### 2.2.2.2. Netuhé bitumenové vozovky

Tento druh vozovek se podstatně rozšířil koncem 70. let. Netuhé vozovky se v současnosti používají i na takové typy pohybových ploch, na které se v minulosti používali výhradně cementobetonové vozovky. Při srovnatelných nákladech na výstavbu mají bitumenové vozovky několik výhod, ale také nevýhod [4].

Při kvalitním managementu a dozorování kvality stavby, může i místní dodavatel dosáhnout dobré kvality vozovky z místních surovinových zdrojů. Bitumenové vozovky jsou méně výrobně náročné než cementobetonové vozovky. Na druhé straně je vhodné stavbu vozovky svěřit renomovanému dodavateli, který garantuje její kvalitu a ručí za ní. Pro lepší porovnání nalezneme schéma obou typů zpevněných vozovek na obrázku 1.



Obrázek 1. Schéma typů zpevněných vozovek [4]

Na bitumenových vozovkách je jednodušší a levnější vykonávání oprav a středních rekonstrukcí. Rekonstrukce bitumenových vozovek je možné vykonávat i během omezeného provozu například v noci. Tento typ vozovek odolává lépe zimní údržbě, při které se

používají chemické rozmrazovací látky. Výhodou je i rovný povrch beze spár oproti cementobetonovým vozovkám, kde se nacházejí kontrakční a dilatační spáry [4].

Na druhé straně se tyto vozovky méně využívají na vojenských letištích, protože mají menší odolnost vůči působení hořících výfukových plynů z vojenských raketových motorů. Mají i nižší odolnost vůči rozlitému palivu [4].

Relativně nižší únosnost bitumenových vozovek vyplývá z rozdílného způsobu přenosu zatížení. Zatížení se přenáší vzájemnou interakcí jednotlivých částic materiálu, při působení fyzikálních vlastností vazeb asfaltu. Únosnost je prakticky limitována zatížením, při kterém ještě nedochází k trvalé deformaci pružné bitumenové vozovky [4].

Vrchní část bitumenové vozovky je obvykle složená ze dvou bitumenových vrstev, které mají odlišnou funkci. Na podklad je nejdříve položena nosná bitumenová vrstva obsahující hrubší frakce štěrku. Tato vrstva má za úkol přenášet zatížení na podkladové vrstvy. Její tloušťka závisí na požadované výsledné únosnosti, nebo při rekonstrukci od stavu a profilu vozovky ležící pod ní. V závislosti na celkové tloušťce, která se obvykle pohybuje od 10 do 20 cm, se bitumenová vrstva může klást finišerem. Proces můžeme opakovat několikrát, aby se dosáhlo potřebného zhutnění povrchu válcem [4].

Horní obrusná vrstva obsahuje jemnější frakce kvalitního kameniva. Úlohou obrusné vrstvy je zachytávat smykové síly, které vznikají při rozjezdu, brzdění a zatáčení letadel. Na zajištění dostatečných brzdících účinků je stanovena drsnost povrchu. Aby byla obrusná vrstva dostatečně odolná vůči smykovému napětí, má být alespoň 4 cm tlustá. Její druhou úlohou je tvořit celistvý nepropustný povrch. Musí dokonale izolovat celou konstrukci vozovky, protože pronikáním vody do podloží by postupně došlo k jeho narušení, následně k poklesu únosnosti a porušení podkladových vrstev. Obrusná vrstva taktéž přenáší zatížení na vrstvy, které leží pod ní [4].

Při výstavbě je důležité sledovat teplotu bitumenové směsi. Dodržení předepsané teploty je předpokladem stanoveného zhutnění vrstev a vzájemného spojení pokládaných pásů. Zde právě dochází k častému porušení integrity spojů a vznikají trhliny, díky špatnému technologickému postupu a nedodržení podmínek pro výstavbu vozovky [4].

### **2.2.2.3. Tuhé cementobetonové vozovky**

Beton je jeden z nejtrvanlivějších stavebních materiálů. Hlavní výhodou tuhých vozovek je především jejich vyšší únosnost, která mimochodem vyplývá z odlišného přenosu zatížení. U tuhých vozovek je vrchní vrstva, v našem případě cementobetonová deska je uložena na polopružném podkladě. Pevnost desky závisí na kvalitě směsi cementu a kameniva. Deska přenáší zatížení na podstatně větší plochu. Tyto tuhé kryty nejsou tolik plastické, tudíž je



musíme navrhovat pouze na kvalitním podloží s rovnoměrnou únosností. Během provozu musíme neustále sledovat, jestli se podloží nehýbe a nedochází k deformaci vozovky [4].

Další výhodou je, když se dodrží technologický postup výstavby, že je zaručená delší životnost vozovky. Na vyhovujícím podloží a správné údržbě může mít tuhá vozovka životnost 20 – 30 let [4].

Cementobetonová deska se obvykle vyrábí z prostého betonu o tloušťce 20 až 30 cm. Tloušťka vrstvy je limitovaná možností pravidelného zhutnění betonové směsi a tím, že s rostoucí tloušťkou roste i velikost vnitřního pnutí z teplotních rozdílů. Toto je způsobeno dilatací horní a spodní části části desky. Teplotní rozdíly na desce vznikají většinou v průběhu kratších časových úseků (dny, hodiny). Teplotní spád je asi 0,5 °C na 1 cm. Ve skutečnosti je podstatně větší ve vrchní části desky do hloubky asi 3 cm [4].

Odlíšná dilatace horní a spodní části desky v důsledku teplotních rozdílů se projevuje snahou deformovat cementobetonovou desku do vypuklého, nebo vydutého tvaru. Vnitřní síly snižují únosnost desky oproti jejímu normálnímu stavu a uvažuje se s nimi při výpočtu. Na podklad se položí kluzná bitumenová mezivrstva, která umožňuje dilataci desky [4].

Cementobetonová deska se pokládá finišerem. Na letištích se používají finišery schopné klást desku o šířce až 15 m, ale i menší. Upravená a zhutněná betonová směs za finišerem má hladký povrch. Ztvrdlá betonová směs musí být proto zdrsněná. Obvykle se používají uměle vyrobené kartáče, které jsou vodorovně tahány kolmo na prodlouženou osu VPD. Tím se dosáhne předepsané drsnosti povrchu [4].

Aby se zabránilo nepravidelnému prasknutí desky působením vnitřního pnutí při rozdílné dilataci v důsledku teplotních rozdílů v horní a spodní části desky, musí být celý cementobetonový pás rozdělený kontrakčními a dilatačními spárami na jednotlivé desky. Na letištích obvykle v maximální šířce 7,5 m čtvercového tvaru [4].

Hlavní nevýhodou cementobetonové desky je obtížně proveditelná údržba a oprava. Provádění spár a použití poměrně vyšších tloušťek CB krytu není ekonomickou nevýhodou s ohledem na trvanlivost betonu. Problém ovšem přináší každý technologický nedostatek, každá nedokonalost provedení, poškození a porucha se relativně draho napravuje a opravuje. CB kryty mají poměrně obtížnou udržovatelnost a opravitelnost. Proto technologie CB vozovek musí být co nejvíce mechanizována a automatizována jak pro výrobu homogenního čerstvého betonu, tak pro jeho dokonalé zpracování, úpravu a ošetření. [7]

Během výstavby se musí vést technická dokumentace s konstrukčními zásadami. V dokumentaci se musí stanovit hlavní zásady včetně všech detailů konstrukcí. Je třeba zdůraznit:

- Způsob výstavby CB krytu (jednovrstvý, dvouvrstvý), šířkové uspořádání, podélný a příčný sklon.
- Požadavky na podklady jako jsou šířka a únosnost (také proto, že po podkladu se bude pohybovat pokladač CB krytu, obvykle pásový), při rekonstrukci také úprava podkladu (vyrovnání, případně použití mezivrstvy), při stmelených pokladech použití vrypů (vytvoření spáry v podkladu), ochranného postřiku nebo textilie.
- Kategorie pevnosti betonu.
- Druh, tvar, rozmístění a vytváření příčných a podélných spár, způsob jejich těsnění a požadované vlastnosti těsnicích hmot podle ČSN EN.
- Údaje o výztuži, kluzných trnech a kotevních tyčích ve spárách, výkresy výztuže, způsob uložení a protikorozi ochrany včetně stanovení minimálního a jmenovitého krytí betonem.
- Způsob úpravy povrchu z hlediska protismykových vlastností a emisí vnějšího hluku při jízdě motorových vozidel. [7]

#### **2.2.2.3.1. Materiál**

Velmi důležitý prvek při stavbě je volba vhodného materiálu na výstavbu.

Kamenivo do CB krytů musí vyhovovat požadavkům ČSN EN 12620. V ČSN EN 13877-1 v národní příloze je pak upřesnění požadavků na kamenivo, které platí pro poměry v ČR a požadavky jsou odstupňovány podle použití betonu dané zejména velikostí dopravního zatížení. V požadovaných charakteristikách kameniva se zdůrazňují vlastnosti, které mají vliv na složení betonu a na vlastnosti ovlivňující dlouhodobou funkci CB krytu:

- třídění frakcí kameniva (nadsítné a podsítné v jednotlivých frakcích),
- obsah jemných částí u drobného kameniva,
- tvarový index,
- odolnost proti drcení hrubého kameniva,
- ohladitelnost (u dvouvrstvého CB krytu platí jen pro horní vrstvu),
- nasákavost hrubého kameniva,
- odolnost proti zmrazování a rozmrazování hrubého kameniva,
- trvanlivost kameniv zkouškami  $MgSO_4$  nebo  $Na_2SO_4$ ,
- odolnost proti alkalické reakci a další vlastnosti mající vliv na trvanlivost (obsah chloridů, síry, síranové síry, znečišťujících látek a humusovitost).

Cement musí splnit požadavky ČSN EN 197-1 a v ČR musí plnit specifikované vlastnosti v národní příloze. [7]

Voda musí být čistá a nesmí obsahovat látky, které by negativně ovlivňovaly vlastnosti betonu. Nepovoluje se zdroj povrchové vody, u kterého by mohlo dojít k jakémukoliv znečištění. Všeobecně lze použít pitnou vodu z vodovodu. [7]

Přísady pro zvýšení trvanlivosti všech betonů do PK se předepisuje povinnost použít vhodnou provzdušňovací přísadu. Tato přísada musí být schopna tvořit v betonu kulovité póry o průměru do 300 mikronu (účinný vzduch) v množství minimálně 2,5 % objemu celkového obsahu vzduchových pórů. Ke zlepšení konzistence čerstvého betonu se používají plastifikační a ztekucující přísady. Je možné použít přísady zpomalující nebo zrychlující tvrdnutí betonu. Přísady nesmí obsahovat chloridy. Použití přísad se prokazuje počáteční zkouškou typu a musí být schváleno objednatelem. [7]

Důležité je pracovat vždy s čerstvým betonem z betonáren, které umožňují nepřetržitý dovoz betonu, aby nedocházelo k časovým prodlevám. Pokládka krytu probíhá na upravené podkladní vrstvy. Před pokládkou se vždy musí zjistit funkčnost finišerů. [7]

Klimatické podmínky rovněž ovlivňují proces pokládky. Za nepříznivé povětrnostní podmínky se považuje vysoká a nízká teplota vzduchu. Pokud přesáhne teplota vzduchu při betonáži 25 °C, musí se průběžně sledovat teplota čerstvého betonu. Teplota čerstvého betonu v místě pokládky nesmí přesáhnout 30 °C. Pro betonáž za vyšších teplot musí být pro ochranu povrchu proti vysychání použita pigmentovaná hmota, jejíž účinnost je předem ověřena. Pro snížení vlivu vysoké teploty vzduchu na beton lze vlhčit a ochlazovat podklad pod deskou, provádět betonáž krytu v nočních hodinách a použít pojízdné stříšky (vlak) proti vysušení a proti osvětlení přímými slunečními paprsky. Snížit teplotu čerstvého betonu lze vlhčením (ochlazováním) hrubého kameniva, snížením teploty záměsové vody (přidáním ledu) a omezením doby zpracování (pokud nejsou použity speciální přísady). [7]

#### **2.2.2.3.2. Kontrola a nedostatky**

Jako u každé vrstvy vozovky je i pro CB kryty propracovaný systém kontroly jakosti. Je založen na kontrole použitých materiálů, návrhu složení betonu a prokázání jeho vlastností (počáteční zkouška typu) a průběžných kontrolních zkoušek při provádění a následně hotové úpravy. [7]

Základní vlastností, z které lze usuzovat na plnění funkce vozovky, je pevnost betonu. Pro třídění betonu se používá pevnost v tlaku na vývrtnu. Na vývrtech lze provést i zkoušku v příčném tahu. [7]

Zkoušky typu betonu provádí akreditovaná laboratoř se zkušeností s CB. Doporučuje se zkoušet alespoň dva návrhy s různým obsahem cementu. Všechny složky betonu musí být ve zkoušce typu charakterizovány druhem a původem s doklady o jejich vhodnosti. [7]

Nedodělávky nebo vady (např. stopy po neukázněných dělnících nebo automobilistech, kteří vjeli do čerstvého betonu) přetrvávají na povrchu vozovky po celou dobu životnosti vozovky. Nejzávažnějším nedostatkem je nedodržení tloušťek CB vrstvy. Stává se, že v záruční době se musí vyměňovat desky s nižší tloušťkou, protože se projeví poruchy nízkou únosností (trhliny). Jiné nedostatky se týkají spár - pozdního proříznutí spár (vyvíjejí se přidružené nebo divoké trhliny), neutěsnění spár (do tenké spáry se dostane např. zrnko písku, které při teplotní roztažnosti vylomí hranu desky smykovou plochou na spáře. [7]

#### **2.2.2.4. Kombinované vozovky**

V současné praxi často dochází k případům, kde je rekonstrukce tuhé vozovky vykonána položením nového krytu z několika vrstev bitumenového koberce. Vozovka je poté posuzována podle toho, které vlastnosti u ní převládají. Uvedené řešení rekonstrukce má svoje výhody i nevýhody, které je vždy potřeba náležitě zvážit případ od případu [4].

#### **2.2.2.5. Dlažby**

Pro odbavovací plochy, nebo stojánky letadel se rozšiřuje použití speciální dlažby. Na dlažbu se používají obdélníkové dlaždice o rozměrech 100 mm x 200 mm, které mají tloušťku 80 mm. Můžeme použít i jiné tvary jako je například čtverec. Dlaždice jsou uloženy do hrubého a ostrého písku. Do mezer mezi dlaždicemi se vsype jemnější písek a poté se zavibruje, aby dlaždice lépe držely při sobě a byly vzájemně lépe upevněny. Vzájemným „uzamknutím“ bloků dlažba přenáší vertikální zatížení na podstatně větší oblast [4].

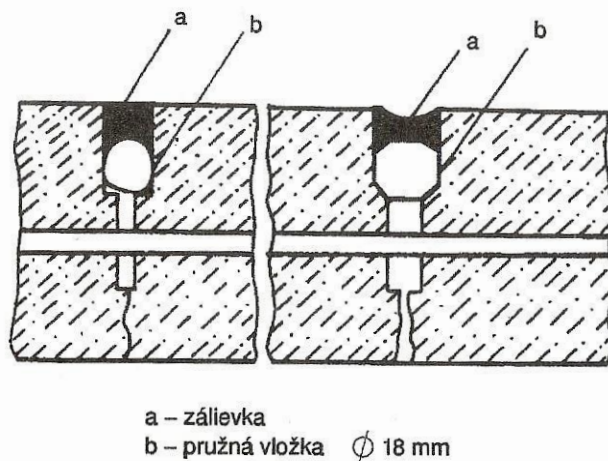
Aby během provozu nedocházelo k nafouknutí a vyfouknutí jemného písku ze spár, musí být dlažba utěsněná. Zároveň těsnění chrání dlažbu před nechtěným únikem paliva, či jiných tekutin, aby nepronikla do podloží. Jako tmel se používá kapalina, která po rozetření do spár polymerizuje a vytvoří trvale pružné utěsnění dlažby. Hlavní výhody dlažeb jsou:

- mohou být pokládány i v zimě při teplotě pod 0 °C,
- mohou být zatěžkávány provozem ihned po dokončení stavby,
- jejich údržba je rychlá a jednoduchá [4].

### 3. Kontrakční a dilatační spáry

#### 3.1. Kontrakční spáry

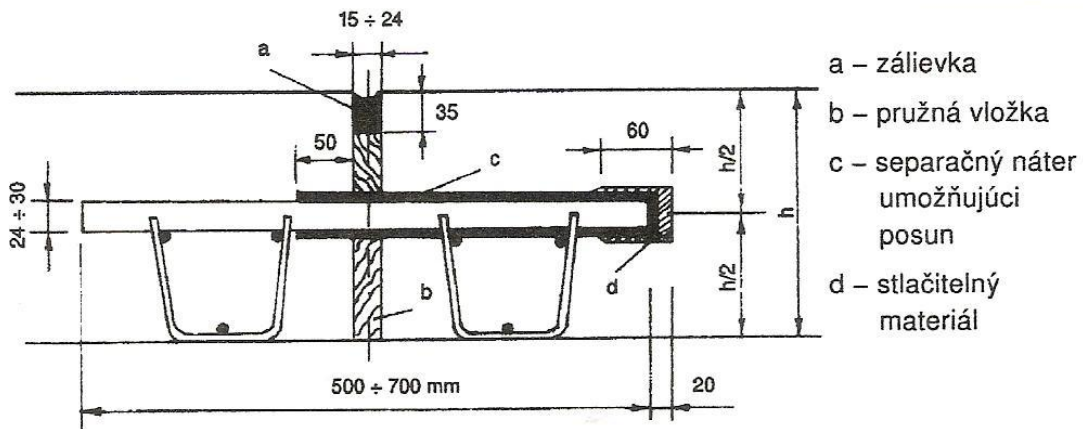
Kontrakční spáry o šířce přibližně 5 mm jsou řezané do ztvrdlé betonové směsi. Zářez je kolmo na povrch vozovky přibližně do 1/4 až 1/3 tloušťky desky. V místě řezu je tak deska zeslabená. Při dalším tuhnutí a teplotních změnách v důsledku vnitřního prnutí deska praskne v námi vytyčeném místě, jak vidíme na obrázku 2. Na styčných plochách trhliny jsou nerovnosti a nepravidlosti, které sousední desky navzájem kotví a poskytují jim oporu. Betonový pás je tak kontrakčními deskami rozdělen na desky 3 až 9 m široké po celé délce vozovky. Kontrakční spáry umožňují jenom dilatační zkracování vozovky. Spáry musí být utěsněny pružnou vložkou, která se přizpůsobí pohybu desek a nepropustí prosakující vodu do podloží, kde by mohlo dojít k poškození. Spára je též utěsněna zálievkou, která má přímý kontakt s vnějším prostředím, tudíž musí být odolná vůči změnám teplot, výfukovým plynům z motorů a palivu, aby nedocházelo k jejímu porušení. Roztažnost vložky je důležitá z hlediska utěsnění, a aby nedocházelo k průsaku a kondenzaci vody ve spáře [4].



Obrázek 2. Kontrakční spára [4]

#### 3.2. Dilatační spáry

Dilatační spáry dělí cementobetonovou desku v celé její tloušťce a umožňují dilatační zkracování a roztahování vozovky. Spáry jsou umístěné ve vzdálenosti přibližně 40 m od sebe. Sousedící desky musí být na obou stranách dilatační spáry zakotveny. Způsob zakotvení vidíme v následujícím obrázku 3 [4].



Obrázek 3. Dilatační spára [4]

Ocelová deska je zakotvena na jedné straně desky a vyplněna pružným materiálem.

Kontrakční a dilatační spáry musí být dokonale utěsněné. Kdyby docházelo k průsaku vody do podkladových vrstev a podloží, došlo by k narušení konstrukce vozovky. Betonová deska by následně ztratila oporu a při zatížení by popraskala. Oprava takto poničené vozovky je velice nákladná a zabere mnoho času. Spáry se těsní různými typy gumových profilů a dále zálivkou, která je pružná a voděodolná. Zálivka musí dokonale přilnout ke stěnám spáry a musí být trvale pružná. Musí umožňovat celoroční integritu a schopnost těsnit. V zimě během mrazů nesmí praskat a v létě nesmí téct během vysokých teplot. Základem zálivkové hmoty je asfalt s přísadky gummy a plastifikátorů [4].

### 3.3. Pracovní spáry

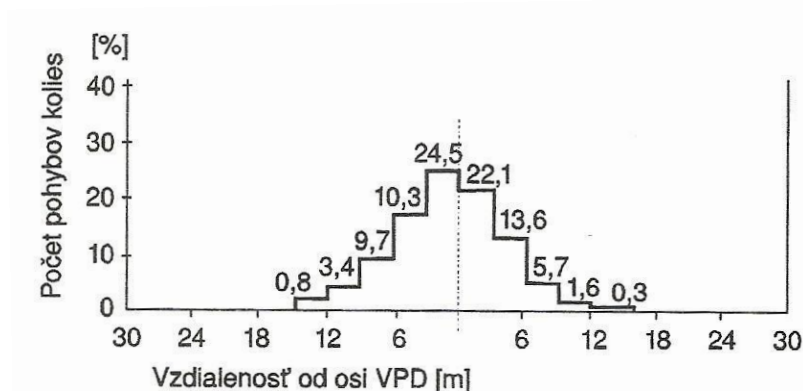
Pracovní spáry jsou záměrně vytvořené spáry dělící konstrukci betonového krytu podle etap postupného betonování. Pracovní spáry se provádějí jako těsné, kdy betonový kryt je přerušen v celé své tloušťce, přičemž spára neposkytuje prostor pro dilatační rozpínání krytu, nebo výjimečně jako dilatační. Spáry mohou být opatřeny ozubem a musí být dokonale utěsněny. [1]

## 4. Fyzikální vlastnosti vozovky

### 4.1. Únosnost vozovek

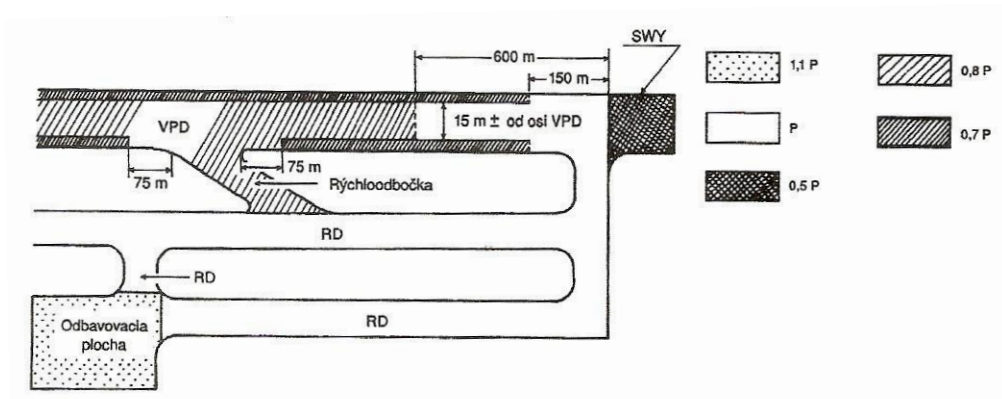
#### 4.1.1. Úvod

Během výstavby se kontroluje kvalita betonové směsi a také jsou přímo testovány vzorky z vozovky. Pravidelně se dělají vývrty a z nich se určuje kvalita a vlastnosti betonu. Normované pevnosti dosahuje beton po 28 dnech. Vozovka je dimenzována pomocí Westergaardové metody. Kritická místa jsou především odbavovací plochy a stojánky letadel. Zde má letadlo maximální hmotnost, protože je v klidu a výsledná síla působí kolmo na povrch vozovky, protože má kinetickou energii nulovou a statickou energii maximální. Zároveň letadlo způsobuje vibrace, když jsou motory zapnuté. Podobně nepříznivě jsou namáhány i pojezdové dráhy s pomalu se pohybujícími letadly se spuštěnými motory. Často převládá mylný názor, že VPD je nejvíce namáhána v dotykovém pásmu. V okamžiku dotyku má však letadlo ještě dostatečný vztlak a ani při nesprávném přistání přesahující dynamické účinky 40 % maximální vzletové hmotnosti letadla, není zatížení větší, než kdyby letadlo stálo na místě. S uvažováním pravděpodobnosti příčného rozložení pohybů letadel po VPD je možné dimenzovat na maximální zatížení jen střední část vozovky, jak je znázorněné na obrázku 4.



Obrázek 4. Pravděpodobnost příčného rozložení pohybu letadel [4]

Vypočítané statické zatížení je proto pro jednotlivé plochy potřebné kategorizovat v rozmezí 0,8 až 1,1. Schéma dimenzování únosnosti povrchu vidíme na obrázku 5 [4].



Obrázek 5. Dimenzování únosnosti VPD [4]

Můžeme uvažovat i následující kategorie pro dané vozovky:

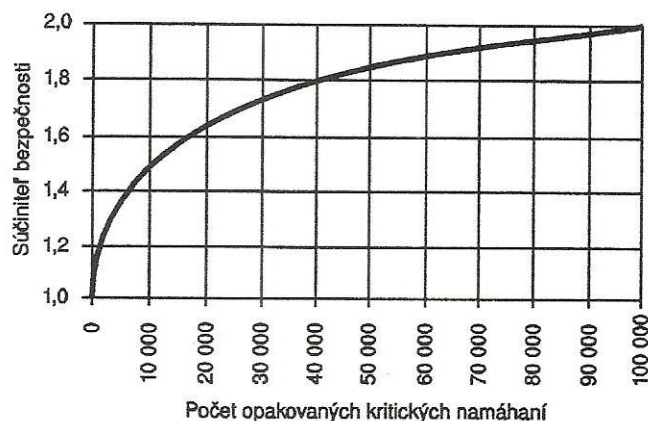
VPD = 100 % zatížení

Pojezdové dráhy = 110 % zatížení

Odbavovací plochy = 120 % zatížení

Zatížení uvažujeme jako maximální povolenou hmotnost letadla, pro které chceme vozovku navrhovat.

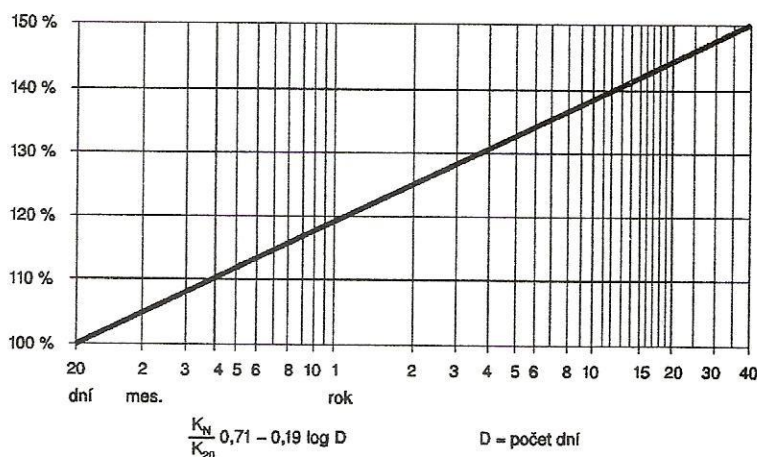
Podobně jako jiné konstrukce, má i letištní vozovka únavovou životnost. Vozovka může být například dimenzovaná na 10000 pohybů určitého limitního zatížení. Během provozu se postupně vyčerpává její životnost a klesá pevnost. Jak je patrné z obrázku 6, po 10000 opakovaných namáhání klesá pevnost v tahu téměř na polovinu [4].



Obrázek 6. Vliv počtu opakování na únosnost desky [4]



Na druhé straně s přibývajícím časem roste pevnost betonu. Dá se říci, že beton stárne. Tato vlastnost betonu může do určité míry snížit vliv únavy z opakovaných zatížení a je s ní možné počítat v případě, že zatížení vozovky kritickým letadlem nastane až po několika letech po ukončení výstavby. Průběh stárnutí závisí na zvolené betonové směsi a od její kvality. Všeobecně je možné průběh stoupající pevnosti betonu vyjádřit logaritmickou závislostí uvedenou na obrázku 7 [4].



Obrázek 7. Růst pevnosti betonu v tahu [4]

Výsledná charakteristika vlastní cementobetonové desky při posuzování celé konstrukce ve vztahu k zatěžovacím charakteristikám podvozku letadla je vyjádřena poloměrem její relativní tuhosti, stanoveným vztahem:

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

Kde je:

$D$  ohybová tuhost desky  $D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \mu^2)}$

$E$  modul pružnosti betonu v tahu a tlaku [N.m<sup>-2</sup>]

$\mu$  Poissonova konstanta  $\mu=0,15$

$k$  modul reakce podloží [N.m<sup>-3</sup>] [4]

Z uvedeného hlediska vyplývá, že únosnost vozovky je v rozhodující míře ovlivněna:

- Kvalitou betonu vyjádřené modulem pružnosti betonu  $E$
- Tloušťkou betonové desky  $h$
- Kvalitou podloží charakterizovanou modulem reakce podloží  $k$

V praxi se skutečná únosnost liší od teoretických hodnot a je ovlivňována mnoho činiteli. Díky tomu je skutečná únosnost v praxi zjišťována zatěžkávacími zkouškami, které se používají běžně ve stavebním průmyslu [4].

#### 4.1.2. Zatěžování vozovek

Všeobecně platí, že únosnost VPD, pohybových drah a odbavovacích ploch musí vyhovovat maximálnímu zatížení kritického letadla pro dané letiště. Toto zatížení se nazývá kritické zatížení [4].

Stanovování únosnosti nezpevněných travnatých ploch je obtížné. Únosnost je závislá na kvalitě travnatého povrchu a únosnosti zeminy. V praxi je možné posoudit způsobilost travnaté plochy vizuálně, nebo několikanásobným měřením pomocí tyče, nebo kuželu se stupnicí, které zde již byly zmíněny [4].

Zatížením, kterým působí letadlo na vozovku, závisí nejen na celkové hmotnosti letadla, ale i na dalších činitelích:

- typ podvozku,
- počet kol na hlavní podvozkové noze,
- prostorové uspořádání kol v podvozku,
- huštění pneumatik [4].

Rozhodující zatížení je vyvolávané hlavní podvozkovou nohou. V nejjednodušším případě má hlavní noha pouze jedno kolo. Tehdy je možné stanovit velikost zatížení z velikosti dotykové plochy pneumatiky s povrchem vozovky v závislosti na hmotnosti letadla, která připadá na jednu podvozkovou nohu a na huštění pneumatiky dle vzorce:

$$A = \frac{Q}{P_0}$$

Kde je:

$A$      dotyková plocha pneumatiky [ $m^2$ ]

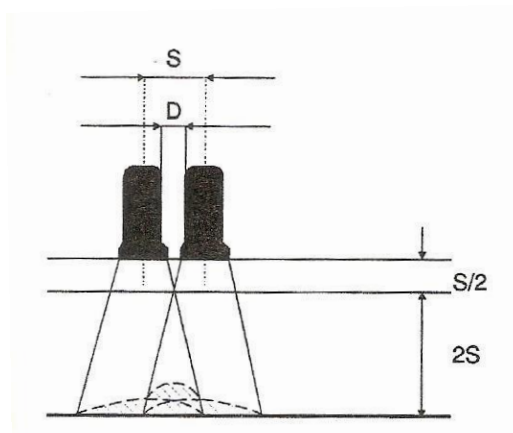
$Q$      zatížení přenášené hlavní podvozkovou nohou [N]

$P_0$  huštění pneumatiky  $p$  [Pa] násobené kontrakčním součinitelem pneumatiky  $m$ , který vyjadřuje odpor vyvolaný její tuhostí (hodnoty v rozmezí 1,03 až 1,1)

$$P_0 = p \cdot m$$

Dotyková plocha má přibližně tvar elipsy [4].

Složitější případ nastává, když má hlavní podvozková noha dvě, čtyři, nebo více kol. Tehdy se zatěžovací účinky vyvolané jednotlivými koly částečně sčítají v závislosti na vzájemné odlehlosti kol, ale též od vlastností vozovky. Způsob sčítání zatížení je schématicky znázorněn na obrázku 8 [4].



Obrázek 8. Průběh zatížení na vozovce [4]

Kde je :

$S$  vzdálenost středů os jednotlivých kol [m]

$D$  vzdálenost mezi vnitřní stranou kol [m]

Z obrázku je zřejmá závislost výsledného zatížení na tloušťce konstrukce vozovky. Při podrobnějším rozboru můžeme zjistit i závislost na kvalitě jednotlivých vrstev vozovky [4].

Účinek vícekolového podvozku se vyjadřuje ekvivalentním zatížením osamělým kolem ESIWL (Equivalent Single Isolated Wheel Load). Pod tímto pojmem rozumíme takové teoretické zatížení vyvolané jedním kolem, které vyvolá ve vozovce stejné účinky jako skutečný vícekolový podvozek. Tlak a huštění jsou si v obou případech rovny [4].

Mimo jiné zde působí i účinky dané klimatem a počasím, které ovlivňují vlastnosti vrstev vozovky a podloží:

- teplota asfaltových vrstev a její vliv na jejich vlastnosti (odpor proti deformaci, únavu, pevnost),
- teplotní deformace vrstev stmelovaných hydraulickým pojivem (změna délek s teplotou, tj. zkracování a prodlužování vrstev a borcením desek jako zdvih středu nebo okrajů či rohů desek při rozdílné teplotě povrchů desek),
- mrazové zdvihy namrzáním jako vývojem ledových vrstviček nebo čoček v jemnozrnných zeminách nebo ledové vrstvy pod nepropustnými vrstvami na porézních vrstvách (na jemnozrnných stmelovaných podkladech). [8]

#### **4.1.3. Hlášení a stanovení únosnosti**

Rychlý rozvoj letectví je doprovázen zvětšováním hmotnosti letadel. Pro současná letadla je charakteristické, že zatížení letadlem na povrch letištních ploch je přenášeno obvykle dvěma hlavními nohama a předním nosovým kolem. Informace o únosnosti letištní vozovky je potřebná hlavně z těchto důvodů [2]:

- zabezpečení neporušitelnosti vozovky při její optimální životnosti,
- na stanovení typů letadel, které mohou vozovku používat a jejich maximální vzletovou hmotnost,
- na návrh podvozků letadel tak, aby je bylo možné používat na většině běžných letišť.

Annexem 14 – Aerodromes je stanovená jednotná metoda na hlášení únosnosti pohybových ploch, tím je zabezpečena její celosvětová standardizace. Existují 3 základní metody posuzování zatížení:

#### **Ekvivalentní zatížení**

Účinek vícekolového podvozku na vozovku se vyjadřovalo ekvivalentním zatížením, které bylo označováno zkratkou ESIWL. Ekvivalentním zatížením se rozumí takové myšlené zatížení přenášené na vozovku jednokolovým podvozkem, které vyvolá totéž napětí, nebo deformace jako skutečné zatížení přenášené podvozkem s více koly. [2]

#### **Klasifikační systém LCN**

Klasifikační systém LCN v podstatě nahradil hodnoty ESIWL a huštění pneumatik bezrozměrnými klasifikačními čísly, stanovenými pro danou konstrukci letištní plochy, buď výpočtem anebo na základě zatěžovacích zkoušek. Metoda LCN byla odvozena z výsledků velkého počtu zkoušek, které prokázaly, že mezi velikostí zatížení vozovek a mezi velikostí plochy, kterou se toto zatížení potřebné k poškození vozovky přenáší na její povrch. [2]

## **Systém ACN/PCN**

Podle předpisu L14 Letiště, musí být únosnost vozovky určené pro letadla o vzletové hmotnosti větší než 5700 kg vyjádřena metodou klasifikačního čísla letadla a klasifikačního čísla vozovky ACN/ PCN. [2]

Právě poslední metoda ACN-PCN je celosvětová a standardizovaná. Metoda má dva hlavní postupy.

První postup se vztahuje na vozovky určené pro letadla do maximální vzletové hmotnosti 5700 kg. Únosnost je určena maximální povolenou hmotností a maximálním huštěním pneumatik [4].

Druhý postup se nazývá ACN – PCN (Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number) tj. klasifikační číslo letadla a klasifikační číslo vozovky [4].

ACN je číslo vyjadřující relativní účinek letadla na vozovku standardní kvality (čtyři typy podloží) [4].

PCN je číslo vyjadřující únosnost vozovky při neomezeném počtu pohybů [4].

Metoda ACN-PCN vyjadřuje únosnost vozovky v celých číslech. Spodní hodnota této lineární závislosti je nula. Ze shora není omezená. Stejná stupnice je používána i pro vyjádření zatěžovacích charakteristik letadla [4].

Osamělé kolo o hmotnosti 500 kg a huštění 1,25 MPa představuje zatížení 1 ACN. Vozovka, která má právě takovou únosnost, že tomuto zatížení odpovídá, má únosnost 1 PCN. Znamená to, že pro neomezený počet pohybů musí být PCN rovné, nebo větší jak ACN. Z uvedeného příkladu vyplývá, že metoda ACN – PCN je velmi jednoduchou metodou hlášení únosnosti. Na druhé straně je nevyhnutelné publikovat potřebné údaje – ACN jednotlivých letadel [4].

ACN – PCN není určena na navrhování vozovek, ani nestanovuje metodu, kterou by musela zjišťovat únosnost vozovky. Provozovatel letiště může na stanovení PCN použít libovolnou metodu [4].

ACN letadel je stanovené s využitím dvou matematických modelů. Jeden je platný pouze pro tuhé vozovky a druhý pro netuhé vozovky. Počítačový program byl zpracovaný firmou Portland Cement Association z USA a byl poskytnutý ICAO, které stanovilo ACN pro většinu používaných letadel. Hodnoty ACN jednotlivých letadel jsou uvedeny jako příloha v L14.

Podobně pro nové typy letadel, může ICAO stanovit na základě poskytnutých podkladů ACN pro daný typ letadla [4].

Metoda ACN – PCN publikuje potřebné údaje:

- a) Klasifikační číslo vozovky PCN
- b) Typ vozovky pro stanovení ACN/PCN (tabulka 1)
- c) Klasifikace podloží (tabulka 2)
- d) Maximální huštění pneumatik (tabulka 3)
- e) Způsob hodnocení (tabulka 4) [2]

Všechny údaje jsou v kódovaném tvaru.

- a) Klasifikační číslo vozovky PCN

Únosnost vozovky bez omezení počtu pohybů letadel

- b) Typ vozovky

Tabulka 1. Typ vozovky [17]

R	Tuhá
F	Netuhá

- c) Únosnost podloží

Tabulka 2. Únosnost podloží [17]

A	<b>Vysoká únosnost</b> , charakterizovaná $k = 150 \text{ MN.m}^{-3}$ a představující každé hodnoty $k > 120 \text{ MN.m}^{-3}$ pro tuhou vozovku a pro netuhou vozovku, charakterizovaná CBR = 15 % a převyšující každou hodnotu CBR vyšší než 13
B	<b>Střední únosnost</b> , charakterizovaná $k = 80 \text{ MN.m}^{-3}$ a představující hodnoty v rozmezí $k$ od 60 do $120 \text{ MN.m}^{-3}$ pro tuhou vozovku a pro netuhé vozovky, charakterizované CBR 10 % a představují hodnoty v rozmezí CBR od 8 do 13 %
C	<b>Nízká únosnost</b> , charakterizovaná $k = 40 \text{ MN.m}^{-3}$ a představující hodnoty v rozmezí $k$ od 25 do $60 \text{ MN.m}^{-3}$ pro tuhou vozovku a pro netuhé vozovky, charakterizované CBR 6 % a představují hodnoty v rozmezí CBR od 4 do 8 %
D	<b>Velmi nízká únosnost</b> , charakterizovaná $k = 20 \text{ MN.m}^{-3}$ a představující hodnoty $k$ nižší než $25 \text{ MN.m}^{-3}$ pro tuhou vozovku a pro netuhé vozovky, charakterizované CBR 3 % a představují každou hodnotu CBR $< 4$ %

d) Huštění pneumatik

Tabulka 3. Huštění pneumatik [17]

W	<b>Vysoké</b> – bez omezení huštění
X	<b>Střední</b> – huštění je omezeno tlakem do 1,5 MPa
Y	<b>Nízké</b> – huštění je omezeno tlakem do 1,0 MPa
Z	<b>Velmi nízké</b> – huštění je omezeno tlakem do 0,5 MPa

e) Způsob hodnocení

Tabulka 4. Způsob hodnocení [17]

T	Technické hodnocení
U	S využitím zkušeností z provozu letadel

#### 4.1.4. Přetěžování vozovek

Vozovka snese za určitých podmínek i větší zatížení jak vypočítané. Zatížení, které je větší jak stanovené zkracuje životnost vozovky, ovšem menší zatížení její životnost prodlužuje. Přetížení vozovek vzniká v důsledku zvýšeného počtu pohybů, nebo velkým zatížením. Když se nejedná o velké přetížení, nejsou vozovky při statickém zatížení citlivé na přesné omezení zatížení. Každá vozovka ale snese určité zatížení při stanoveném počtu opakování [4].

#### 4.1.5. Zesilňování vozovek

Cementobetonová vozovka se může zesílnit vrstvou z prostého betonu, oddělenou od původní vozovky bitumenovou mezivrstvou. Nejdříve se zjistí, jaký je podkladový systém vozovky a pro předběžný návrh se musí určit:

- celková hmotnost navrhovaného letadla,
- deformační charakteristiky podloží,
- výpočtové hodnoty únosnosti navrhnutého podkladového systému,
- pevnost cementového betonu,
- moduly pružnosti vypočtených a původních cementobetonových desek,
- tloušťka desky.

Poté se musí určit způsob propojení desek, aby nedocházelo k vzájemnému pohybu mezi deskami, který je dán rozdílnými charakteristikami betonové směsi. [3]

## 4.2. Povrch vozovek

### 4.2.1. Rovnost povrchu VPD

Požadavky na kvalitu povrchu VPD se postupně zvyšuje díky vyšší rychlosti pohybu letadel po vozovce [4].

Povrch VPD nesmí vykazovat nerovnosti, které by mohli vyvolat ztrátu brzdného účinku, musí zabezpečit dobrý brzdný účinek za mokra a musí být bez nečistot, které by mohli ohrozit chod pohonné jednotky, nebo kol podvozku. Tyto charakteristiky jsou přesně popsány v předpis L14 – Letiště [4].

Rovnost povrchu VPD je definována několika normami, které se navzájem doplňují. Základním požadavkem na rovnost cementobetonové vozovky je zkouška 4 m dlouhou laťkou, pod kterou se nesmí vyskytovat nerovnosti větší jak 5 mm s výjimkou odvodňovacích žlabů. Musíme věnovat pozornost i zapuštěným návěstidlům, odvodům do kanalizace a dalším. Manuální měření rovností je zdlouhavé a pro větší vozovky se využívá automatická laťka, neboli Viagraf. Toto je zařízení s automatickou registrací nerovností. Zařízení registruje nerovnosti do délky přibližně 2 m a proto je pro nerovnosti o větší délce nepoužitelné [4].

### 4.2.2. Měření a hodnocení nerovností

Při vyšších rychlostech pohybu letadel po VPD se ztrácí vliv nerovností s malými vlnovými délkami, ale naopak získávají na důležitosti nerovnosti s vlnovými délkami v řádu několika desítek metrů. Tyto nerovnosti je možné zjistit přesnou nivelací, která je vykonávána například po rekonstrukci, nebo po dokončení stavby vozovky. Tato nivelace je velice nákladná a časově náročná [4].

Rozhodující kritérium je účinek vozovky na letadlo, které se po ní pohybuje určitou rychlostí. Stav vozovky se od výstavby, nebo rekonstrukce postupně zhoršuje vlivem sedání podloží, vlivu letadel a další poruchy vozovky. Nerovnosti vozovky ohrožují bezpečnost letadel při vzletu, přistání i pojíždění. Za přijatelné jsou považovány nerovnosti přibližně do 3 cm na vzdálenost 50 m. Vždy se ale musí přihlídnout k typu provozu a rychlosti letadel, které se pohybují na dané VPD. Frekvence kmitání kola podvozku závisí při dané vlnové délce nerovnosti na rychlosti pohybu letadla po VPD vztahem:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$



Kde je:

$f$  frekvence kmitání kola podvozku

$v$  rychlost pohybu letadla

$\lambda$  vlnová délka nerovnosti [4]

Kmitání o frekvenci větší než 20 Hz není významné, protože je utlumené tlumiči. Zároveň kmitání menší jak 1 Hz není nebezpečné, ovšem kmitání v rozmezí 2 až 10 Hz je nebezpečné. Na měření a hodnocení nerovností se používá dvouhmotová měřicí soustava. Metoda funguje tak, že hlavní hmota na vozíku, který je tažený za autem, zabezpečuje neustálý kontakt soustavy s povrchem vozovky a druhá hmota (akcelerometr) umístěný na vozíku reaguje na nerovnosti povrchu [4].

#### 4.2.3. Textura vozovky

Povrch vozovky musí mít stanovené protismykové vlastnosti. Pokud je vozovka čistá a suchá, většinou má i dobré charakteristiky součinitele podélného tření, bez ohledu na druh vozovky (bitumenová, nebo cementobetonová). Když se na VPD vyskytuje voda v jakémkoliv množství, situace se podstatně mění. Součinitel tření závisí na textuře vozovky a drenážních vlastností vozovky. Při vysokých rychlostech může součinitel tření podstatně poklesnout z důvodu aquaplaningu. Všechny vozovky musí zajistit bezpečný pohyb vozidel za mokra. Součinitel podélného tření závisí na:

- makrostruktura tvořená spojením jednotlivých frakcí štěrku ve směsi,
- mikrostruktura charakterizovaná drsností povrchu zrn kameniva [4].

Makrostruktura vozovky musí zabezpečit dobrý odvod vody z dotykové plochy mezi pneumatikou a vozovkou. Je velice důležité, aby se voda mezi kolem a vozovkou odváděla i při vysokých rychlostech pohybu letadel. Makrostruktura letištní vozovky je hrubší, oproti silniční vozovce. Na cementobetonové vozovce se dobrá makrostruktura dosahuje příčným drážkováním ztvrdlé betonové směsi a na bitumenových vozovkách správnou frakcí kameniva v obrusné vrstvě a technologickým způsobem pokládky vozovky [4].

Mikrostruktura je tvořená jemnými, ale ostrými nepravidelnostmi na povrchu zrn, které dokážou proniknout i přes tenký viskózní film vody mezi pneumatikou a vozovkou. Do obrusné vrstvy se umísťují pouze kvalitní, tvrdé a nevyhlazené kamenivo. Největším problémem mikrostruktury je to, že se může během krátké doby změnit vlivem pogumování vozovky od pneumatik letadel v dotykové zóně VPD. Výsledkem je výrazné snížení podélného tření za mokra [4].

#### 4.2.4. Brzdné účinky

Brzdné účinky úzce souvisí s protismykovými vlastnostmi povrchu. Brzdný účinek není totožný se součinitelem tření. Brzdný účinek ovlivňuje řada činitelů, jako jsou například:

- rychlost pohybu letadla po VPD,
- konstrukce řešení letadla,
- konstrukce řešení brzd,
- typ ABS,
- počet a rozměry pneumatik,
- dezén pneumatiky,
- hmotnost letadla,
- meteorologické podmínky,
- součinitel podélného tření povrchu VPD [4].

Zjišťování brzdných účinků je součástí provozuschopnosti vozovky, které musí vykonávat dané letiště. Kromě běžných, periodických kontrol musí být vykonané dodatekové kontroly, například při změně povětrnostních a jiných klimatických podmínek. Všechny tyto výsledky musí být hlášené službě ŘLP [4].

Letecké pneumatiky mají méně hluboký dezén a jsou méně členité, než automobilové pneumatiky. Toto způsobuje jejich nižší drenážní schopnost a zhoršují se protismykové vlastnosti. Na styku pneumatiky s povrchem dráhy se vytvoří styčná plocha. Toto se nazývá stopa pneumatiky a její velikost záleží na radiálním zatížení a rozměru pneumatiky. Výslednice sil působící na styčnou plochu pneumatiky se nazývá adhezní síla. Adheze je určená silová vazba mezi letadlem a povrchem VPD. Z hlediska bezpečnosti je proto důležité zajistit dobré adhezní podmínky během provozu. Další významnou charakteristikou je skluz kola. Absolutně tuhé kolo by se po podložce valilo po poloměru  $r$ . Avšak při zatížení kola pneumatiky dojde k jeho deformaci a poloměr se k stopě zmenší. Poté se musí určit relativní prokluz pneumatiky. To je jev, při kterém se kolo ještě otáčí a nedojde k zablokování [4].

Tvar skluzové charakteristiky závisí nejen na stavu povrchu VPD, ale i na tom, jestli je VPD pokryta vodou, sněhem, nebo ledem.

Brzdný účinek je možné stanovit několika způsoby:

- odhadem,
- měření vzdálenosti, nebo času potřebného na úplné zastavení vozidla,
- brzděním vozidla vybaveného decelerometrem,
- speciálními zařízeními na kontinuální měření (Skidometr, Surface Friction tester, Tatra Friction tester, Mu-meter) [4].

Údaje, které z měření získáme, poskytují jen podklady pro určení brzdného účinku. Na vyhlášení brzdných účinků je potřebné mít dostatečné provozní zkušenosti. Výsledky z různých typů měření nejsou porovnatelné a je proto vždy pečlivě uvážit, kterou metodu a s jakým zařízením budou prováděny. Důležité je taky zvolit vhodnou rychlost na měření [4].

Tabulka 5. Brzdné účinky a kódování [17]

Změřený koeficient	Odhadovaný brzdný účinek	Kód
0,40 a více	Dobré	5
0,39 - 0,36	Střední/dobré	4
0,35 - 0,30	Střední	3
0,29 - 0,26	Střední/špatné	2
0,25 a méně	Špatné	1

Tato tabulka 5 obsahuje údaje změřených, nebo vypočítaných brzdných součinitelů a jejich kódování. Údaje byly stanoveny na základě zkušenosti a měření jednotlivými typy decelerometrů a jedním typem kontinuálního měřícího zařízení při konstantní rychlosti. Brzdné účinky musí být vyhlášeny pro každou třetinu VPD zvlášť [4].

#### 4.2.5. Odvodnění vozovek

Výstavba letiště podstatně zasahuje do odtokových poměrů území, na kterém se uskutečňuje. Cílem úpravy povrchu terénu v prostorech VPD je zmírnit přirozený sklon terénu a tím i zvýšit podíl vody prosáknuté do podloží. VPD, TWY a Apron jsou všechno povrchy s nepatrným podílem prosáknuté vody, která způsobuje hromadění dešťové vody na okraji drah. Tímto se ohrožuje bezpečnost letecké dopravy a snižuje se únosnost podloží na okraji dráhy. Aby se zabránilo tomuto nepříznivému faktoru, buduje se odvodnění. Účelem odvodnění je zachytit a odvést povrchovou a podpovrchovou vodu ze zpevněných ploch a přilehlého území. Odvodnění se skládá z:

- z vnějšího odvodnění,
- odvodnění travnatých ploch,
- odvodnění podloží zpevněných ploch,
- odvodnění povrchu zpevněných ploch,
- odvodnění zastavěného prostoru,
- ze sítě sběračů a odtokového zařízení,
- z případných úprav vodního toku. [3]

Aby se zabezpečilo odvodnění pláně během stavby a odvedení vody uvolněné z podloží při jarním tání sněhu, klade se pod okraji dráhy podložní drenáž, která je každých 25 až 30 m zaústěná do dráhového sběrače. [3]

Odvodnění povrchu zpevněných drah zabezpečuje příčný sklon dráhy a odvodňovací žlaby, nebo kanály na krajích drah. Příčný sklon dráhy má být takový, aby na vozovce nezůstala stát voda a nedocházelo k aquaplaningu. Příčný sklon určuje mezinárodní dokument L14 a pohybuje se v rozmezí 1 – 2 %. Voda, která zteče z povrchu dráhy stéká do podélných žlabů položených při okraji dráhy a odpadovým potrubím teče do sběračů. Žlaby mají šířku 1,2 až 1,5 m a maximální hloubka je 0,1 až 0,12 m. Kanál se zakrývá železobetonovými mřížemi. Při střeovitěm sklonu VPD se pokládají sběrače na obě strany vozovky. Sběrače se ukládají vedle dráhy do hloubky 1,5 až 3 m podle sklonu terénu a mají průměr 30 cm a více. Velikost sběračů a žlabů se dimenzuje podle intenzity deště v dané lokalitě a záleží, jestli je letiště mezinárodní, nebo vnitrostátní. [3]

Odvodnění travnatých ploch v okolí letiště zajišťuje polnohospodářská drenáž, nebo systém retardačních bazénů, které zachycují vodu a místy se vytvoří zatopené oblasti, které neohrožují pohyb letadel po VPD. [3]

### **4.3. Vlivy na konstrukci VPD**

Vlivy související s údržbovými podmínkami, opravami a rekonstrukcemi závisí na podmínkách, ve kterých VPD slouží (vnější vlivy) a podmínkách, které jsou dány funkčními vlastnostmi stavebních materiálů, konstrukcí vozovek a podloží. [6]

Největší vliv na konstrukci vozovky má voda, jak velká, daná říčními toky, povodněmi, tak voda v podloží a v konstrukci vozovek. K vodě se samozřejmě v našich podmínkách přidává její mrznutí. Další podstatný vliv má kolísání teploty, jak teplot pod bod mrazu v součinnosti s mrznutím vody, tak vysoké teploty změkčující viskoelastická pojiva (asfalty), tak i ve formě páry působící vnitřním tlak v konstrukci vozovek a podporující reakce s objemovými změnami. [6]

Neméně důležité je také zamezení znečišťování vozovek důslednou kontrolou čistoty vozidel a čištěním vozovky. Vozovka musí odolávat zatěžování. Přetěžování porušuje vozovku podstatně více a přetěžování lze částečně zabránit vážením vozidel. Důležitá je také včasná a kvalitní údržba poškození povrchu, zejména nerovnosti vozovky mohou zvýšit účinky zatížení a porušování vozovky. [6]

Vnitřní vlivy na konstrukci způsobují jakékoliv nehomogenity podloží a konstrukce vozovky, zejména propustky, střídání typů vozovek, inženýrské sítě (voda, kanalizace, plyn, elektřina,

spojovací kabely apod.) a jejich nadzemní vstupy (poklopy, vpustě, dilatační a pracovní spáry). [6]

Důležitým faktorem je i kvalita výstavby, kterou zajišťujeme důsledným dodržováním systému jakosti u všech účastníků výstavby, údržby a opravy konstrukcí VPD. Každý vlastník nebo pověřený správce VPD sleduje její stav, provádí údržbu, opravy a tak zajišťuje její řádnou a dlouhodobou funkci. Zároveň musí vlastník, nebo správce vést k dané VPD dokumentaci o stavu, včetně oprav a provádí běžné a mimořádné kontroly stavu vozovky. [6]

## **5. Návrh vozovky**

### **5.1. Úvod**

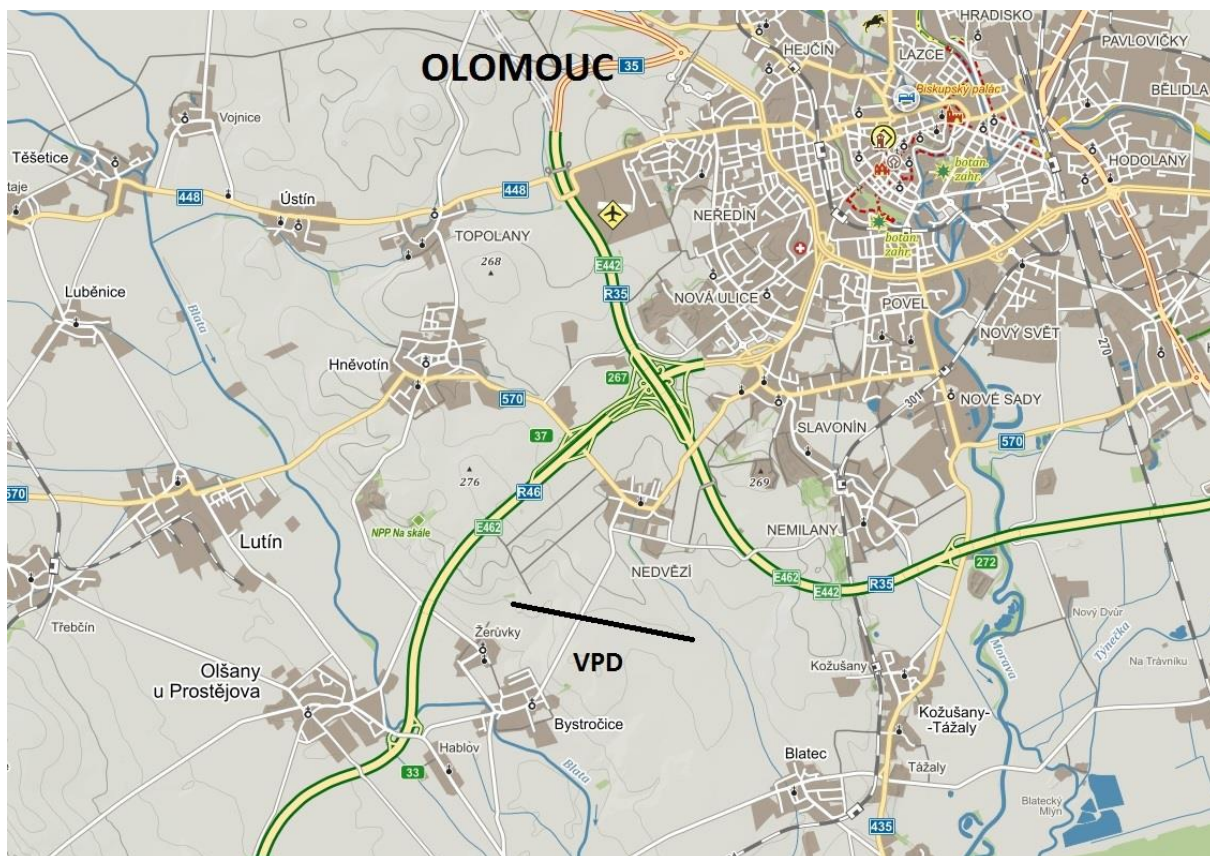
V této práci bych chtěl ukázat, jak probíhají potřebné činnosti a pracovní postupy při projektování a následné výstavbě letištní vozovky. Budou zde uvedeny základní principy při výpočtech vlastností VPD a jejich následná výkresová dokumentace. Celý tento proces je velice složitý a časově náročný, proto budu uvažovat jenom teoretické hodnoty při výpočtech a následná výkresová dokumentace bude pouze ilustrační. Projektování bude probíhat podle platných předpisů řady L14 – Letiště.

### **5.2. Projektová příprava**

Ze všeho nejdříve musíme vybrat správnou lokalitu pro výstavbu letiště. Rozhodujeme se, jestli budeme budovat novou VPD, nebo rekonstruovat starou VPD. Od toho faktu se nám odvíjí celá řada projektové přípravy. Nejdříve musíme vypracovat předběžný návrh vozovky a celou situaci zakomponovat do stávajícího terénu. Před výstavbou musíme zpracovat územně plánovací podklady, územní plán a regulační plán. Poté přejdeme k územnímu řízení, kde zpracováváme umístění stavby, změně využití pozemků, vlivu stavby, ochranné pásma. K posouzení se předkládá dokumentace dopadu stavby na životní prostředí a ty následně posuzuje agentura E.I.A. Po tomto vyřizování, které může trvat i několik let musíme stavbu ohlásit na stavební úřad a dostat stavební povolení. Musí souhlasit i Letecký stavební úřad, který má pravomoc rozhodovat o všech leteckých stavbách na území ČR. Během výstavby probíhají neustálé kontroly a inspekce. Poté co je vše schváleno se může začít s výstavbou VPD.

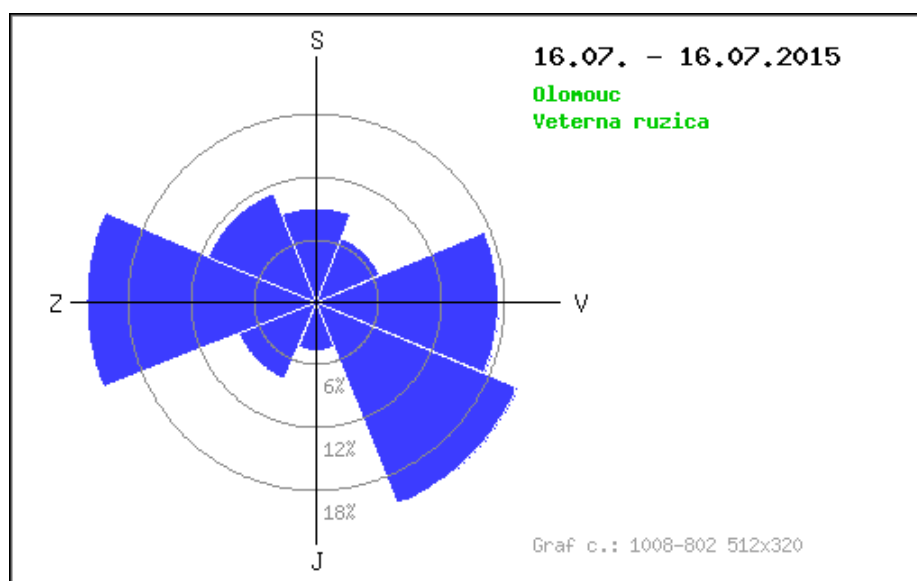
#### **5.2.1. Umístění**

Pro mojí navrhovanou VPD jsem zvolil lokalitu v okolí města Olomouc. Olomouc je město se 100 tisíci obyvateli a nemá své vlastní velké letiště, které by vyhovovalo dnešním dopravním letounům. VPD by se nacházela jihozápadně od centra Olomouce přibližně 7 km od centra. VPD je situována v blízkosti rychlostních silnic R35 a R46, které by zajišťovaly dobrou dopravní dostupnost nového letiště. Směr hlavní VPD je orientován podle větrné růžice za období od 16. 7. 2014 do 16. 7. 2015 pro město Olomouc. Vozovka by ležela na dnešních hospodářských pozemcích a letecký koridor by směřoval mimo centrum města Olomouc. Pro výstavbu vozovky by bylo nutné odklonit stávající pozemní komunikaci mezi vesnicemi Nedvězí a Bystročice kolem rychlostní silnice R46. Dále se zde nachází stožáry vysokého napětí, které by bylo také nutno odklonit, nebo převést kabeláž do podzemí. Umístění navržené VPD si můžete prohlédnout na obrázku 9.



Obrázek 9. Lokalita VPD Olomouc [12]

Dále na obrázku 10 můžeme vidět větrnou růžici pro zadanou lokalitu, která nám ukazuje, převládající směr větru v období 16. 7. 2014 - 16. 7. 2015.



Obrázek 10. Větrná růžice [11]

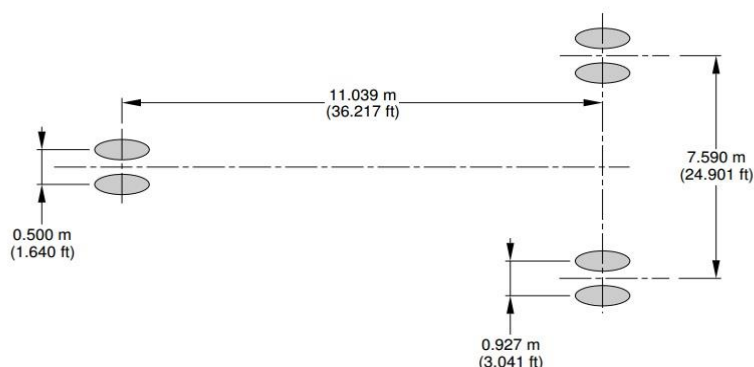
Z větrné růžice jsem určil směr VPD 11/29, který umožňuje vzlety a přilety letadel výhradně proti větru. Příletové a odletové tratě nezasahují do zastavěné části města a proto by se minimalizoval problém s hlukovým pásmem okolo letiště.

### 5.2.2. Výpočty konstrukce VPD

Pro výpočet délky VPD jsem nejdříve zvolil kritické letadlo Airbus A319. Toto letadlo je vhodné na krátké a středně dlouhé lety. Jeho potřebné technické parametry jsou níže uvedené:

- Maximální dolet až 11670 km (s přídavnými nádržemi)
- Počet sedadel pro cestující až 124 míst
- Maximální rychlost 925 km/h
- Maximální vzletová hmotnost 75 500 kg
- Maximální přistávací hmotnost 62 500 kg
- Potřebná délka RWY pro přistání 1280 m při MLW
- Potřebná délka RWY pro vzlet 1620 m při MTOW
- Zatížení na hlavní podvozek 91,4 % MTOW = 69007 kg = 677 kN
- Zatížení na 1 hlavní podvozkovou nohu 45.7 % z MTOW
  - o = 34503,5 kg = 338,5 kN
- Zatížení na přídový podvozek 8,6 % MTOW = 6493 kg = 63,7 kN
- Tlak v pneumatikách 1,38 MPa
- Rozpětí křídel 33,91 m (s winglety 34,10 m) [14], [15], [5]

Délkou vzletu se rozumí vzdálenost, kdy letadlo dosáhne výšky 10,5 m nad povrchem VPD. Letoun A319 má 2 hlavní podvozkové nohy a každá z nich je zatížena stejnou silou (338,5 kN). Na každé podvozkové noze se nachází 2 kola, jak vidíme na obrázku 11.



Obrázek 11. Schéma podvozku A319 [5]



Pro zadanou lokalitu musíme určit nadmořskou výšku letiště. Tato hodnota je udávána nadmořskou výškou nejvyššího bodu VPD a udává se v nejbližších celých metrech. Naše projektovaná vozovka má nadmořskou výšku 240 m n. m. Vztažný bod pro naše letiště se bude nacházet uprostřed osy VPD, protože máme pouze 1 RWY. Souřadnice bodu jsou 49°32'43.080"N, 17°12'18.235"E. Pro experimentální navrhování délky VPD se využívají hodnoty standardní atmosféry. V atmosféře je dokonale suchý plyn, který je definován fyzikálními konstantami:

- molekulová hmotnost na hladině moře
  - o  $M_0 = 28,9644 \cdot 10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1}$
- atmosférický tlak na hladině moře
  - o  $P_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ N.m}^{-2}$
- teplota na úrovni moře
  - o  $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- měrná hmotnost vzduchu na hladině moře
  - o  $\rho_0 = 1,225 \text{ kg.m}^{-3}$
- teplota mrazu
  - o  $t_1 = 273,15 \text{ K}$
- univerzální plynová konstanta
  - o  $R = 8,31432 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Teplotní gradient je  $-0,65 \text{ }^\circ\text{C}$  na 100 m až do výšky nad mořem, kde teplota vzduchu dosáhne  $-56,5 \text{ }^\circ\text{C}$  [1].

Základní délka VPD je stanovena Českou správou dopravních letišť jako základ pro návrh VPD a odpovídajícím fyzikálním vlastnostem letiště. Tato délka může být stanovena v požadavcích investora délkou, odpovídající základní délce podle kódového písmene, nebo v našem případě, základní délkou odpovídající požadavkům na délku vzletu určitého tzv. kritického letadla (A319). Předpis L14 uvádí základní délky VPD podle kódového písmene [1]. Základní délka  $L_z$  a příslušné kódové značení letišť je uvedeno v tabulce 6 podle předpisu L14.

Tabulka 6. Kódové značení letišť [17]

Kódový prvek 1		Kódový prvek 2		
Kódové číslo	Jmenovitá délka dráhy vzletu letounu	Kódové písmeno	Rozpětí křídel	Vnější rozchod kol hlavního podvozku
1	Méně než 800 m	A	Až do, ale ne včetně 15 m	Až do, ale ne včetně 4,5 m
2	Od 800 m až do, ale ne včetně 1 200 m	B	Od 15 m až do, ale ne včetně 24 m	Od 4,5 m až do, ale ne včetně 6 m
3	Od 1 200 m až do, ale ne včetně 1 800 m	C	Od 24 m až do, ale ne včetně 36 m	Od 6 m až do, ale ne včetně 9 m
4	1 800 m a více	D	Od 36 m až do, ale ne včetně 52 m	Od 9 m až do, ale ne včetně 14 m
		E	Od 52 m až do, ale ne včetně 65 m	Od 9 m až do, ale ne včetně 14 m
		F	Od 65 m až do, ale ne včetně 80 m	Od 14 m až do, ale ne včetně 16 m
		G	Od 80 m	Od 16 m

Dle tabulky můžeme navrhovanou VPD označit kódovým číslem 3C, protože letoun A319 má délku vzletu 1620 m při MTOW, rozpětí až 34,1 m a rozchod kol hlavního podvozku 7,59 m.

Základní délka VPD je ta délka, která vyhovuje pro podmínky standardní atmosféry na úrovni hladiny moře při vodorovné dráze a za bezvětří, pro letadla, kterým je VPD určena. Skutečná délka hlavní VPD s výjimkou těch drah, kde je zřízena dojezdová dráha, nebo předpolí, nesmí být menší než její základní délka upravená se zřetelem na odlišné místní podmínky, které ovlivňují výkony letadel. Základní délku VPD uvažujeme 1800 m. Předpis L14 doporučuje při výpočtu vlivu místních podmínek na skutečnou délku VPD uvažovat tyto vlastnosti:

- a) Přidanou délku z rozdílu nadmořské výšky

Základní délka VPD má být zvětšena o 7 % na každých 300 m nadmořské výšky nad střední hladinou moře podle vzorce:

$$L_1 = L_z \left( 1 + \frac{7}{300} \cdot \frac{H}{100} \right)$$

Kde je:

$L_1$  základní délka upravená o vliv nadmořské výšky [m]

$L_z$  základní délka VPD [m]

H výška letiště nad mořem [m]

Pro naše hodnoty:

$$L_1 = 1800 \left( 1 + \frac{7}{300} \cdot \frac{240}{100} \right) = 1901 \text{ m}$$

b) Přidanou délku z rozdílu teploty

Základní délka zvětšená o vliv nadmořské výšky letiště se dále zvětší v poměru o 1 % na každý 1 °C, o který vztažná teplota letiště překračuje teplotu standartní atmosféry odpovídající nadmořské výšce letiště podle vzorce:

$$L_2 = L_1 \left( 1 + \frac{T_V - T_0^H}{100} \right)$$

Kde je:

$L_2$  základní délka zvětšená o vliv nadmořské výšky a teploty

$T_V$  vztažná teplota letiště

$T_0^H$  je teplota standartní atmosféry odpovídající nadmořské výšce letiště H [m]

$$T_0^H = 15^\circ\text{C} - 0,0065 \cdot H$$

$$T_0^H = 15^\circ\text{C} - 0,0065 \cdot 240 = 13,44^\circ\text{C}$$

Vztažnou teplotu letiště, která se nám vyskytuje ve vzorci, určíme z měsíčního průměru teplot z nejteplejšího měsíce roku  $T_1$  (tabulka 7) a připočtením třetiny rozdílu mezi touto teplotou a měsíčním průměrem maximálních teplot denních teplot pro tentýž měsíc  $T_2$  (tabulka 8).

$$T_v = T_1 \frac{T_2 - T_1}{3} [^\circ\text{C}]$$

Tabulka 7. Průměrná měsíční teplota vzduchu na stanici OL [10]

MĚSÍC	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
OLKL T <sub>m</sub> _prům (°C)	-2,7	-1,2	3,2	8,4	13,7	17,0	<b>18,6</b>	17,8	14,0	8,7	3,3	-0,6	8,3
OL T <sub>m</sub> _prům (°C)	-2,2	-0,4	3,6	9,2	14,3	17,4	<b>19,0</b>	18,4	14,3	9,0	3,9	-0,2	8,9

Tabulka 8. Průměrná měsíční maximální a minimální teplota na stanici OL [10]

MĚSÍC	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
OLKL Tm_max (°C)	2,6	3,3	6,8	11,9	17,8	20,4	21,0	<b>23,7</b>	18,1	13,3	8,7	4,6
ROK	1921	1925	1916	1939	1889	1885	1932	1951	1947	1907	1926	1934
OL Tm_max (°C)	3,7	4,4	7,4	13,9	17,1	20,6	22,9	<b>24,3</b>	17,9	12,9	7,7	3,0
ROK	2007	1966	1990	2009	2002	2003	2006	1992	1947	2000	2000	2006
OLKL Tm_min (°C)	-11,6	<b>-12,2</b>	-1,1	5,0	9,7	13,0	15,4	15,3	9,5	4,4	-1,6	-11,9
ROK	1893	1929	1883	1929	1902	1923	1919	1915	1912	1905	1908	1879
OL Tm_min (°C)	-9,1	<b>-10,3</b>	-0,8	5,8	11,1	14,7	16,3	16,1	11,1	5,5	-0,2	-5,0
ROK	1985	1956	1987	1954	1991	1985	1978	1965	1996	1946	1988	1969

Na základě údajů o průměrných teplotách z měřicí stanice v Olomouci (OL) určíme nejteplejší den v roce červenec.

$$T_1 = 19 \text{ °C}$$

$$T_2 = 22,9 \text{ °C}$$

Vztažná teplota letiště je tedy:

$$T_v = 19 \frac{22,9 - 19}{3} = 24,7 \text{ °C}$$

Z toho plyne, že základní délka VPD zvětšená o vliv nadmořské výšky a teploty je podle vzorce:

$$L_2 = 1901 \left( 1 + \frac{24,7 - 13,44}{100} \right) = 2115 \text{ m}$$

c) Přidanou délku na sklon VPD

Základní délku VPD zvětšenou o vliv teploty a nadmořské výšky zvětšíme o 10 % na každé 1 % průměrného podélného sklonu VPD podle vzorce:

$$L = L_2 \left( 1 + \frac{10s}{100} \right) [m]$$

Kde je:

L skutečná délka VPD [m]

- L<sub>2</sub> základní délka zvětšená o vliv nadmořské výšky a teploty [m]  
S průměrný podélný sklon [%]

$$s = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Kde je:

- H<sub>max</sub> nejvyšší bod VPD [m]  
H<sub>min</sub> nejnižší bod VPD [m]  
L skutečná délka VPD [m]

Po dosazení nám vyjde:

$$s = \frac{239,139 - 234,43}{2160} \cong 0,22 \%$$

A následně po dosazení do vzorce vypočítáme dle vypočtených hodnot skutečnou délku VPD.

$$L = 2115 \left( 1 + \frac{10 \cdot 0,22}{100} \right) \cong 2160 \text{ m}$$

Z výpočtů jsem zjistil, že skutečná délka VPD musí měřit 2160 m.

Podle výpočtů a předpisu L14 má naše VPD 11/29 tyto základní charakteristiky:

- Délka RWY = 2160 m
- Šířka RWY = 45 m
- Šířka postranních pásů RWY 15 m
- Podélný sklon = 0,22 %
- Příčný sklon = 1,5 %
- Minimální poloměr zakružovacích oblouků = 30000 m

Po vypočtení potřebné délky a sklonu VPD jsem zpracoval podélný profil tratě. Zde můžeme najít profil terénu, kde bude stávající VPD vybudována. Volil jsem vyvážený poměr bilancí výkopu a násypu. Jelikož má terén určitý sklon, objem převezené zeminy bude značně veliký, avšak pro ukázkou je dostačující, ale z finančního hlediska by byl velice nákladný

a časově náročný na úpravu. Schéma je v příloze č. 1 a psaný podélný profil nalezneme v tabulce 9.

Tabulka 9. Psaný podélný profil

Psaný podélný profil							
výpočet výškového polygonu							
pořadové číslo	staničení	označení bodu	podélný sklon	příčný sklon	vzdálenost od vrcholu výškového polygonu	výškový rozdíl	kóty výškového polygonu
	[km]		s[%]	s[%]	[m]	[m]	[m]
1	0,00000	ZVPD	0,22	1	0	0	234,43
2	0,10000		0,22	1	100	0,22	234,65
3	0,20000		0,22	1	200	0,43	234,86
4	0,30000		0,22	1	300	0,65	235,08
5	0,40000		0,22	1	400	0,87	235,30
6	0,50000		0,22	1	500	1,09	235,52
7	0,60000		0,22	1	600	1,31	235,74
8	0,70000		0,22	1	700	1,52	235,95
9	0,80000		0,22	1	800	1,74	236,17
10	0,90000		0,22	1	900	1,96	236,39
11	1,00000		0,22	1	1000	2,18	236,61
12	1,10000		0,22	1	1100	2,39	236,82
13	1,20000		0,22	1	1200	2,61	237,04
14	1,30000		0,22	1	1300	2,83	237,26
15	1,40000		0,22	1	1400	3,05	237,48
16	1,50000		0,22	1	1500	3,27	237,70
17	1,60000		0,22	1	1600	3,48	237,91
18	1,70000		0,22	1	1700	3,70	238,13
19	1,80000		0,22	1	1800	3,92	238,35
20	1,90000		0,22	1	1900	4,14	238,57
21	2,00000	P1	0,22	1	2000	4,36	238,79
22	2,10000		0,22	1	2100	4,58	239,01
23	2,16000	KVPD	0,22	1	2160	4,71	239,14

#### Návrh konstrukčních vrstev:

Hodnoty níže uvedené budou pouze orientační, protože celý proces výpočtů je velice časově náročný a je zapotřebí speciálních programů na výpočty a dimenzování vozovek. Návrh takové konstrukce zpracovávají specializované firmy a v této práci se budu zabývat pouze ilustračním návodem, jak by konstrukce pro danou VPD mohla být konstruována. Budu

vycházet z předpisů L14 a jako vzor pro návrh vrstev použiji odborné zpracování návrhu na VPD Letiště Václava Havla 24/06.

Nejdříve musíme zjistit z jakého materiálu a jakou únosnost má podloží v lokalitě. Poté zjistíme, v jaké hloubce se nachází hladina podzemní vody pod niveletou a jestli může ovlivnit konstrukci vozovky. Pro zajištění lepších provozních funkcí konstrukce můžeme podloží stabilizovat vápnem v určité tloušťce. Podloží poté dosahuje vyšších hodnot při zatěžkávací zkoušce a můžeme stanovit návrhový modul pružnosti zlepšeného podloží. V našem případě jsem určil modul pružnosti podloží  $E = \text{cca } 110 \text{ MPa}$ .

Pro naši VPD byla navržena tato skladba konstrukce vozovky:

**VPD – střed** (15 m od osy VPD na obě strany)

Cementový beton (letištní)	250 mm	ČSN 73 6123
Mezerovitý beton	150 mm	ČSN 73 6124
Kamenivo zpevněné cementem	150 mm	ČSN 73 6124
Štěrkožt'	200 mm	ČSN 73 6126
Celkem	750 mm [16]	

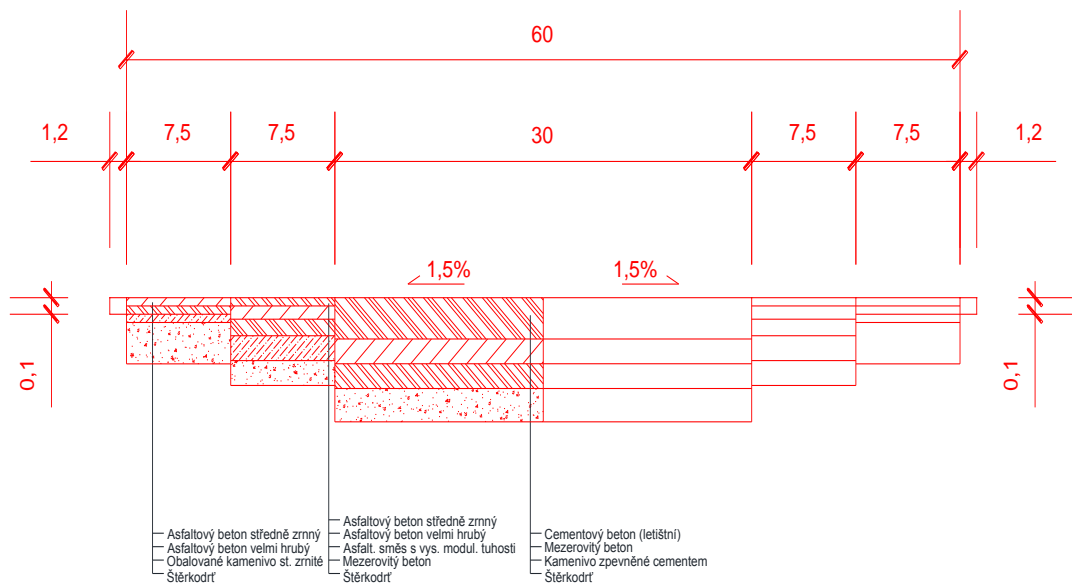
**VPD – okraj** (7,5 m od okrajů středu VPD na obou stranách)

Asfaltový beton středně zrný, modif.	50 mm	ČSN 73 61211
Asfaltový beton velmi hrubý, modif.	80 mm	ČSN 73 61211
Asfalt. směs s vysokým modulem tuhosti	100 mm	TP 1513
Mezerovitý beton	150 mm	ČSN 73 6124
Štěrkožt'	150 mm	ČSN 73 6126
Celkem	530 mm [16]	

**VPD – postranní pás** (7,5 m od okrajů okraje VPD na obou stranách)

Asfaltový beton středně zrný, modif.	50 mm	ČSN 73 61211
Asfaltový beton velmi hrubý, modif.	50 mm	ČSN 73 61211
Obalované kamenivo středně zrnité	50 mm	ČSN 73 6121
Štěrkodrt'	250 mm	ČSN 73 6126
Celkem	400 mm [16]	

Výslednou navrženou konstrukci vidíme na obrázku 12.



Obrázek 12. Schéma navržené konstrukce

Vzorový příčný řez situovaný ve vzdálenosti 2000 m od začátku VPD jsem narýsoval v programu Autocad 2012 viz. příloha č. 2. Zde jsou zakresleny konstrukční vrstvy včetně popisů a výškového okótování.

Cementová a asfaltobetonová vrstva se bude nanášet pomocí finišerů, které mohou nanášet až 15 m širokou vrstvu. Během pokládání vrstev se ukládají mezivrstvy pro lepší vlastnosti vozovek. Na vrstvy se může nanášet i speciální postřik proti vlhkosti a lepšímu kontaktu mezi vrstvami. Jelikož je každá vrstva z jiného materiálu, dochází k nepatrnému pohybu mezi vrstvami. Aby se předešlo neplánovanému porušení vozovky při „zrání“ betonu, dilatačním zkracování, nebo roztahování, vytvoříme dilatační, kontrakční a pracovní spáry. Princip a funkce již byly zmíněny v kapitole č. 3. Po zajištění spár dochází na řadu zdrsňení povrchu



kartáči, aby měl povrch požadovaný brzdný koeficient. Na závěr bude nutné označit VPD osovým a postranním značením, včetně začátku a konce dráhy s příslušným označením. V našem případě bude mít VPD označení 11/29. A podle předpisu L14 bude mít vozovka označení pomocí metody ACN-PCN:

### **PCN110/R/B/1,38MPa/T**

kde je:

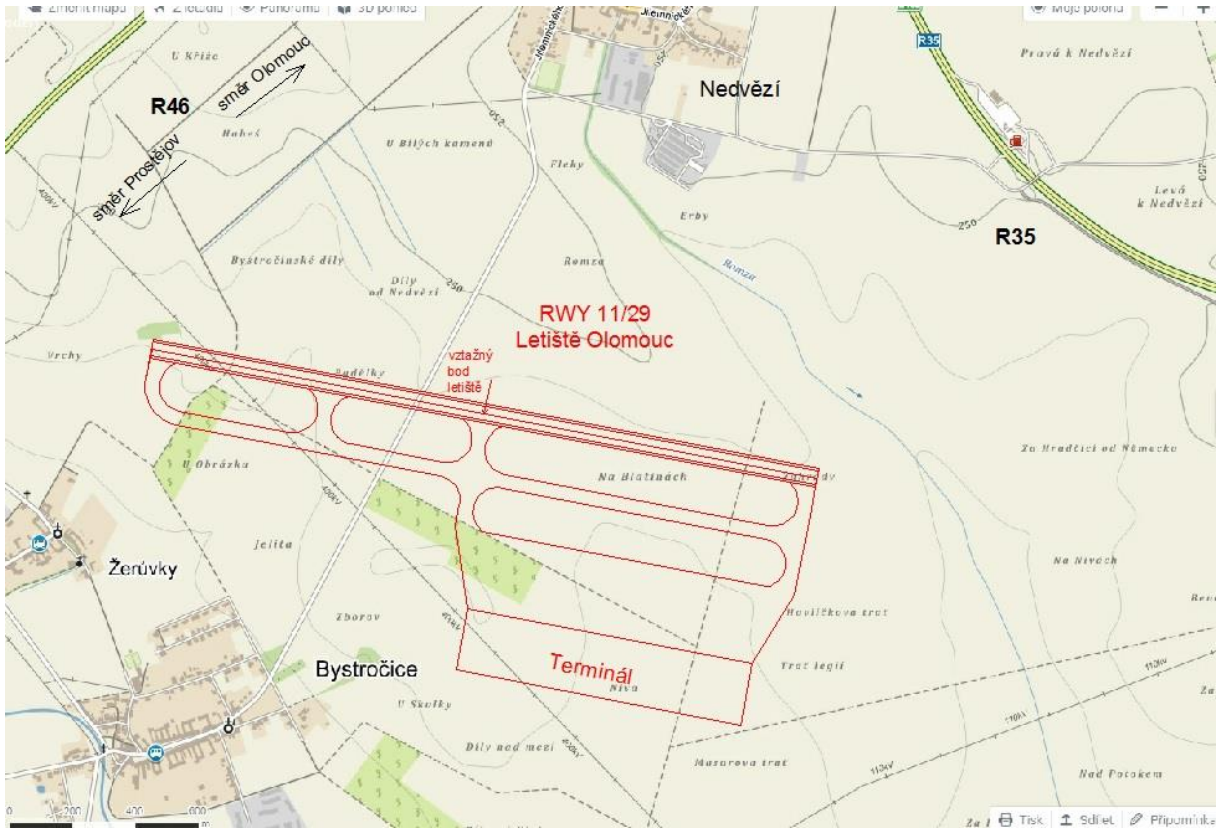
PCN110	- modul pružnosti podloží 110 MPa
R	- tuhá vozovka
B	- únosnost podloží od 60 do 120 MN.m <sup>-3</sup>
1,38MPa	- maximální tlak v pneumatikách a/c
T	- technické hodnocení

Vyhlášené délky pro navrženou VPD:

<b>TORA</b> - použitelnou délku rozjezdu	- 2160 m
<b>TODA</b> - použitelnou délku vzletu	- 2160 m
<b>ASDA</b> - použitelnou délku přerušného vzletu	- 2160 m
<b>LDA</b> - použitelnou délku přistání	- 2160 m

Všechny délky se rovnají z důvodu, že se zde nenachází SWY a CWY.

Na závěr jsem ilustračně nakreslil schéma napojení VPD s celou letištní infrastrukturou, které vidíme na obrázku 13. Celková šířka pojezdové dráhy je 45 m. Poloměr zatáček TWY je 100 m. Zvolil jsem strukturu s paralelní pojezdovou drahou vůči VPD, která umožňuje rychlejší provoz letadel a kratší intervaly mezi vzlety a přílety letadel.



Obrázek 13. Zakreslení letištní infrastruktury do stávajícího terénu [13]

## 6. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit čtenáře s problematikou navrhování vozovek a uvést základní typy a vlastnosti vozovek. Jelikož je tento obor velice rozsáhlý, nachází se zde jenom základní poznatky. Čtenář by měl po přečtení této práce porozumět principům výstavby a uvědomit si, že je to velice časově náročný proces a vyžaduje i značné finanční prostředky. Na základě teoretických znalostí jsem se zkusil naprojektovat vlastní konstrukci vzletové a přistávací dráhy v okolí Olomouce. Tuto lokalitu jsem zvolil, protože město Olomouc patří mezi největší města v České republice a nemá dostatečně velké letiště na provoz moderních dopravních letadel. Vybrat správnou lokalitu zabralo poměrně mnoho času, ale nakonec jsem zvolil hospodářské pozemky jižně od centra města. Lokalita je vhodná, protože hlavní letecký koridor bude směřovat mimo centrum města. Nejdříve jsem určil směr VPD 11/29 pomocí větrné růžice. Po vypočtení potřebné délky VPD, jsem dimenzoval konstrukční vrstvy vozovky, aby splňovaly odolnost vůči zatížení, které bude produkovat kritické letadlo A319 a zpracoval i ostatní část letištní infrastruktury. Vrstvy splňují podmínku, aby každá vrstva od podloží směrem k cementobetonovému krytu musela mít větší únosnost, jinak by došlo k porušení statiky vozovky.

Součástí přílohy je podélný profil terénu, kde se projektovaná VPD nachází. Zde nalezneme detailní profil terénu a můžeme určit vhodnou bilanci výkop/násep. Podélný sklon je 0,22 %, který je velice malý a pro provoz vhodný. Celý podélný profil je zpracován i v psané formě, kde jsou uvedeny výšky VPD a terénu po 100 metrech. Další přílohou je vzorový příčný řez, který nám ukazuje řez v místě 2 km od začátku VPD. Zde jsou zakresleny všechny konstrukční vrstvy a navrhovaná vozovka je umístěna přímo ve stávajícím terénu.

Celá bakalářská práce by měla sloužit jako stručný a názorný příklad, jak by se při projektování nové vozovky mělo postupovat. Zjistíme orientační přehled o postupných činnostech, a jaké problémy při výstavbě nás mohou potkat. Bakalářská práce je doplněna o množství obrázků a grafů, které nám pomohou více porozumět dané problematice. Projektování vozovky je velice složitý a časově náročný proces, který zpracovávají specializované firmy. V práci zajisté nejsou zmíněny všechny potřebné postupy pro výstavbu, ale pouze ty nejdůležitější.

Během psaní práce nedošlo k závažnějším problémům při projektování. Všechny potřebné informace jsem si vždy našel a práci podle nich dokončil. Velice mi pomohla konzultace s panem Ing. Vladimírem Fajtem, který mi během zpracování dával důležité rady a návody jak práci zpracovat.

Pro zpracování výkresové dokumentace byl použit program Autodesk AutoCAD 2012 a textová část byla zpracována v programu Microsoft Office Word 2011.

Věřím, že veškeré poznatky získané při tvorbě této bakalářské práce využiji i v budoucnosti ve své další práci.

## 7. Použité zdroje

### Literatura:

- [1] KAUN M., PIPKOVÁ B. *Stavba letišť-návody k projektu*. Vydalo České vysoké učení technické v Praze, Vydavatelství ČVUT, 1978, 57-522-78
- [2] KAUN M., ROJAN J. *Letiště*. Vyd. 2. Vydalo České vysoké učení technické v Praze, Vydavatelství ČVUT, 17-60
- [3] KAUN M., RONDOŠ L. *Letiská*. Vyd. 1. Bratislava, Vydala ALFA, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00537-7.
- [4] KAZDA, Antonín. *LETISKÁ design a prevádzka*. Vyd. 1. Žilina, Vydala Vysoká škola dopravy a spojov v Žilině, 1995, ISBN 80-7100-240-2.

### Internetové zdroje:

- [5] AIRBUS [online]. *Aircraft characteristics airport and maintenance planning AC* [cit. 2015-06-21]. Dostupný na www:  
  
<[http://www.airbus.com/fileadmin/media\\_gallery/files/tech\\_data/AC/Airbus-AC\\_A319\\_May2014.pdf](http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC_A319_May2014.pdf)>
- [6] KUDRNA J. [online]. *Návrh, údržba a oprava vozovek* [cit. 2015-05-18]. Vyd. 2012, reg. č. projektu CZ.1.07/3.2.13/01.0018. Dostupný na www:  
  
<<http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/DT%204%20Udrzba%20a%20oprava.pdf>>
- [7] KUDRNA J. [online]. *Návrh, údržba a oprava vozovek s cementobetonovým a dlážděným krytem* [cit. 2015-05-18]. Vyd. 2012, reg. č. projektu CZ.1.07/3.2.13/01.0018. Dostupný na www:  
  
<<http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/DT%205%20CB%20DL%20stavba%20udrzba%20a%20oprava.pdf>>
- [8] KUDRNA J. [online]. *Podkladní vrstvy a navrhování vozovek* [cit. 2015-05-18]. Vyd. 2012, reg. č. projektu CZ.1.07/3.2.13/01.0018, Dostupný na www:  
  
<<http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/Podkladn%C3%AD%20vrstvy.pdf>>
- [9] KUDRNA J. [online]. *Zemní práce* [cit. 2015-05-18]. Vyd. 2011, reg. č. projektu CZ.1.07/3.2.13/01.0018. Dostupný na www:

- < [http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/Zemni\\_prace.pdf](http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/Zemni_prace.pdf) >
- [10] MĚSTSKÉ KLIMA [online]. *Historické teploty* [cit. 2015-06-22]. Dostupný na [www:](http://mestskeklima.upol.cz/olomouc.html#teplota_chod)  
<[http://mestskeklima.upol.cz/olomouc.html#teplota\\_chod](http://mestskeklima.upol.cz/olomouc.html#teplota_chod)>
- [11] MĚSTSKÉ KLIMA [online]. *Větrná růžice* [cit. 2015-06-22]. Dostupný na [www:](http://mail.envitech.sk/phpolomouc/index.php?id=1)  
<<http://mail.envitech.sk/phpolomouc/index.php?id=1>>
- [12] SEZNAM [online] [mapy.cz](http://www.mapy.cz), turistická mapa [cit. 2015-06-22]. Dostupný na [www:](http://www.mapy.cz)  
<<http://www.mapy.cz/turisticka?x=17.2263941&y=49.5706746&z=13&l=0>>
- [13] SEZNAM [online] [mapy.cz](http://www.mapy.cz), turistická mapa [cit. 2015-06-22]. Dostupný na [www:](http://www.mapy.cz)  
<<http://www.mapy.cz/turisticka?x=17.2072108&y=49.5442698&z=15&l=0>>
- [14] SOUŠEK T., [online]. *Technická data A319* [cit. 2015-06-22]. Ministerstvo obrany. Dostupný na [www:](http://www.acr.army.cz)  
<<http://www.acr.army.cz/scripts/detail.php?id=7295>>
- [15] SOUŠEK T., [online]. *Technická data A319* [cit. 2015-06-22]. Dostupný na [www:](http://vztlak.net)  
<<http://vztlak.net/Profily-a-testy/Letouny/Cesky-AirForce-One-Airbus-A-319-CJ>>
- [16] SVAZ VÝROBCŮ CEMENTU ČR [online]. *Problematika návrhu letištních vozovek* [cit. 2015-05-17]. Vyd. 2006, ISBN 80-239-7955-8. Dostupný na [www:](http://www.svcement.cz)  
<[http://www.svcement.cz/includes/dokumenty/pdf/prednaska-sbornik\\_prednasek-betonove\\_vozovky\\_2006.pdf](http://www.svcement.cz/includes/dokumenty/pdf/prednaska-sbornik_prednasek-betonove_vozovky_2006.pdf)>
- [17] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ [online] *Předpis L14 – Letiště* [cit. 2015-06-04]. Dostupný na [www:](http://lis.rlp.cz)  
<[http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/data/print/L-14\\_cely.pdf](http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/data/print/L-14_cely.pdf)>

## 8. Seznam obrázků

- Obrázek 1. Schéma typů zpevněných vozovek
- Obrázek 2. Kontrakční spára
- Obrázek 3. Dilatační spára
- Obrázek 4. Pravděpodobnost příčného rozložení pohybu letadel
- Obrázek 5. Dimenzování únosnosti VPD
- Obrázek 6. Vliv počtu opakování na únosnost desky
- Obrázek 7. Růst pevnosti betonu v tahu
- Obrázek 8. Průběh zatížení na vozovce
- Obrázek 9. Lokalita VPD Olomouc
- Obrázek 10. Větrná růžice
- Obrázek 11. Schéma podvozku A319
- Obrázek 12. Schéma navržené konstrukce
- Obrázek 13. Zakreslení letištní infrastruktury do stávajícího terénu

## 9. Seznam tabulek

Tabulka 1.	Typ vozovky
Tabulka 2.	Únosnost podloží
Tabulka 3.	Huštění pneumatik
Tabulka 4.	Způsob hodnocení
Tabulka 5.	Brzdné účinky a kódování
Tabulka 6.	Kódové značení letišť
Tabulka 7.	Průměrná měsíční teplota vzduchu na stanici OL
Tabulka 8.	Průměrná měsíční maximální a minimální teplota na stanici OL
Tabulka 9.	Psaný podélný profil



# 10. Přílohy

## Č. 1 Podélný profil

