

Vysoká škola báňská - Technická univerzita

Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra ochrany obyvatelstva

**Adaptace železniční dopravy
na klimatickou změnu**

Student: Andrea Odchodnická

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Dobeš, Ph.D.

Studijní obor: Havarijní plánování a krizové řízení

Datum zadání bakalářské práce: 14.6.2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 14.4.2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta bezpečnostního inženýrství
Katedra ochrany obyvatelstva

Zadání bakalářské práce

Student: **Andrea Odchodnická**

Studijní program: B3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor: 3908R003 Havarijní plánování a krizové řízení

Téma: **Adaptace železniční dopravy na klimatickou změnu
Adaptation of Rail Transport to Climate Change**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Vytvoření návrhu opatření pro adaptaci vybraného odvětvového sektoru kritické infrastruktury, konkrétně železniční dopravy, na projevy klimatické změny.

Charakteristika práce:

Bibliografická rešerše a analytické práce, zaměřené na vymezení možných dopadů projevů klimatické změny na železniční dopravu. Zpracování analýzy rizik metodou What-If, v kombinaci s checklistem, pro identifikované scénáře a projevy klimatické změny, s dopadem na železniční dopravu. Návrh souvisejících adaptačních opatření.

Seznam doporučené odborné literatury:

Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2015, 339 s.
Dopravní politika ČR pro období 2014 – 2020 s výhledem do roku 2050 . Praha: Ministerstvo dopravy, 2013, 87 s.
NMI (Norwegian Meteorological Institute), 2013. Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation. ISBN 978-82-7144-101-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Dobeš, Ph.D.**

Datum zadání: 14.06.2016

Datum odevzdání: 14.04.2017

Ing. Jiří Pokorný, Ph.D., MPA
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Poledňák, Ph.D.
děkan fakulty

Anotace

**ODCHODNICKÁ, Andrea. *Adaptace železniční dopravy na klimatickou změnu.*
Bakalářská práce, Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava, Fakulta
bezpečnostního inženýrství, 2017, 41 stran**

Tato bakalářská práce se zaměřuje na možné dopady projevů klimatické změny na železniční dopravu a na možnost adaptace v této oblasti zájmu. Úvodní část obsahuje obecné vymezení klimatické změny a projevů s ní souvisejících. V další části je přehled možných nebezpečí, které by mohly mít negativní vliv na tento druh přepravy. Na tento checklist navazuje what-if analýza, která simuluje různé scénáře událostí. Na základě této analýzy je pak vypracován návrh možných adaptačních opatření, které by pomohly zmírnit nebo odstranit možné příčiny a následky jednotlivých rizik.

Klíčová slova: adaptace; železniční doprava; klimatická změna; checklist; what-if; opatření

Annotation

**ODCHODNICKÁ, Andrea. *Adaptation of Rail Transport to Climate Change.*
Thesis, Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of safety
engineering, 2017, 41 stran**


The bachelor thesis is focused on possible impacts of climate change expressions to rail transport and the possibility of adaptation in this area of interest. Introductory part contains definition of climate change, and expressions related thereto. The next section is an overview of the potential hazards that could have a negative impact on this type of transport. This checklist is followed by what-if analysis, which simulates various scenarios of events. According to this analysis is prepared a draft of possible adaptation measures that would help reduce or eliminate the possible consequences of each risk.

Key words: adaptation; rail transport; climate change; checklist; what-if; measures

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě dne 12. 4. 2017


.....

Podpis

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl/a seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů;
- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava (dále jen VŠB – TUO), dostupná k prezenčnímu nahlédnutí;
- beru na vědomí, že VŠB – TUO má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou/bakalářskou práci užit v souladu s § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má právo VŠB – TUO na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého VŠB – TUO nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Jméno, příjmení *Andrea Odchodnická*

Adresa *Jiráskova 653, 742 13 Studénka*

Dne: 12. 4. 2017

Podpis: 

1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

2) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

3) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst.

3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu ing. Pavlu Dobešovi, Ph.D., za jeho pomoc, ochotu, cenné rady a připomínky k mé bakalářské práci. Děkuji také panu ing. Ivanu Červenkovi ze Správy železničních dopravních cest za cenné informace a poskytnuté materiály.

Obsah

Seznam zkratk	8
Úvod	9
1 Bibliografická rešerše	11
2 Teoretická část	12
2.1 Klimatická změna (stručný přehled současného stavu poznání)	12
2.1.1 Extrémní vítr, bouřky	16
2.1.2 Extrémní srážky (a následné povodně)	16
2.1.3 Extrémní teploty a vlny veder	17
2.1.4 Sucho	18
2.1.5 Kombinace projevů rizik	19
2.2 Analytické metody využitelné k projekci a hodnocení dopadů (projevů) klimatické změny na specifikované prioritní oblasti zájmu	20
2.2.1 Obecná charakteristika a specifika metody Checklist	20
2.2.2 Obecná charakteristika a specifika metody What-if	22
3 Praktická část	24
3.1 Návrh vlastního checklistu pro uvažování možných konkrétních negativních dopadů změny klimatu na železniční dopravu	24
3.2 Aplikace metody What-if na subsystém železniční dopravy, v rámci prioritní oblasti zájmu č. 9 Doprava	29
3.3 Návrh adaptačních opatření v POZ Doprava a subsystému železniční doprava	33
4 Diskuse	35
5 Závěr	36
6 Literatura	38
Seznam obrázků, tabulek	41

Seznam zkratek

CNRM	Centre National de Recherches Météorologiques (<i>francouzské Národní centrum pro meteorologický výzkum</i>)
ČD	České dráhy
ČR	Česká republika
EEA	European Environmental agency (<i>Evropská agentura pro životní prostředí</i>)
GCM	global climate models (<i>globální klimatické modely</i>)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (<i>Mezivládní panel pro změnu klimatu</i>)
KSK	Kontinuálně svařované kolejnice
MSK	Moravskoslezský kraj
NMI	Norwegian Meteorological Institute (<i>Norský meteorologický institut</i>)
POZ	Prioritní oblast zájmu
RCM	regional climate models (<i>regionální klimatické modely</i>)
SŽDC	Správa železničních dopravních cest
USCG	United States Coast Guard (<i>Pobřežní stráž Spojených států amerických</i>)
WMO	World Meteorological Organization (<i>Světová meteorologická organizace</i>)
ŽP	Životní prostředí

Úvod

Naše zkušenosti a pozorování z uplynulých desetiletí, spolu s množstvím provedených simulací a modelů naznačují, že na Zemi zřejmě dochází a v dalším období bude docházet ke změně klimatu. Změny globálních a regionálních teplot a dalších ukazatelů již v současnosti modifikují jak charakter počasí (výskyt krátkodobých extrémních jevů v atmosféře i dlouhodobý chod počasí v jednotlivých ročních obdobích), což může způsobovat zvýšení zranitelnosti některých regionů, hospodářských odvětví a komunit.[1] V důsledku klimatické změny postupně dochází k velkým změnám, na které by lidská společnost i jedinci měli alespoň reagovat a přizpůsobovat se jim, přihlédneme-li k prostému faktu, že období prevence a předcházení nežádoucím změnám klimatu v důsledku příspěvku naší antropogenní činnosti jsme možná již propásli či prošli. Zajímavým aspektem změny klimatu je skutečnost, že její příčiny a vlivy lidské činnosti tuto změnu zřejmě zesilující, leží v čase a prostoru jinde (dříve), než její konkrétní projevy (dopady).

Adaptace a mitigace by se měly navzájem doplňovat a jsou jedněmi z prioritních činností pro „boj“ proti změně klimatu[1]. I když v tomto smyslu je těžko psát o „boji“, měli bychom spíše hovořit o záchraně toho, co se ještě zachránit dá. Případně o takové adaptaci společnosti a jedinců ve vzorcích spotřeby a chování na měnící se podmínky životního prostředí, jaká je za současných podmínek ještě možná, a to včetně technických a manažerských opatření. Stále jde ne o preventivní přístup, ale o reaktivní přístup, kdy již může být v případě realizace nejhorších možných simulovaných scénářů pro lidstvo pozdě. Změna klimatu je řadou současných vědců a expertů (například v rámci World Economic Forum) počítána mezi 10 nejvýznamnějších existenciálních rizik pro lidstvo (tj. máme jen jednu šanci toto riziko zvládnout a existuje šance, že v důsledku nezvládnutí tohoto rizika lidstvo vyhyne). Hesla typu „Změnili jsme klima, nyní je na čase změnit nás a naše chování“ ve světle výše uvedeného, nevypadají vůbec přehnaně.

V rámci různých studií se potýkáme s návrhem možných scénářů vývoje změny klimatu na dalších 10, 30, 50 až 100 let, ale je vhodné si dle principů dobrého managementu rizik uvědomit, že rychlá a včasná prevence nebo alespoň mitigace či adaptace v současnosti, může ušetřit mnoho životů a peněz v budoucnu. Tuto myšlenku nejlépe ilustruje trojúhelníkový diagram ze čtvrté hodnotící zprávy IPCC, který popisuje vztah

mezi mitigací, adaptací a nečinností (Obrázek 1).[2] Poukazuje především na fakt, že nečinnost je spojena s vysokými náklady v souvislosti s dopady změny klimatu.



Obrázek 1 Trojúhelníkový diagram popisující vztah mezi mitigací, adaptací a nečinností[2]

Ohrožení z možných projevů klimatické změny dopadá i na sektor železniční dopravy. V České republice je nejhustší železniční síť na světě, téměř 9 500km trati[3]. Narušení této trati by znamenalo velký zásah do běžného života obyvatel, protože je zcela jisté že přepravu vlakem využívají desítky možná stovky tisíc lidí denně. Dále je zapotřebí počítat s převáženým nákladem, kdy by v důsledku přerušení, poškození trati nebyl náklad dovezen, čímž by vznikaly velké ekonomické ztráty.

Cílem práce je sumarizovat možná ohrožení pro železniční dopravu, vyhodnotit je pomocí what-if analýzy vytvořením možných scénářů, které by mohly nastat v důsledku působení některého z projevů klimatické změny. Dále na tyto scénáře navázat a navrhnout vhodná adaptační opatření, která by zamezila případně omezila vývoj a dopad těchto změn na železniční dopravu.

1 Bibliografická rešerše

Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2015, 339 s.

Studie je zaměřena na projevy klimatické změny působících na 10 prioritních oblastí, přičemž jedna z nich je právě doprava. Poskytuje celkový pohled na klimatickou změnu a její projevy/dopady. V rámci tohoto projektu se VŠB podílela na návrhu analytického přístupu.

Dopravní politika ČR pro období 2014 - 2020 s výhledem do roku 2050. Praha: Ministerstvo dopravy, 2013, 87 s.

Dokument se zabývá možnými opatřeními, která by mohla zmírnit vývoj klimatické změny, a to především opatřeními, které by omezily emise skleníkových plynů vzešlých ze spalování fosilních pohonných hmot.

NMI (Norwegian Meteorological Institute), 2013. Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation. ISBN 978-82-7144-101-2

Studie se zabývá především změnami v charakteru počasí. Poskytuje přehled extrémních meteorologických jevů a možných scénářů projevů extrémního počasí v důsledku klimatické změny na jednotlivé zájmové oblasti.

Koncepce environmentální bezpečnosti 2016-2020 s výhledem do roku 2030. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2016, 42s.

Koncepce poskytuje komplexní pohled na environmentální bezpečnost zahrnující jak přírodu, tak lidskou společnost a její aktivity, a také propojení časového horizontu krizového řízení a časového horizontu dosahování udržitelnosti a adaptace na klimatickou změnu.

2 Teoretická část

Teoretická část je zaměřena na analytické práce (rozbor) vedoucí ke zjištění současného stavu poznání studovaného problému – změny klimatu a jejích projevů na Zemi, v EU prostoru a podmínkách životního prostředí ČR. V rámci této části jsou do práce začleněny výsledky analýzy a syntézy poznatků k řešenému tématu, zpracované na základě monitoringu a modelingu klimatu světovými respektive evropskými institucemi a autoritami.

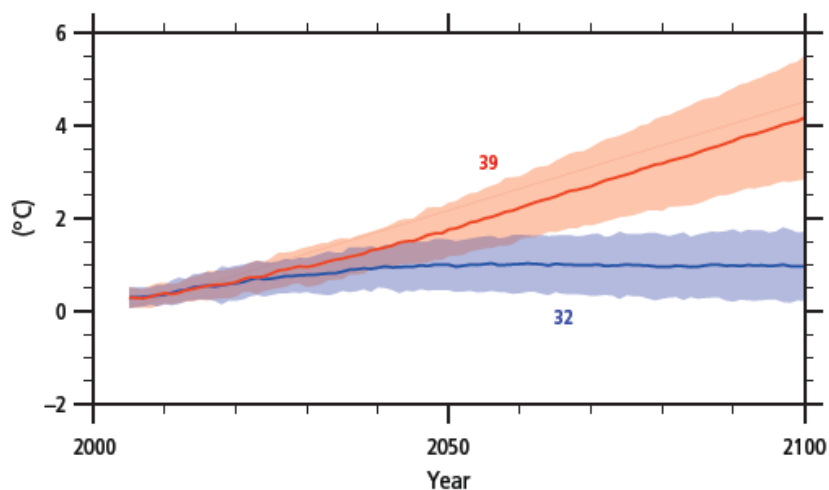
Při zpracování se opírám o rešeršní práce, provedené v rámci Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015, na jejichž částech jsem jako člen řešitelského týmu VŠB – TU Ostrava měla možnost participovat a diskutovat je.

2.1 Klimatická změna (stručný přehled současného stavu poznání)

Dle údajů uváděných v dokumentu Strategie EU pro přizpůsobení se změně klimatu se průměrná globální teplota ve světě, která se v současnosti pohybuje okolo 0,8 °C nad úrovní před industrializací, nadále zvyšuje. Do roku 2100 je předpokládán globální nárůst teploty o 1,1–6,4 °C v závislosti na modelu.[6]

Simulace klimatických modelů jsou zatíženy celou řadou nejistot. Tyto nejistoty vyplývají z několika zdrojů, zejména se jedná o zadávání počátečních a okrajových podmínek, použití parametrizací a vlastní strukturu modelů (např. numerické metody použité pro řešení rovnic nebo prostorové rozlišení).[4] Příklad vyobrazení nejistot je znázorněn na Obrázek 2, který zobrazuje globální změnu průměrné teploty povrchu.

Nejistoty v modelových simulacích lze analyzovat pomocí souborů více modelových běhů. Při vytváření modelových simulací určených pro tvorbu scénářů budoucí změny klimatu se k vyjmenovaným zdrojům neurčitostí přidává také naše neznalost vývoje přirozených i antropogenních faktorů ovlivňujících klima. Vliv přirozených faktorů, především velkých sopečných erupcí a změn intenzity sluneční činnosti není v modelových simulacích budoucího klimatu běžně zohledňován. Není však pravděpodobné, že v globálním měřítku by tyto přirozené vlivy na klima zcela potlačily antropogenní vlivy. Ty zahrnují zejména emise skleníkových plynů a aerosolů a změny ve využívání povrchu. [4]



Obrázek 2 Graf ilustrující nejistotu v modelech pro změnu průměrné teploty zemského povrchu (vzhledem k 1986-2005)[5]

Klimatickou změnou na evropské úrovni se podrobně zabývá mimo jiné studie „Změna klimatu: dopady a zranitelnost v Evropě z roku 2012.[1] Dokument hodnotí předpokládaný vývoj klimatu v Evropě do roku 2100 dle jednotlivých charakteristik. Základní fakta a trendy jsou uvedeny níže.

Mezi obecnější závěry patří, že v Evropě jsou zaznamenávány vyšší průměrné teploty, zejména v jižních oblastech Evropy klesají úhrny srážek. Naopak v severní Evropě mají srážky stoupající tendenci. S tím souvisí především tání ledovců v horských polohách a zmenšování plochy sněhových pokrývek.[6]

Podle studie bylo v letech 2002-2011 nejteplejší období, dosud zaznamenané v Evropě. Průměrná teplota zemského povrchu v Evropě je asi o 1,3°C vyšší, než byl průměr v předindustriální éře. Uváděné modelové projekce předpokládají, že by v posledních desetiletích 21. století mohla být teplota v Evropě o 2,5–4°C vyšší, než jakých hodnot dosahovala průměrně v referenčním období let 1961–1990. Zatímco k nejvyššímu růstu teplot v zimním období bude docházet v severních a východních oblastech Evropy, nejvyšší nárůst letních teplot bude probíhat v jižních částech Evropy. Se zvýšením teploty souvisí i nárůst teploty hladiny moře, avšak tento nárůst bude mírnější než nárůst teploty vzduchu.[6]

Dochází ke zvyšování teploty oceánů, zejména rychle se oteplují rychlé toky, jako v případě Golfského proudu. Teplota Golfského proudu vzrostla za posledních 100 let dvakrát až třikrát rychleji než teplota Atlantského oceánu. Povrchová teplota mořského proudění se zvýšila asi o 1 °C; Atlantik se za toto období oteplil o 0,4 °C. Dle mezinárodního vědeckého týmu se celosvětově zvýšila teplota moří asi o 0,6 °C. Tento

jev může být také pozorován u rychlých okrajových proudění v jiných oceánech. Teplo, které přenáší Golský proud z Ameriky do Evropy, odpovídá za relativně mírné podnebí ve střední a severní Evropě. Případné změny v proudění způsobené změnou teploty by měly významný vliv na klima v Evropě.[6]

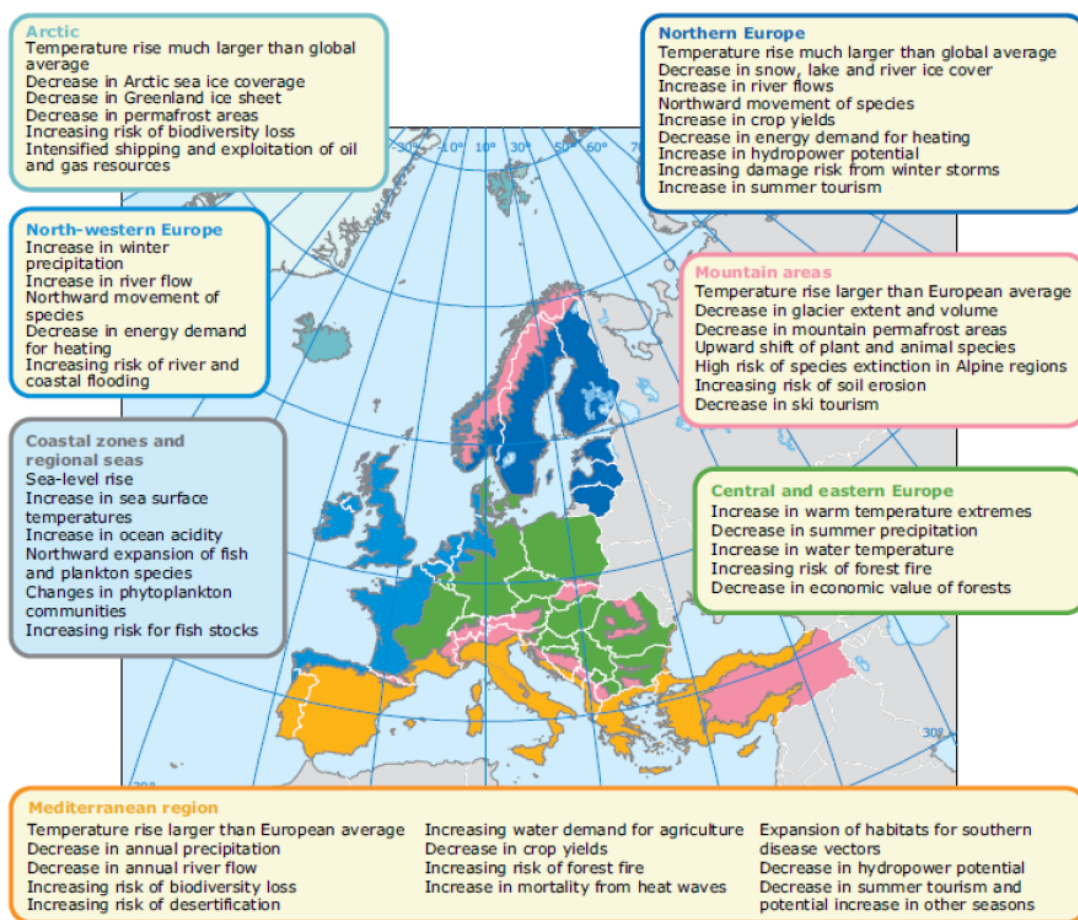
Častější a delší jsou vlny veder a předpokládá se, že tento trend bude pokračovat. Zpráva předpokládá, že pokud nedojde k realizaci adaptačních opatření, mohl by podle projekcí v nadcházejících dekádách nárůst veder způsobit nárůst počtu souvisejících úmrtí.[8] Zároveň se předpokládá úbytek úmrtí souvisejících s chladem. Chladné extrémy se v Evropě vyskytují méně často, naopak narůstá počet tropických dní, přičemž i tyto trendy lze předpokládat v budoucnu.[6]

Nejrychleji dochází k ohřívání Arktidy. V letech 2007, 2011 a 2012 byl v Arktidě zaznamenán rekordně nízký stav mořského ledu, který spadl zhruba na polovinu svého minimálního stavu z osmdesátých let 20. století. Rychlost tání grónského pevninského ledovce se od devadesátých let zdvojnásobila. Mezi lety 2005 a 2009 došlo každý rok průměrně k úbytku 250 miliard tun hmoty. Ledovce v Alpách ztratily od roku 1850 přibližně dvě třetiny svého objemu přičemž se tento trend předpokládá i do budoucna. Do budoucna se předpokládá snížení počtu sněhových dnů a rozsahu území se sněhovou pokrývkou. [7]

Zatímco ubývá srážek v jižních oblastech, v severní Evropě se jejich množství zvyšuje a podle projekcí budou tyto trendy pokračovat. Současně je předpokládán nárůst počtu dní s vyššími srážkami. Vzhledem ke skutečnosti, že vyšší teploty a srážky zvyšují intenzitu koloběhu vody, bude především v severní Evropě rozvodňování řek stále častějším jevem. Naopak v Evropě jižní se zvyšuje frekvence a intenzita vysychání říčních toků a předpokládá se, že minimální stavy vody budou na říčních tocích v jižní Evropě v letním období významně klesat. [6]

Zpráva uvádí předpokládané dopady na lidské zdraví. Příčinami mohou být např. vlny veder, rozšíření druhů hmyzu přenášejících choroby, prodloužení pylové sezóny a s tím související nárůst a dopady alergií. Předpokládá se také prodloužení vegetační sezóny.[6]

Souhrn pozorovaných a projektovaných projevů a dopadů klimatické změny pro území Evropy je schematicky znázorněn na následující mapě(Obrázek 3). [6]



Obrázek 3 Klíčové zjištěné a projektované projevy a dopady změn klimatu na jednotlivé evropské regiony[8]

Centrální a východní Evropa

- Zvýšení teplých teplotních extrémů
- Snížení srážek v letním období
- Zvýšení teploty vody
- Zvýšení rizika výskytu lesních požárů
- Snížení ekonomické hodnoty lesa

Horské oblasti

- Větší zvýšení teploty než je průměr v Evropě
- Snížení rozsahu a objemu ledovců
- Snížení horských oblastí s permafrostem
- Zvýšení rizika vyhynutí druhů v Alpských regionech
- Zvýšená rizika půdní eroze
- Snížení lyžařské turistiky

2.1.1 Extrémní vítr, bouřky

Z hlediska četnosti byl zjištěn nárůst bouří zejména v období od šedesátých do devadesátých let, následně byl zaznamenán pokles četnosti jejich výskytu. Prognózy do budoucna nezjistily v tomto směru žádný prokazatelný trend.[6]

Výskyt vichřic narůstal v předchozích letech (1950-2010) v severozápadní Evropě. Tyto výsledky však mají celou řadu nejistot v závislosti na zdrojových datech. Ve střední a severozápadní Evropě je predikován do budoucna další nárůst tohoto jevu společně s nárůstem způsobených škod o 30 – 100 % oproti současnému stavu. V jižní Evropě by se měl naopak výskyt vichřic pravděpodobně snižovat. Je zde nutno zdůraznit, že zde však nebyl vysledován žádný jednoznačný trend.[6]

V zimní polovině roku se v ČR vyskytují nebezpečné rychlosti větru při postupu hlubokých tlakových níží k východu, v letní polovině roku pak při intenzivní bouřkové činnosti.[10] Závažnými následky extrémní vítr zpravidla postihuje pouze určitou část území. Následky spočívají především ve vlivu na dopravu, komunikace, sídla a na lesní porosty, které může komplexně poškodit nebo zničit. Dochází k nebezpečným pádům větrem uvolněných předmětů. Ohrožena je i energetická rozvodná síť s následným domino efektem. Negativní dopady se projevují přímo působením kinetické energie větru a nepřímo snížením viditelnosti v důsledku zakalení atmosféry větrem transportovanými částicemi i ohrožení průjezdnosti komunikací v důsledku jejich sedimentace, případně tvorbou sněhových závějí v zimním období. [19]

2.1.2 Extrémní srážky (a následné povodně)

Přívalové srážky charakterizuje zejména velmi silná intenzita deště, která je spojená s rychlým vzestupem vodní hladiny ve vodních tocích a následně jejím rychlým poklesem. Zároveň v ploše povodí často dochází k intenzivní tvorbě přímého odtoku.[7]

Meteorologická a klimatologická měření ukazují, že výskyt silných srážek je častější a jejich intenzita narůstá. Vyskytují se v nepravidelných intervalech a intenzitách. Z dosavadních pozorování se dá vyvodit, že ve střední a východní Evropě bude intenzita a četnost zimních srážek narůstat, kdežto letní období zde bude celkově sušší.[6]

V letním období jsou silné srážky, spojené s bouřkovou činností poměrně častým jevem. Ve většině případů mají krátkou dobu trvání (do 30 minut). Existují však případy, kdy je bouřková buňka mimořádně aktivní, a tak z ní vypadne, ve velmi

krátkém čase, extrémní množství srážek. Jindy se bouřková oblačnost může uspořádat do podoby většího množství bouřkových buněk, které opakovaně vznikají v přibližně stejné oblasti. [7]

V zimním období může být příčinou vzniku krizové situace extrémní sněžení. Ta může vzniknout buď v důsledku vytvoření enormně vysoké sněhové vrstvy nebo v důsledku intenzivního sněžení. Intenzivní sněžení je často doprovázeno intenzivním větrem a způsobuje akutní problémy v podobě snížené viditelnosti, vzniku závějí apod., vytvoření vysoké sněhové pokrývky je spojeno s rizikem lavinového nebezpečí, porušením stavebních konstrukcí, narušením přenosových soustav, poškozením lesních porostů a speciálních zemědělských kultur, apod. Následné rychlé tání této sněhové pokrývky může být příčinou povodní velkého rozsahu.[7]

Riziko vzniku povodní se zvýšilo v mnoha oblastech Evropy v důsledku klimatických i neklimatických příčin, jejichž význam je místně specifický. Chybí však jednoznačné podklady, které by dokazovaly, že samotná změna klimatu ovlivňuje četnost povodní. Jedním z důvodů je právě zmíněná narůstající četnost silných dešťových srážek a vyšší četnost výskytu bleskových lokálních povodní. Budoucí vývoje je také obtížně předvídatelný, mimo jiné také proto, že je velice obtížné předvídat vliv lidské činnosti (např. průběh realizace protipovodňových opatření, způsob hospodaření v krajině, způsoby nakládání s vodou apod.).[6]

2.1.3 Extrémní teploty a vlny veder

S narůstající průměrnou teplotou se prodlužuje četnost, délka a intenzita vln veder a teplých období a ubývá počet extrémně chladných dní a nocí. Očekává se nárůst magnitud těchto teplotních extrémů, jež současně porostou rychleji než průměrné teploty. [6]

Z tohoto důvodu je do budoucna očekáváno méně teplotně chladných extrémů. Naopak pravděpodobnost výskytu vln veder bude průběžně narůstat a např. událost (např. vlna veder v Rusku v roce 2003), která je dnes považována za padesátiletou, bude ke konci století považována za pětiletou. Tyto jevy budou nejintenzivněji probíhat v rámci jižní Evropy (středomoří) a významněji vzrostou také ve Evropě střední. V jižní Evropě je podle studie předpokládáno, že frekvence horkých letních dní vzroste z 5 % na konci 20. století na 65 % na konci 21. století a ve střední Evropě na 40 %.

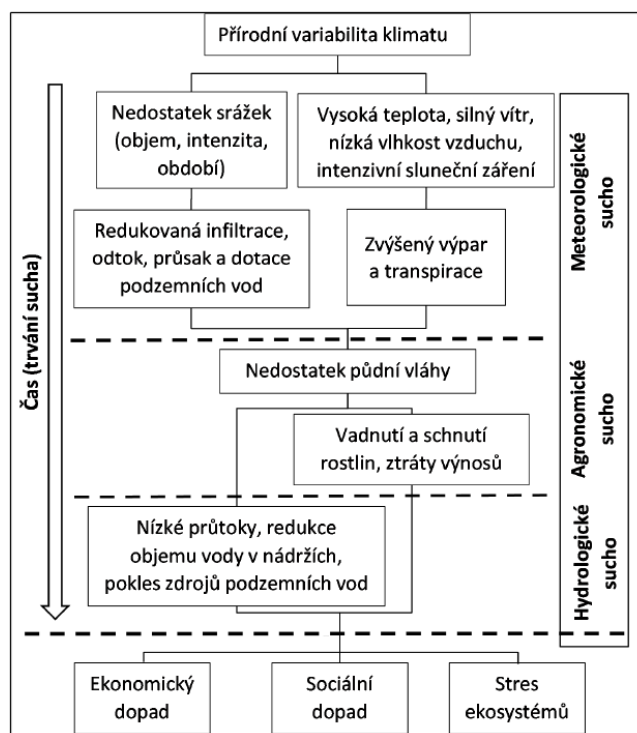
Dle některých ve studii uváděných scénářů se např. při nárůstu průměrné teploty o 2°C mohou zvednout teplotní maxima o více než 6°C.[6]

2.1.4 Sucho

Intenzivnější sucho je pozorováno v oblastech střední a jižní Evropy. Pro jižní Evropu je předpokládáno celkové snížení ročního úhrnu srážek a nárůst průměrných teplot. Do budoucna lze předpokládat nárůst četnosti a délky bezesrážkových období v jižní a střední Evropě způsobujících sucho, deficit půdní vlhkosti a další související dopady. Díky tomu je možno do konce 21. století předpokládat nižší průtoky v řekách a vodní stres především v regionech, které jsou již nyní zranitelné poklesem vodních zdrojů. Naopak ve zbytku Evropy obdobné trendy vysledovat nelze. [6]

Sucho je především ve střední Evropě často podceňovaným jevem. Je to způsobeno tím, že jeho dopady nejsou tak očividné. Jsou vleklé a rozložené do větších zeměpisných oblastí než škody, které byly způsobeny jinými přírodními katastrofami. Na rozdíl od většiny států Evropy, pochází téměř veškerá voda, která se na území ČR vyskytuje, ze srážek. [6]

Sucho vzniká v důsledku déletrvajícího deficitu srážek, to bývá ještě umocněno nadnormálním teplotním průběhem a tím zvýšeným výparem. Vývoj sucha zobrazuje diagram zpracovaný WMO (Obrázek 4). Dopady sucha na krajinu jsou výslednicí průběhu meteorologických jevů, hospodaření v negativních důsledků degradace půdy. Stávajícími metodami hospodaření na zemědělské půdě a zástavbou s rychlým odvodem vod došlo ke snížení infiltračních schopností krajiny. Tím byla značně snížena její retenční kapacita. Dochází tak k negativním změnám jednotlivých fází oběhu vody. Snížení retenční kapacity krajiny vede jak k povodním, tak i k výskytům sucha. Rychlý odtok vody z krajiny vede ke snížení obsahu vody v půdě a v určitých časových obdobích může vyvolat i snížení hladiny podzemní vody oproti normálnímu stavu.[6]



Obrázek 4 Diagram zobrazující vývoj sucha zpracovaný WMO [6]

2.1.5 Kombinace projevů rizik

Kombinované riziko je možno komplexně vyjádřit jako celkové riziko získané ze všech nebezpečných přírodních a technologických jevů, které se vztahují k dané ploše, a které mohou způsobit škodu na majetku, složkách ŽP a zasáhnout zdraví a životy lidí. Základem koncepce kombinovaného rizika je skutečnost, že většina druhů nebezpečí nepředstavuje nebezpečí samo o sobě. Zároveň toto nebezpečí může být spouštěno (aktivováno) jinými zdroji nebezpečí a naopak může aktivovat další zdroje nebezpečí.

Vstupuje často komplexní povaha krizových situací a mimořádných událostí, které mohou vznikat v důsledku souběhu, kombinace či paralelního výskytu několika zdrojů rizik v území najednou. [12]

Příkladem kombinovaného rizika jsou sesuvy, které jsou ovlivněny nasycením půdy, intenzitou srážek, půdním typem atp.

Dalším vhodným příkladem jsou povodně, které mohou být ovlivněny mnoha faktory zejména pak nasycením půdy, intenzitou a délkou srážek. Dále mohou vznikat povodně po zimním období, kdy je půda ještě zamrzlá, ale dochází k tání sněhové vrstvy.

2.2 Analytické metody využitelné k projekci a hodnocení dopadů (projevů) klimatické změny na specifikované prioritní oblasti zájmu

Na základě studia odborné literatury a zpráv IPCC, EEA je zřejmé, že pro návrh a hodnocení scénářů vybraných projevů změny klimatu je v současnosti odbornou veřejností využíváno široké spektrum kvantitativních či semikvantitativních metod (či přímo) modelů jako jsou například:

- GCM- globální klimatické modely - Založeny na řešení pohybových a termodynamických rovnic, které popisují procesy v klimatickém systému, pomocí metod numerické matematiky. Jelikož řešení těchto rovnic je výpočetně velice náročné, k realizaci GCM je nutné použít ty nejrychlejší superpočítače, které jsou v dnešní době k dispozici. [4]
- RCM – regionální klimatické modely - Jedná se o modely atmosféry, podobné jako atmosférická část GCM, ovšem výpočet v tomto případě neprobíhá pro celou planetu Zemi, ale pouze na omezené oblasti (domény), např. pro území Střední Evropy.[4]
- CNRM-CM5 je schopen simulovat současný stav klimatu a jeho proměnlivost v časovém horizontu v rozmezí od měsíců až staletí. [11]

Pro tyto účely je kromě superpočítačů také využíváno distribuovaných výpočtů a sdílení volných kapacit počítačů.

Dále je z příkladů a dílčích výsledků, závěrů a doporučení, formulovaných v reportech renomovaných institucí zřejmé, že jsou využitelné některé základní metody kvalitativní analýzy rizik a dalších systémových přístupů k vizualizaci možných problémů a scénářů:

- Checklist
- What-If (přímo doporučován EEA pro zvažování dalších konkrétních dopadů změny klimatu ve specifických sektorech)
- Kombinace Checklistu a What-If

2.2.1 Obecná charakteristika a specifika metody Checklist

Checklist je systematické vyhodnocení proti předem stanovených kritérií ve formě jednoho nebo více kontrolních seznamů. [13]

Stručné shrnutí charakteristik[13]:

- Systematický přístup postavený na historických poznatcích, které jsou zahrnuty do seznamu otázek checklistu
- Používá se pro analýzy na vysoké úrovni nebo pro podrobnou analýzu
- Použitelná pro jakékoli činnosti nebo systém, včetně problematiky zařízení a lidského faktoru
- Obvykle je prováděna jednotlivcem vyškoleným k pochopení otázek seznamu. Někdy se provádí pomocí malé skupiny, kdy jednotlivci nemusí být nutně odborníky na analýzu rizik
- Zakládá se převážně z rozhovorů, recenzí dokumentů a kontrol v terénu
- Generuje kvalitativní seznamy shody a stanovení neshody s doporučením pro korekci neshod
- Kvalita vyhodnocení je určena především zkušenosti lidí tvořících kontrolní seznamy a školení uživatelů kontrolního seznamu
- Používá se jako doplněk nebo integrální součást jiné metody, zejména pak what-if analýzy, se zaměřením na specifické požadavky

Omezení Checklistu[13]:

- Pravděpodobně chybí některé potenciální problémy. Struktura analýzy kontrolního seznamu spoléhá výhradně na znalosti zabudované do kontrolních seznamů k identifikaci potenciálních problémů.
- Tradičně poskytuje pouze kvalitativní informace. Většina hodnocení checklistu produkuje pouze kvalitativní výsledky, bez kvantitativních odhadů souvisejících rizikových charakteristik.

Postup pro vytvoření Checklistu

Postup pro provádění analýzy kontrolního seznamu se skládá z následujících sedmi kroků [13]:

1. Definujte činnost nebo předmět zájmu. Vymezte zamýšlenou funkci a hranice analýzy.

2. Definujte problémy významné pro analýzu. Určete problémy zájmu, kterými se analýza bude zabývat. Ty mohou zahrnovat bezpečnostní problémy, problémy životního prostředí, ekonomické dopady, atd.
3. Rozdělte činnosti nebo systém pro analýzu do několika hlavních částí. Na této úrovni začíná analýza.
4. Shromážděte nebo vytvořte příslušné kontrolní seznamy (checklisty) pro danou problematiku. Rozpoznejte a shromážděte seznamy důležitých otázek nebo problémů souvisejících s typem potenciálních problémů v rozsahu analýzy. Pokud nejsou k dispozici žádné užitečné seznamy, je nutno zvážit vytvoření svého vlastního seznamu s pomocí expertů na danou problematiku.
5. Reagujte na otázky ze seznamu. Použijte tým odborníků, aby reagoval na každou otázku seznamu. V případě zjištění nedostatků, respondenti vypracují návrh na zlepšení.
6. Dále rozdělte hlavní prvky činnosti nebo systému (pokud je to nutné či jinak užitečné). Další dělení vybraných prvků činnosti nebo systému může být nezbytné, pokud respondenti potřebují k rozhodnutí detailnější informace.
7. Použijte výsledky k rozhodování. Posuďte přijatelnost a rozhodněte zda-li činnost nebo systém splňuje dané požadavky.

2.2.2 Obecná charakteristika a specifika metody What-if

Jde o jeden z možných přístupů založený na brainstormingu, který používá jednoduchého nepřiliš strukturovaného dotazování, jehož cílem je identifikovat možné zdroje nebezpečí (nebo přímo nebezpečné situace-scénáře a jejich možné dopady), které mohou mít za následek výskyt nežádoucí události s dopadem na železniční infrastrukturu. Na možné nežádoucí události jsou následně navrhovány vhodná organizační, technická či kombinovaná adaptační opatření.[13]

What-If se typicky provádí jedním nebo více týmy s rozmanitým zázemím a zkušenostmi, které se podílejí na vývoji i kontrole scénářů (dle dostupných podkladů - odborných knih, článků či zpráv, datových sad, zkušeností, historických událostí, aktuálního poznání). [13]

Metodu What-If je možno použít obecně na jakoukoliv činnost nebo systém. Metoda generuje kvalitativní (do jisté míry abstrahovaný) popis potenciálních problémů,

ve formě otázek a odpovědí, včetně návrhu možných opatření. (Ve zvláštním sloupci tabulky je možno uvést také informační zdroj - ze kterého byl scénář odvozen - pokud takový ověřený zdroj existuje). Kvalita hodnocení závisí na kvalitě týmů, osobností, zkušenostech dostupných informací atd.[13]

Občas je metoda What-If používána samostatně, častěji v kombinaci s ostatními metodami analýzy rizik (typicky v kombinaci s checklistem, apod.)

Omezení metody What-If [13]:

- snadno během ní může dojít k opomenutí některých možných problémů.
- celkově se těžko ověřuje její úplnost,
- tradičně poskytuje jen kvalitativní informace.

Postup pro What-if analýzu

Postup pro provádění What-if analýzy se skládá z následujících sedmi kroků[13]:

- 1.0 Definujte činnost nebo předmět zájmu. Vymezte zamýšlenou funkci a hranice analýzy.
- 2.0 Definujte problémy významné pro analýzu. Určete problémy zájmu, kterými se analýza bude zabývat (problémy v oblasti bezpečnosti, životního prostředí, ekonomické dopady atd.)
- 3.0 Rozdělte činnosti nebo systém pro analýzu do několika hlavních částí. Na této úrovni začíná analýza.
- 4.0 Generujte what-if otázky pro každý prvek činnosti nebo systému. Použijte tým k vytvoření hypotetických otázek (zpravidla začíná frází "co kdyby ...").
- 5.0 Reagujte na what-if otázky. Každá otázka musí být zodpovězena týmem expertů na danou problematiku. V případě zjištění nedostatků, navrhne skupina expertů vhodné vylepšení.
- 6.0 Dále rozdělte hlavní prvky činnosti nebo systému (pokud je to nutné či jinak užitečné). Další dělení vybraných prvků činnosti nebo systému může být vhodné, pokud je potřeba podrobnější analýzy.
- 7.0 Použijte výsledky v rozhodování. Zhodnoťte přijatelnost výsledků a navrhnete možná vylepšení.

3 Praktická část

Praktická část je zaměřená na vymezení rámce uvažovaného systému a zpracování jednotlivých analýz rizik – checklist a what-if analýza. Následné vyhodnocení a vytvoření návrhu možných opatření, vyplývajících z what-if analýzy.

Pro zpracování analýz využívám především doporučeného postupu z USCG. Pro vytvoření návrhu adaptačních opatření jsou hlavním opěrnými materiály studie a bezpečnostní strategie z dalších zemí Evropy.

3.1 Návrh vlastního checklistu pro uvažování možných konkrétních negativních dopadů změny klimatu na železniční dopravu

Při návrhu checklistu jsem postupovala dle postupu uvedeného v kapitole 2.2.1. Pomocí postupného plnění všech sedmi bodů jsem se pokusila navrhnout checklist.

1. Předmětem zájmu je v následujícím checklistu železniční doprava na území ČR tj. ohrožený subjekt . Analýza je využita pro zjištění možných rizik pro sektor železniční dopravy.
2. Pro analýzu jsou použity rizika dopadů klimatické změny a jejich kombinace, které by měly dopad na samotnou železniční infrastrukturu, případně by způsobily další ekonomické ztráty .
3. Železniční doprava v tomto případě zahrnuje koleje a trakční vedení, osobní a nákladní dopravu, osoby zaměstnané u ČD, samotnou vlakovou soupravu a další infrastrukturu související s železnicemi např. drážní domky, nádraží atd.
4. Při zpracování jsem částečně vycházela z checklistu vytvořeného v rámci komplexní studie dopadů, zranitelností a zdrojů rizik. Větší část jsem však zpracovala sama dle načtených znalostí a s pomocí konzultací u vedoucího práce.
5. Následující bod nebyl splněn optimálně z důvodu nevytvoření expertního týmu.
6. Další dělení nebylo nutné.
7. Výsledky checklistu jsem využila při zpracování what-if analýzy a matici potenciálního ohrožení.

Návrh vlastní checklistu se zdroji nebezpečí a ohroženými, vázanými na změnu klimatu:

Možné zdroje nebezpečí:

A1 Přírodní požáry indukované dlouhodobým suchem

A2 Vlny extrémních teplot (vysokých i nízkých teplot, veder/ mrazů)

A3 Silné bouře doprovázené atmosférickými výboji (blesky)

A4 Bouře se silným krupobitím

A5 Bouře se silným sněžením – dopad je možno vidět na Obrázek 5

A6 Husté mlhy

A7 Přivalové deště

A8 Povodně, záplavy, zvláštní povodně (porušení hráze vodního díla), ukázkou takto přerušené trati lze vidět na Obrázek 7

A9 Nárazový vítr, vichřice – příklad tohoto projevu lze vidět na Obrázek 6

A10 Tornádo

A11 Svahové nestability (sesuvy půdy, řízení skal, laviny) – ukázkou zasypané trati na Obrázek 8

A12 Extrémní a rychlé změny teplot a atmosférického tlaku, související s výkyvy počasí, přechody front



Obrázek 5 Přerušení provozu v důsledku v důsledku nahrnutí vysoké vrstvy sněhu (severovýchodní Německo) [23]



Obrázek 6 Překážka na trati v důsledku silných větrů (trať Studénka-Veřovice) zdroj: SŽDC - Ing. Červenka



Obrázek 7 Zaplavení trati (trať Jistebník-Studénka) zdroj: SŽDC – Ing. Červenka



Obrázek 8 Trať přerušena sesuvem půdy České středohoří [24]

Vnější zdroje rizik nesouvisející přímo se změnou klimatu:

- B1 Nákladní auto na přejezdu
- B2 Mosty s narušenou statikou
- B3 Průmysl s výskytem závažné průmyslové havárie
- B4 Výpadek proudu (blackout)
- B5 Tělo sebevraha před vlakem na železnici (skok z mostu)
- B6 Jiný objekt úmyslně vržený z mostu
- B7 sabotáž – úmyslně přehozená výhybka
- B8 kyberterorismus na dispečinky a dorozumívací systémy vlak vs dispečink
- B9 přímý teroristický útok výbušninou, RPG nebo toxickou látkou

Návrh druhého checklistu, obsahujícího specifikované subsystémy související s přepravou po železnici (tedy zranitelné cíle):

Ohrožené/zranitelné cílové skupiny / systémy přímo související s provozem na železnici:

- C1 Osobní přeprava = cestující
- C2 Nákladní přeprava = převážený náklad (výrobky, suroviny, ropné látky, uhlí, chlor, čpavek a další chemické látky – ve vazbě na úmluvu RID).
- C3 Koleje trakční vedení
- C4 Osoby zaměstnané u drah = strojvedoucí, průvodčí, dispečeri, atd.
- C5 Vlaková souprava
- C6: Další související infrastruktura (nádraží, drážní domky ...)

Ohrožené/zranitelné cílové skupiny / systémy nepřímo související s provozem na železnici:

D1: infrastruktura (silnice, letiště, produktovody atd)

D2: majetek soukromých osob (domy, zahrady, atd)

D3: složky životního prostředí (voda, půda, vzduch, biota)

D4: území zvláště chráněná (CHKO, NP, atd.)

D5: zvláště chráněné druhy rostlin a živočichů

Tabulka 1 Aplikace navrženého checklistu na specifikované ohrožené cíle, související s železniční dopravou (matice potenciálních dopadů)

Zdroje nebezpečí vs ohrožené, zranitelné cílové systémy	C1: Osobní přeprava (cestující)	C2: Nákladní přeprava	C3: Koleje, trakční vedení	C4: Osoby (zaměstnanci)	C5: Vlaková souprava	C6: Další infrastruktura
A1: Přírodní požáry indukované dlouhodobým suchem	1	1	1	1	1	1
A2: Vlny extrémních teplot (nízkých i vysokých), vlny veder, mrazů	1	0	1	1	1	0
A3: Silné bouřky, doprovázené atmosférickými výboji (blesky)	0	0	1	0	1	1
A4: Bouře se silným krupobitím	0	0	1	0	1	1
A5: Bouře se silným sněžením	0	0	1	0	1	1
A6: Hustá mlha	0	0	0	1	0	0
A7: Přivalové deště	0	0	1	1	0	0
A8: Povodně, záplavy	1	1	1	1	1	1
A9: Nárazový vítr, vichřice	0	0	1	0	0	0
A10: Tornáda	1	1	1	1	1	1
A11: Svahové nestability	0	0	1	0	1	1
A12: Extrémní a rychlé změny teplot a atmosférického tlaku	0	0	1	1	1	0

Vysvětlivky k matici: 0 – daný zdroj nebezpečí nepůsobí na daný ohrožený cíl

1- daný zdroj nebezpečí ohrožuje daný cíl

3.2 Aplikace metody What-if na subsystém železniční dopravy, v rámci prioritní oblasti zájmu č. 9 Doprava

Při zpracování What-if analýzy jsem postupně procházela všemi sedmi kroky, které jsou popsány v kapitole 2.2.2. Otázky jsem tvořila podle návrhu checklistu, postupovala jsem dle následujících bodů:

1. Stejně jako při vypracování checklistu je předmětem analýzy železniční doprava na území ČR, respektive na území Moravskoslezského kraje.
2. Pro analýzu byly použity rizika dopadů klimatické změny a jejich kombinace.
3. Železniční doprava v tomto případě zahrnuje koleje a trakční vedení, osobní a nákladní dopravu, osoby zaměstnané u ČD, samotnou vlakovou soupravu a další infrastrukturu související s železnicemi např. drážní domky, nádraží atd.
4. Generování otázek co by se stalo kdyby... (What-if...)
5. Postupně jsem odpovídala na vytvořené otázky. Tento bod nebyl optimálně naplněn z důvodu chybějícího týmu expertů.
6. Další dělení nebylo nutné.
7. Výsledky jsem dále aplikovala na návrh možných adaptačních opatření.

Tabulka 2 What-if analýza

What if ...? Co se stane, když ...?	Předpokládané negativní dopady/rizika selhání cílových subsystémů	Návrh na opatření
Otázka	akutní i chronické	
Zvyšující se počet letních a tropických dní.	Snížená koncentrace strojvedoucích, a také dispečerů, případně nárůst produkce emisí v důsledku větších nároků na klimatizaci vozidel.	Efektivnější využití předpovědi počasí od ČHMÚ, častější střídání strojvedoucích, dispečerů.
Zvýšený výskyt přírodních požárů způsobených, extrémně vysokými teplotami.	Ohrožení přepravovaných osob, nákladu a prvků železniční infrastruktury včetně samotné vlakové soustavy.	V okolí trati frekventovanější sekání trávy. Kácení stromů v okolí trati, které by mohly způsobit poškození (suché stromy, jinak narušené porosty).
Zvýšený výskyt bleskových povodní.	Zaplavení trati, přerušení provozu, podmáčení trati, rychlejší koroze vlakové soupravy.	Stabilizace podloží trati. Snížení rychlosti vlaku. Využití nových materiálů.
Zvýšená četnost výskytu bouří doprovázených silným krupobitím.	Poškození vlakové soupravy, vytvoření překážky na trati.	Zřízení „havarijní služby“, která by v případě potřeby odklízela překážky na trati, resp. pohotovostní skupiny, která by byla aktivována v případě potřeby (tj. při výskytu MU, nebo při výstraze ČHMÚ).

What if ...? Co se stane, když ...?	Předpokládané negativní dopady/rizika selhání cílových subsystémů	Návrh na opatření
Otázka	akutní i chronické	
Zvýšená četnost atmosférických výbojů.	Možný zkrat centrálního řízení, což by mohlo vést k nefunkčnosti výhybek a následnému vykolejení případně ke střetu vlaků. Výpadek elektrického proudu v nádražních budovách. Blackout - rozsáhlý výpadek elektřiny zastaví vlaky i technologii.	Efektivnější využití předpovědi počasí od ČHMÚ – reagovat na předpovědní výstražnou informaci. Pravidelné revize. Náhradní zdroj energie pro nejnужnější oblasti – např. stanoviště dispečerů.
Častější výskyt silného nárazového větru	Vytvoření překážky na trati. V zimním období pak může vítr navát silnou vrstvu sněhové pokrývky.	Efektivnější využití předpovědi počasí od ČHMÚ. Zřízení „havarijní služby“, která by v případě potřeby odklízela překážky na trati, resp. pohotovostní skupiny, která by byla aktivována v případě potřeby
Zvýšená četnost výskytu tornád.	Ovlivněna zejména infrastruktury - může dojít k poškození kolejí, výhybek, trakčního vedení. Dále by mohlo dojít k zatarasení kolejiště případným přetrhaným elektrickým vedením a jinými překážkami.	Efektivnější využití předpovědi počasí od ČHMÚ. Zřízení „havarijní služby“, která by v případě potřeby odklízela překážky na trati resp. pohotovostní skupiny, která by byla aktivována v případě potřeby
Zvýšená četnost výskytu svahových nestabilit.	Svahové nestability mohou zapříčinit vznik překážky na trati, a to buď ve formě sesuvu půdy, nebo sněhu. Dále mohou sesuvy vést k destabilizaci a destrukci kolejí.	Stabilizace svahů kolem železniční trati.

What if ...? Co se stane, když ...?	Předpokládané negativní dopady/rizika selhání cílových subsystémů	Návrh na opatření
Otázka	akutní i chronické	
Zvyšující se počet dní s extrémními vlnami teplot nízkých i vysokých (vlny mrazu, vlny veder).	Degradace kolejí, celkové narušení infrastruktury.	Frekventovanější údržba kolejí. Speciální opatření pro drážní kotvení a údržbu. Využití nových materiálových vlastností.
Zvýšená četnost výskytu husté mlhy.	Špatná viditelnost, možnost srážky s překážkou na trati.	Efektivnější využití předpovědi počasí od ČHMÚ, možné snížení rychlosti.
Bouře se silným sněžením tzv. bílá tma.	Snížená viditelnost, možnost srážky s překážkou na trati.	Efektivnější využití předpovědi počasí od ČHMÚ- reagovat na předpovědní výstražnou informaci , snížení rychlosti.
Extrémní a rychlé změny teplot a atmosférického tlaku, související s výkyvy počasí, přechody front.	Degradace infrastruktury kolejí a trakčního vedení.	Frekventovanější revize, využití nových materiálů.

3.3 Návrh adaptačních opatření v POZ Doprava a subsystému železniční doprava

Adaptace nebo-li přizpůsobení se změně klimatu, je úprava přírodních nebo lidských systémů. Jedná se o reakci na skutečný nebo očekávaný projev (dopad) změny klimatu, jejímž cílem je zmírnit následky těchto projevů.[15]

Adaptace na změnu klimatu představují nedílnou součást politiky udržitelného rozvoje a snižování rizika katastrof. Projevy klimatické změny jsou diferencovány prostorově, časově a z hlediska intenzity. Jejich dopady pravděpodobně ovlivní všechny oblasti života.[21]

Ve výše vypracované what-if analýze bylo naznačeno několik potenciálních scénářů, které by mohly v budoucnu nastat. Na základě zjištění těchto možných rizik byla navržena některá vhodná opatření, která by mohla vést ke zmírnění následků.

Nejvíce ohroženou je pravděpodobně železniční infrastruktura, a to ve smyslu narušení, deformací kolejí případně trakčního vedení v důsledku výskytu vln veder/mrazu, extrémních a rychlých změn teplot apod. V závislosti na teplotě okolí, železniční trať může podléhat kontrakci (při nízkých teplotách) nebo dilataci (při vysokých teplotách) sil [16]. Z toho vyplývá potenciální riziko deformačního účinku na železniční trať a možnost vyboulení železniční trati. Vyboulení trati je definováno jako vytváření velkých bočních nevyrovnanosti v nepřetržité KSK. Tento problém může mít za následek vykolejení[16].

Současné postupy ke snížení rizika vykolejení[17]

- Zlepšení přesnosti předpovědí počasí, predikce tepelné kapacity železniční trati
- Uplatnění omezení rychlosti při vysokých teplotách
- Zlepšení predikce a monitorování teplotních podmínek trati
- Využití nových materiálových vlastností (např. pražců) a nastavení techniky (např. upevňovací prvky)
- Vylepšení postupů údržby

Další přímé riziko plyne z bouří, kdy hrozí poškození konstrukce elektrického vedení. V tomto případě hrozí například zkrat centrální řídicí jednotky, případně by

mohlo dojít k velkoplošnému blackoutu. Pro tento typ události by bylo vhodné zajistit náhradní zdroj energie, alespoň pro ta nejdůležitější pracoviště.

Dalším problémem, který ohrožuje svým způsobem železniční dopravu jsou svahové nestability (sesuvy půdy, řízení skal, laviny). Tento potenciální zdroj rizika lze utlumit stabilizací svahů v okolí trati.

Nutná jsou opatření, která by zamezila vytvoření překážky na trati, zejména spadlých stromů. V roce 2016 došlo k novelizaci zákona č. 266/1994 Sb. o drahách. Jednou zásadní změnou byla také změna, která povoluje odstraňování dřevin za účelem zajištění provozuschopnosti železniční dráhy nebo zajištění plynulé a bezpečné drážní dopravy na základě závazného stanoviska drážního správního úřadu[20], problém však nastává v případě soukromých pozemků.

V rámci adaptace by bylo také vhodné zdokonalit práci s meteorologickými ukazateli. Naučit se správně reagovat dle daných předpovědí a včas nastavit systém provozu na tratích.

Ve všech uvažovaných případech je také nutné myslet na cestující a personál, který se vyskytuje ve vlakové soupravě. Pokud by došlo k jakékoliv události, která by přerušila provoz železnice, bylo by zapotřebí zabývat se evakuací těchto osob, a to především z těžce přístupných míst.

4 Diskuse

V průběhu zpracování práce jsem narazila především na fakt, že i přestože je téma změny klimatu aktuálně velmi probírané, existuje jen málo dokumentů, které se zabývají dopady projevů na dopravu v ČR. Tento problém jsem řešila především zahraničními zdroji, které se tímto problémem více zabývají.

Při vytváření checklistu i what-if analýzy docházelo k nepřesnostem způsobených nemožností vytvořit optimální podmínky tj. nedošlo k vytvoření týmu expertů. Od toho se odvozuje i samotná kvalita otázek. Analýza byla vytvářena dle mých znalostí načtených ze zahraničních zdrojů případně z komplexní studie dopadů, zranitelnosti klimatické změny a také z informací čerpaných při konzultacích především s vedoucím této práce.

Pokud bych měla zpracovat obdobnou práci znovu, pokusila bych se vytvořit vícečlenný tým, který by mohl diskutovat otázky do what-if analýzy, tím by došlo k rozšíření spektra znalostí a analýza by se dala považovat za komplexnější.

I přes některá úskalí se mi podařilo vytvořit návrhy jak checklistu, tak what-if analýzy a pokusit se navrhnout některá adaptační opatření. Opatření byla čerpána především ze zahraničních zdrojů, proto nelze zcela jistě určit jejich aplikovatelnost na území ČR.

5 Závěr

V důsledku probíhající změny klimatu bude zapotřebí přizpůsobit se novým podmínkám životního prostředí. V ČR, v Evropě i globálně již nyní probíhá realizace prvních kroků a opatření, s cílem alespoň zmírnit dopady klimatické změny. Je možné, že ani v ideálním případě (tedy pokud bychom dodržovali veškerá opatření a snížili tak v následujících letech významně tvorbu skleníkových plynů, které jsou uvažovány jako jedna z hlavních příčin změny klimatu), bychom zřejmě nedokázali tuto změnu respektive její vývoj zcela potlačit. Některé odborné studie dokonce tvrdí, že i kdyby se emise skleníkových plynů dnes zcela zastavily, doposud vypuštěné emise by zapříčinily, že změna klimatu bude pokračovat ještě po celá desetiletí[1].

Za dobu své existence přepravila železnice v ČR stamiliardy cestujících a stamiliardy tun zboží a v současné době jí objemem přepravy patří 4. místo v Evropě.[27] Lze tedy říci, že potřeba adaptačních opatření je i pro tento sektor velice důležitá. Prakticky je obtížné zjistit, za jak dlouho bude charakter klimatu natolik pozměněn, že by zcela zastavil či významně narušil např. železniční infrastrukturu. I přesto je experty doporučován spíše proaktivní přístup k řešení problému, respektive k realizaci adaptačních opatření. Je tak velmi vhodné, začít se na nežádoucí scénáře vývoje situace a možných zhoršujících se projevů změny klimatu připravovat již nyní.

V teoretické části práce jsem stručně uvedla přehled současného stavu poznání, nachází se zde vymezení klimatické změny, tak - jak je experty doposud vnímána. Popsala jsem zde vybrané projevy změny klimatu, které se pravděpodobně dříve či později projeví na evropském kontinentu. Jako doplnění teoretické části práce jsem sestudovala a stručným popisem (překladem z anglického originálu – zdroj: US Coast Guard, Guidelines for Risk Based Decision Making,[13]) přiblížila čtenáři jeden z existujících možných přístupů systematické aplikace dvou vybraných analytických metod „checklist“ a „what-if“. Podle uvedených postupů jsem v praktické části dále postupovala při naplňování praktické části méj bakalářské práce.

Praktická část práce následně obsahuje mnou nově sestavený „checklist“ zdrojů nebezpečí pro sektor železniční dopravy, vyplývající rizika představovaného probíhající klimatickou změnou, konzultovaný s externím konzultantem na železniční přepravu i s vedoucím práce. Ve vazbě na připravený checklist, řešerši a projekt (Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR [6]),

na kterém jsem měla díky vedoucímu práce příležitost v průběhu studia aktivně participovat, jsem aplikovala další metodu analýzy rizik „what-if“. Pomocí této metody jsem vytvořila potenciální scénáře, které by mohly, ale nutně nemusely, nastat vlivem některého z nežádoucích dopadů klimatické změny (rizika), v podmínkách ČR respektive Moravskoslezského kraje. Dle výsledků uvedených činností jsem poté navrhla několik adaptačních opatření, která by zmírnila zranitelnost železnic a dopady na tuto oblast.

Hlavním přínosem práce je jak nové přiblížení systematických přístupů k praktické aplikaci dvou vybraných metod analýzy rizik (checklist a what-if) a jejich následná praktická aplikace. V rámci dosažených výsledků byl vytvořen přehled možných zdrojů nebezpečí, primárně či sekundárně souvisejících se změnou klimatu, s potenciálem přímo či nepřímo ohrozit přepravu po železnici v podmínkách MSK. Výsledky analýz nelze považovat za zcela vyčerpávající, pro konkrétní případy železničních tratí a přeprav je vhodné checklist dále upravit, doplnit. Podobně na základě dále upravovaného checklistu se předpokládá doplnění analýzy What-if.

V práci si dovoluji rovněž poukázat na důsledky, které by mohly nastat, pokud by nedošlo k potřebné adaptaci železniční přepravy.

Výsledky, dosažené v rámci praktické části práce, byly předány konzultantovi Ing. Červenkovi – zástupci Správy železničních dopravních cest, k dalšímu možnému využití. Cíle práce, definované v zadání, si dovoluji považovat za splněné.

6 Literatura

- [1] EEA. *Adaptation in Europe: addressing risks and opportunities from climate change in the context of socio-economic developments*. Luxembourg: Publ. Off. of the European Union, 2013. ISBN 9789292133856.
- [2] *Mitigace a adaptační možnosti na změnu klimatu pro ČR | Klimatická změna v České Republice* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/mitigace-a-adaptacni-moznosti-na-zmenu-klimatu-pro-cr/>
- [3] *Základní charakteristika železniční sítě SŽDC* [online]. [cit. 2017-03-6]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/zeleznicni-sit-v-cr.html>
- [4] *Změna klimatu: Modelování klimatu a jeho změn. ČHMÚ: Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace#>
- [5] PACHAURI, Rajendra K. et al. *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. IPCC, 2014. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://epic.awi.de/37530/>.
- [6] *Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2015, 339 s.
- [7] MŽP: Ministerstvo životního prostředí. *Environmentální bezpečnost* [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/environmentalni_bezpecnost
- [8] EEA: European environment agency. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 - an indicator-based report*. Copenhagen: European Environment Agency. ISBN 9789292133467.
- [9] EEA: Evropská agentura pro životní prostředí. *Změna klimatu je v celé Evropě očividná a potvrzuje naléhavou nutnost přizpůsobit se* [online]. 2012 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/cs/pressroom/newsreleases/zmena-klimatu-je-v-cele>

- [10] SIVS - kód II. Vítr *Český hydrometeorologický ústav*. [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z:
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/sivs/vitr.html>
- [11] VOLDOIRE, A. et al. The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation. *Climate Dynamics*. 2013, roč. 40, č. 9–10, s. 2091–2121. doi: 10.1007/s00382-011-1259-y. ISSN 0930-7575, 1432-0894.
- [12] DOBEŠ, P. Využití informačních technologií při analýze rizik a v krizovém plánování. Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TU Ostrava, 2010, 115 s.
- [13] CONSULTING, ABS. *Marine safety: tools for risk-based decision making*. Rockville, MD: Government Institutes, ABS Consulting, 2001. ISBN 0865879095.
- [14] NMI, Norwegian Meteorological Institute, 2013 *Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation*. ISBN 978-82-7144-101-2
- [15] EEA: EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Urban adaption to climate change in Europe*. Copenhagen: European Environment Agency. ISBN 9789292133085.
- [16] NEMRY F., DEMIREL H. *Impacts of climate change on transport a focus on road and rail transport infrastructures*. Luxembourg: Publications Office, 2012. ISBN 9789279270376.
- [17] GREAT BRITAIN et al. *Transport resilience review: a review of the resilience of the transport network to extreme weather events*. London: Stationery Office, 2014. ISBN 978-1-4741-0661-0.
- [18] European Climate Adaptation Platform *Transport — Climate-ADAPT* [online]. [cit. 2017-04-5]. Dostupné z: <http://climate-adapt.eea.europa.eu/eu-adaptation-policy/sector-policies/transport>
- [19] Národní akční plán adaptace na změnu klimatu. *MŽP: Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2017 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z:
http://www.mzp.cz/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu
- [20] Zákon č. 266/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů
- [21] *German Strategy for Adaptation to Climate Change*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. German federal cabinet, 2008, 78s.

- [22] Water and disaster. Be informed and be prepared. World Meteorological Organization, WMO-No. 971, Geneva 2004, ISBN 92-63-10971-0.
- [23] Adaptation: Railways facing the challenges of climate change and extreme weather conditions. *UIC: International union of railways 2011* [online]. [cit. 2017-03-9]. Dostupné z: <http://www.weather-project.eu/weather/inhalte/adaptation-workshop-may-2011.php>
- [24] *Železničáři připravují obnovu zasypané trati přes České středohoří - E15.cz* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/doprava-a-logistika/zeleznicari-pripravuji-obnovu-zasypane-trati-pres-ceske-stredohori-1291600>
- [25] Wu, L., Cai, W., Zhang, L., Nakamura, H., Timmermann, A., Joyce, T., McPhaden, M. J., Alexander, M., Qiu, B., Visbeck, M., Chang, P., Giese, B., 2012. Enhanced warming over the global subtropical western boundary current. *Nature Clim. Change* 2, 161 – 166 (2012), [online]. [cit. 2017-03-20]. dostupné z www.nature.com/nclimate/journal/v2/n3/full/nclimate1353.html
- [26] *ARISCC Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change* [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://ariscc.org/>
- [27] *Železnice ČR SŽDC: Správa železniční dopravní cesty* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr.html>

Seznam obrázků, tabulek

Obrázek 1 Trojúhelníkový diagram popisující vztah mezi mitigací, adaptací a nečinností[2]	10
Obrázek 2 Graf ilustrující nejistotu v modelech pro změnu průměrné teploty zemského povrchu(vzhledem k 1986-2005)[5]	13
Obrázek 3 Klíčové zjištěné a projektované projevy a dopady změn klimatu na jednotlivé evropské regiony[8]	15
Obrázek 4 Diagram zobrazující vývoj sucha zpracovaný WMO [6].....	19
Obrázek 5 Přerušení provozu v důsledku v důsledku nahrnutí vysoké vrstvy sněhu (severovýchodní Německo) [23]	25
Obrázek 6 Překážka na trati v důsledku silných větrů (trať Studénka-Veřovice) zdroj: SŽDC - Ing. Červenka	25
Obrázek 8 Zaplavení trati (trať Jistebník-Studénka) zdroj: SŽDC – Ing. Červenka	26
Obrázek 7 Trať přerušená sesuvem půdy České středohoří [24].....	26
Tabulka 1 Aplikace navrženého checklistu na specifikované ohrožené cíle, související s železniční dopravou (matice potenciálních dopadů)	28
Tabulka 2 What-if analýza.....	30