

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra rozvojových a environmentálních studií



Filip MAJZLÍK

**Analýza jihomoravského tornáda 2021 a tornád ve
vybraných rozvojových regionech**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. RNDr. Pavel Nováček, CSc

Olomouc 2023

Bibliografické identifikační údaje

Jméno a příjmení autora: Filip Majzlík (R200400)

Studijní obor: Mezinárodní rozvojová a environmentální studia

Název práce: Analýza jihomoravského tornáda 2021 a tornád ve vybraných rozvojových regionech

Title of thesis: Analysis of the South Moravian tornado 2021 and tornadoes in selected developing regions

Vedoucí práce: doc. RNDr. Pavel Nováček, CSc

Rozsah práce: 66 stran

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá velmi nebezpečným přírodním fenoménem – tornádem. Část práce je tedy zaměřena na to, co tornáda jsou, jaké jsou zapotřebí atmosférické podmínky k tomu, aby vůbec vznikla. Je uvedeno také dělení tornád. Zmínuji i dvě (resp. tři) hlavní stupnice, které se používají ke kategorizaci tohoto úkazu. Následně se přesouváme k tomu, kde se tyto silné vzdušné víry vyskytují a analyzují je ve vybraných rozvojových regionech. Stěžejní částí této bakalářské práce je analýza jihomoravského tornáda ze dne 24. června roku 2021, které změnilo život mnoha lidem. Dále jsem shrnul historii a výskyt tornád v České republice, i s konkrétními příklady silnějších tornád na našem území. V části o tornádu na jižní Moravě se podíváme na to, jaké tornádo se zde vyskytlo, co způsobilo a celkově budeme vycházet z poznatků z obecné části o tornádech v bakalářské práci.

Klíčové pojmy: tornádo, bouře, supercela, rozvojová země, jižní Morava, přírodní katastrofa

Abstract: This bachelor's thesis deals with a very dangerous natural phenomenon – a tornado. The first part of the work is focused on what tornadoes are, what atmospheric conditions are needed for them to form at all. The division of tornadoes is also included. I also mention two (more precisely three) main scales that are used to categorize this phenomenon. Subsequently, we move to where these strong air vortices occur and analyze them in selected developing regions. The core part of this bachelor's thesis is the analysis of the South Moravian tornado of June 24, 2021, which changed the lives of many people. I also summarized the history and occurrence of tornadoes in the Czech Republic, including specific examples of stronger tornadoes in our territory. In the part about the tornado in South Moravia, we will look at what kind of tornado occurred there, what it caused, and overall it will be based on the knowledge from the general part about tornadoes in the bachelor's thesis.

Key terms: tornado, storm, supercell, developing country, South Moravia, natural disaster

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením doc. RNDr. Pavla Nováčka, CSc, a že jsem v seznamu použité literatury uvedl všechny prameny, z nichž jsem čerpal způsobem ve vědecké práci obvyklým.

V Olomouci dne 12. 04. 2023

.....

Filip Majzlík

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu práce doc. RNDr. Pavlu Nováčkovi, CSc za ochotu, spolupráci, cenné rady, odborné připomínky a čas, který mi věnoval během psaní této bakalářské práce. V neposlední řadě děkuji mé nejbližší rodině za podporu nejen při psaní práce, ale i po celou dobu mého studia na Univerzitě Palackého v Olomouci.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Filip MACHŮ
Osobní číslo: R200400
Studijní program: B0588A330001 Mezinárodní rozvojová a environmentální studia
Téma práce: Analýza jihomoravského tornáda 2021 a tornád ve vybraných rozvojových regionech
Zadávající katedra: Katedra rozvojových a environmentálních studií

Zásady pro vypracování

V této bakalářské práci se v první řadě budu zabývat tím, co to jsou tornáda, jak vznikají, jaké jsou k tomu potřeba podmínky a kde se vyskytují. Dále se budu podrobněji zabývat jihomoravským tornádem ze dne 24. června 2021, které se prohnalo několika obcemi na Břeclavsku a Hodonínsku a způsobilo vážné škody na majetku a zeleni. Přiblížím důvody vzniku tornáda právě na tomto místě, popíšu také jeho následky a dotknu se tématu pomoci postižených lidí. Následující část práce bude pojednávat o tornádech ve vybraných rozvojových regionech, jak rozvojové země nesou dopady tohoto přírodního úkazu a jaké to má dopady na společnost.

Rozsah pracovní zprávy: 10 – 15 tisíc slov
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam doporučené literatury:

- BIKOS, Dan, Jonathan FINCH a Jonathan L. CASE, 2016. The environment associated with significant tornadoes in Bangladesh. *Atmospheric Research* [online]. 167, 183-195. ISSN 0169-8095. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosres.2015.08.002
- KIMAMBO, Offoro N., 2018. Tornadoes in South Africa: An overview with a Case Study. *Preprints* [online]. Dostupné z: doi:10.20944/preprints201811.0547.v2
- LYNCH, John, 2003. *Počasí*. Autor úvodu Donal MAC INTYRE, přeložil Ivan SLÁDEK. Praha: Euromedia Group – Knižní klub, 240 s. Universum. ISBN 80-242-0939-X
- MCDONALD, James R., 2001. T. Theodore Fujita: His Contribution to Tornado Knowledge through Damage Documentation and the Fujita Scale. *American Meteorological Society* [online]. 82(1), 63-72. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)000<0063:TTFHCT>2.3.CO;2
- ONO, Yuichi a Thomas W. SCHMIDLIN, 2011. Design and adoption of household tornado shelters for Bangladesh. *Natural Hazards* [online]. 56(1), 321-330. ISSN 0921-030X. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1007/s11069-010-9571-0
- ŘEZÁČOVÁ, Daniela, Petr NOVÁK, Marek KAŠPAR a Martin SETVÁK, 2007. *Fyzika oblaků a srážek*. Praha: Academia, 574 s., [48] s. obr. příl. Gerstner, sv. 2. ISBN 978-200-1505-1

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Pavel Nováček, CSc.
Katedra rozvojových a environmentálních studií

Datum zadání bakalářské práce: 17. května 2022
Termín odevzdání bakalářské práce: 12. dubna 2023

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

doc. RNDr. Pavel Nováček, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 17. května 2022

Obsah

Úvod	11
Cíle a metodika práce	13
1. Charakteristika tornáda.....	14
1.1 Konvektivní oblačnost	15
1.1.1 Supercela	18
1.2 Životní cyklus tornáda	19
1.3 Dělení tornád.....	20
1.3.1 Supercelární tornáda.....	20
1.3.2 Nesupercelární tornáda.....	22
1.3.3 Vodní smrště	23
2. Měření rychlosti větru	24
2.1 Fujitova stupnice (F-stupnice, F-scale).....	24
2.2 Mezinárodní Fujitova stupnice (International Fujita Scale, IF-Scale).....	27
2.3 Stupnice TORRO	27
3. Výskyt tornád	29
3.1 Tornado Alley v USA	29
3.2 Evropa	30
4. Vybrané rozvojové země/regiony	32
4.1 Bangladéš.....	32
4.1.1 Tornáda v Bangladéši.....	32
4.2 Jihoafrická republika.....	35
4.2.1 Tornáda v Jihoafrické republice	35
5. Tornáda v České republice	39
5.1 Historie tornád na českém území.....	39
5.2 Vybrané případy tornád v České republice od roku 2000 (síla EF3 a vyšší)	41
6. Jihomoravské tornádo ze dne 24. 6. 2021	44
6.1 Meteorologická situace	44
6.2 Kudy tornádo prošlo?.....	46
7. Doporučení, jak se při tornádu chovat.....	54
8. Diskuse	55
9. Závěr.....	59
10. Seznam použité literatury	61

Seznam obrázků

Obr. 1: Shelf cloud	17
Obr. 2: Schéma tornáda	21
Obr. 3: Mapa výskytu tornád na celém světě	29
Obr. 4: Počet nahlášených tornád nad Evropou na mřížce 50 x 50 km v letech 1950–2015	30
Obr. 5: Snímek z videozáznamu Milešovického tornáda, dokazující přítomnost sekundárních savých vírů, pořízený panem Volkem, obyvatelem Chřenovic.....	42
Obr. 6: Zaznačení dráhy tornáda v Litovli	43
Obr. 7: Fotografie tornáda pořízená z Hodonína směrem na Lužice.....	44
Obr. 8: Radarový snímek dokazující tornádo díky přítomnosti prstence (z angl. donut-hole) po doteku s povrchem u obce Hrušky	45
Obr. 9: Mapa stopy tornáda s barevně rozlišenými kategoriemi podle Mezinárodní Fujitovy stupnice.....	47
Obr. 10: Snímek dokazující působení tornáda. Černá šipka znázorňuje směr pohybu tornáda, červené šipky směr destrukce	48
Obr. 11: Fotografie zničených Hrušek	49

Seznam grafů

Graf 1: Rozsah škod na budovách s inženýrským přístupem a bez něj v závislosti na síle větru.....	37
Graf 2: Vývoj počtu tornád od začátku 18. století do roku 2017	39

Seznam tabulek

Tab. 1: Fujitova stupnice, doplněna o stupnici TORRO v závorkách.....	26
Tab. 2: Mezinárodní stupnice intenzity tornád – TORRO stupnice	28

Seznam použitých zkratk

BDPC – Bangladesh Disaster Preparedness Centre
BMD – Bangladesh Meteorological Department
CAPE – Convective Available Potential Energy
Cb – Cumulonimbus
CL – Classic supercell

cm – centimetry

Cu – Cumulus

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČR – Česká republika

EF – Rozšířená Fujitova stupnice

ESSL – European Severe Storms Laboratory

F – Fujitova stupnice

FEMA – Federal Emergency Management Agency

hod. – hodina

HP – High precipitation supercell

IAWE – International Association for Wind Engineering

IF – Mezinárodní Fujitova stupnice

J.kg⁻¹ – Joule na kilogram

Kč – Koruna česká

km – kilometry

km.h⁻¹ – kilometry za hodinu

LP – Low precipitation supercell (supercela s nízkými úhrny srážek)

m.s⁻¹ – metry za sekundu

m³ – metry krychlové

NSSL – National Severe Storms Laboratory

o.s. – oblastní sdružení

SELČ – Středoevropský letní čas

SLCS – Severe Local Convective Storm

TORRO – International Tornado Intensity Scale

TVS – Tornado Vortex Signature

USA – United States of America

USAR – Urban Search and Rescue Team

Úvod

Tornáda jsou bezpochyby jedním z nejnebezpečnějších extrémních projevů počasí, jež se na naší planetě mohou ukázat. Vznikají za zcela specifických atmosférických podmínek většinou z bouří zvaných supercely. Je to druh konvektivní bouře velmi dlouhého trvání, obvykle až několik hodin. Podíváme se na jejich dělení a na podmínky, za kterých vznikají. Kromě detailnějších informací o tornádech se podíváme také na stupnice, podle kterých se tornáda měří a pokusím se také popsat, podle jakých kritérií se kategorie přiřazují.

Tornáda se vyskytují prakticky po celém světě, na některých místech častěji na jiných méně často. Nejvíce je tornády sužována centrální část USA zvaná „*Tornado Alley*,“ kde se ročně objeví několik stovek tornád. Tato práce se zaměří na oblasti, kde se tornáda tak často neobjevují, a to především na vybrané rozvojové regiony a také na konkrétní tornádo, které zničilo několik obcí na jižní Moravě 24. 6. 2021. V České republice stále existuje poměrně dost lidí, kteří nevěří tomu, že se i u nás může tornádo vyskytnout. V televizním nebo internetovém zpravodajství totiž většinou vidíme nebo čteme, že se v USA ukázalo silné tornádo. Je sice pravda, že v České republice a Evropě či jiných částech světa (kromě USA) se tornáda objevují spíše zřídka, ale z historických pramenů i z pozorování ze současnosti víme, že i zde se vyskytují a vyskytovaly se zde i v minulosti. Proto chci, aby tato bakalářská práce sloužila mimo jiné k tomu, aby si lidé uvědomili, že i na našem území se může tento ničivý přírodní fenomén ukázat a že je potřeba udělat něco pro to, abychom minimalizovali riziko dopadu tornád, například zvyšovat povědomí o tomto úkazu ve společnosti.

Bakalářská práce bude pojednávat o tomto fenoménu ve vybraných rozvojových regionech, jelikož zde jsou lidé ohrožení ještě více. Je důležité poukázat na to, že se v rozvojových zemích nevyskytují tornáda amerických rozměrů, avšak zde působí obrovské škody. V práci se pokusíme identifikovat důvody, proč jsou rozvojové země a jejich obyvatelé tak náchylní na tornáda, což lze také aplikovat i na jiné přírodní živly. Široká veřejnost v těchto zemích nemá moc informací o tomto jevu, a proto je důležité zvyšovat povědomí o něm. Nezbytností je, aby existovaly například evakuační plány či seznam doporučení, jak se během tornád chovat. Tato práce zmiňuje dva rozvojové regiony, a sice Bangladéš a Jihoafrickou republiku. Bangladéš je rozvojovou zemí, která je často sužovaná tropickými cyklóny, ale také tornády. Pokusíme se tedy zjistit, jestli tyto dva přírodní úkazy jsou nějakým způsobem propojené. Jihoafrická republika je jednou

z velmi mála míst na jižní polokouli, kde se tornáda objevují, proto byla vybrána jako druhý rozvojový region pro tuto práci. Pokusíme se zjistit, jestli tyto dvě země mají společné to, proč jsou i slabší tornáda velmi nebezpečná a ničivá.

Obyvatelé České republiky nejsou zvyklí na tento přírodní jev, avšak existují záznamy o řádění větrného živlu i z minulosti. V této bakalářské práci bude zmíněna historie tornád na území ČR a také vybrané případy silnějších tornád od roku 2000. Bude zde vysvětleno zdánlivé zvyšování počtu případů a také výkyvy počtu v důsledku důležitých historických milníků. Práce, jak již z názvu vyplývá, bude obsahovat detailnější charakteristiku jihomoravského tornáda z roku 2021 včetně popisu míry devastace jednotlivých obcí. Na tornádo se podíváme i z pohledu meteorologie. Shrnu také téma týkající se pomoci lidem, které katastrofa postihla. Práce bude doplněna o doporučení, jak se během tornád chovat.

Bakalářská práce je rozdělena do 6 kapitol. První kapitola obsahuje obecné informace o vzniku tornád a jejich charakteristiku. Dozvíme se zde více o konvektivní oblačnosti, z níž je pro účely této práce vybrán jeden typ – supercela. Práce rozděluje supercely na několik typů a každý z nich je charakterizován. Následuje část, ve které rozebereme dělení tornád na dva hlavní typy. Druhá kapitola pojednává o způsobech měření rychlosti větru. Jsou zde charakterizovány dvě, respektive tři stupnice, podle kterých jsou tornádům přiřazovány kategorie. Dozvíme se zde o historii a počátečních problémech s první stupnicí a také to, jak se stupnice s postupem času vyvíjely. Třetí kapitola přibližuje výskyt tornád na celém světě, je zde zmíněn i region s největším počtem tornád a také konkrétněji charakterizována situace v Evropě. V následující čtvrté kapitole se již zabírám situací v rozvojových regionech a pátá kapitola je již vztahena na Českou republiku. Šestá kapitola přibližuje tornádo na jižní Moravě a podrobněji jej popisuje.

Cíle a metodika práce

Cílem této bakalářské práce je shrnout základní informace o tornádech, konkrétně informace o jejich vzniku, výskytu, s čímž souvisí supercely, které jsou zde také popsány. V části týkající se vybraných rozvojových zemí se pokusím poukázat na to, že i přesto, že se zde nevyskytují nejsilnější tornáda, tak působí obrovské škody, a proč tomu tak je. Dalším cílem je upozornit na možné riziko tohoto fenoménu i v naší zemi, jelikož si mnoho lidí myslí, že se v České republice tornádo ukázat nemůže. Opak si ukážeme na konkrétním případě z roku 2021, kdy se jižní Moravou prohnalo ničivé tornádo.

Metoda, kterou jsem v mé bakalářské práci využíval, byla literární rešeršní. Většina zdrojů použitých pro získání informací k napsání této práce byla v elektronické podobě. Knihovna na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého a knihovna Zbrojnice mi rovněž poskytly literaturu nezbytnou k napsání některých kapitol. Mezi stěžejní zdroje se řadí literatura týkající se meteorologie, studie zkoumající příčiny a dopady tornád, ale také zprávy Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), Evropské laboratoře zkoumající silné bouře (ESSL) a další. Práce se také neobešla bez poznatků očitých svědků, které jí dodaly na autentičnosti v části, která pojednává o tornádu na jižní Moravě.

1. Charakteristika tornáda

Tornáda neboli vzdušné víry jsou rotující masa vzduchu, které Doswell (2001) ve své práci „What is a tornado?“ charakterizuje následovně: *„Abychom vzdušný vír, většinou se svíslou osou rotace, mohli klasifikovat jako tornádo, musí se během své existence alespoň jednou dotknout povrchu Země a jeho síla musí být dostatečná k tomu, aby způsobilo nějaké hmotné škody.“* Podle Řezáčové, et al. (2007, s. 459) může průměr vzdušného víru dosahovat ve výjimečných případech až několika kilometrů, zpravidla ale dosahuje tloušťky v řádech jednotek někdy i stovek metrů, většina tornád se ale pohybuje mezi 100 až 600 metry. Objevují se i velmi úzká tornáda široká jen několik metrů. Druhým extrémem jsou tornáda s šířkou přesahující 1600 metrů. Jedním z největších těchto přírodních úkazů se k Zemi spustilo v Nebrasce, USA s průměrem trychtýře kolem 4 kilometrů. Většina z nich trvá jen několik minut a délka dotyku se Zemí je průměrně 7 kilometrů. Existují ale případy, kdy tornádo urazilo několik stovek kilometrů a trvalo hodiny (Ahrens, 2009, s. 395).

Tornáda se objevují během konvektivních bouří, jejichž základna leží ve spodním patře oblaků typu Cumulonimbus (Cb). Objevují se ve středních zeměpisných šířkách převážně v letních měsících. Vertikální šířka těchto mračen je různorodá, ty největší konvektivní bouře mohou mít vrchol mraku ve výšce i 15 kilometrů nad zemským povrchem. Ostražití musíme být právě při výskytu silných konvektivních bouří, jelikož je doprovází řada nebezpečných meteorologických jevů – přívalové deště, kroupy, silné nárazy větru či ničivá tornáda (Řezáčová, et al., 2007, s. 411).

Obecným označením pro všechny vzdušné víry jsou tromby. Tento vír musí mít přibližně vertikální osu rotace a jejich průměr se pohybuje v řádech několika centimetrů po několik metrů. Trombou jsou všechny atmosférické víry bez ohledu na to, zda se dotýkají povrchu Země a také není brán v potaz mechanismus jejich vzniku. Mohou se vytvořit pod základnou konvektivního oblaku, ale není to vždy podmínkou. Mezi tromby řadíme kondenzační choboty, které nedosahují k zemskému povrchu, vodní smršť a tornáda. Víry se mohou také vyskytnout nad horkým zemským povrchem, tehdy nesou označení jako písečný či prachový vír, rarášek a další (viz sekce 1.3.2. Nesupercelární tornáda). Trombami jsou také požárové nebo sněhové víry (Česká meteorologická společnost, 2017). Tromby se rozdělují na malé a velké tromby. Malé tromby se zpravidla tvoří od zemského povrchu vzhůru nad velmi horkým povrchem a v přehřátém vzduchu. Mohou dosahovat výšek

až několika stovek metrů. Často se objevují na pouštích, které splňují podmínky přehřátého povrchu a vzduchu. Malé tromby můžeme pozorovat také v mírných zeměpisných šířkách v letních měsících. Velké tromby se utvářejí ve vyšších vrstvách atmosféry. Vzniknout mohou nad různými povrchy, jak nad vodní plochou, tak nad pevninou. Jsou vázány na oblak typu Cumulonimbus (Cb) (viz kapitola 1.1 Konvektivní oblačnost). Jakmile dojde k propojení kondenzačního chobotu s povrchem Země, začne nasávat vzduch směrem nahoru včetně pevného materiálu. Takovou trombu označujeme jako tornádo. Tyto ničivé tromby netrvají déle než několik desítek minut. Zanechávají za sebou ale velmi výrazně ohraničenou stopu, v rámci které došlo k devastaci porostu a staveb. Zničený pás může mít šířku až několik stovek metrů a délku až několik kilometrů. Míra ničivosti zpravidla není po celou dobu trvání tornáda stejná, protože se časem mění jeho síla. Může se také dokonce na čas od zemského povrchu zvednout (tehdy dochází k menší devastaci) a následně zesílit a opět se povrchu Země dotknout (Kobzová, 1998, s. 134). Obrovská ničivá schopnost tohoto přírodního úkazu je způsobena rychlostí větru v blízkosti víru, která může dosahovat až 500 km.h^{-1} , a také velkým poklesem tlaku uvnitř tornáda. Zde může atmosférický tlak dosahovat až 800 milibarů, což představuje asi 80 % normálního tlaku na Zemi. Ničivou sílu mají také velké objekty, které se vynesou do vzduchu a jsou vymršťeny po směru větru. Právě tímto způsobem bývá poničena velká část budov, přírodního porostu a lidé jsou kvůli těmto předmětům v přímém ohrožení života (Chapman, 1994).

1.1 Konvektivní oblačnost

Obecně atmosférická konvekce je vertikální pohyb vzduchu v důsledku rozdílných teplot. Vzduch ohřátý od povrchu Země stoupá, a naopak studený vzduch z vyšších výšek klesá. Jakmile se teplý vzduch ochladí, tak se v určité výšce vytvářejí mraky typu Cumulus (Cu), pokud má ale konvekce dostatek síly, vzduch stoupá výše, což má za následek vznik Cumulonimbu (Cb), konvektivního mraku (What is convection?, 2023).

Jak je zmíněno v předchozím odstavci, konvektivní oblačnost může dosahovat výšek několika kilometrů. Tento typ oblačnosti lze rozdělit několika způsoby. Nejdůležitějším dělením, které souvisí s vertikálním rozsahem, je oblačnost srážková a nesrážková. Srážková oblačnost musí dosahovat velkých výšek, protože je spojena s tvorbou ledových krystalů, která zde probíhá. Naopak nesrážková oblačnost má většinou malý vertikální rozsah, často jen několik set metrů a kvůli svému charakteru je označována jako mělká oblačnost. Oproti

tomu srážková konvektivní oblačnost je nazývána hluboká díky svému častému přesahu do spodní stratosféry (Řezáčová, et. al., 2007, s. 412).

Nesrážková oblaka jsou většinou druhu Cumulus (Cu) a bývají součástí mělké oblačnosti a také často představiteli příznivého počasí. Typ Cumulonimbus (Cb) tvoří druhou skupinu oblaků. Představují konvektivní oblačnost, jež je většinou doprovázena nebezpečnými jevy (viz 1. Definice tornád) (Řezáčová, et al., 2007, s. 412).

Cumulonimbus (Cb) je charakteristický svým velkým vertikálním rozsahem a plochým vrcholem ve tvaru kovadliny. Tento vrchol dosahuje výšky několika kilometrů a může sahát až do spodní stratosféry. Spodní část oblaka je tmavá, spojená s vývojem bouří. Způsobují problémy v letectví, jelikož jsou v nich silné výstupné a sestupné proudy vzduchu s rychlostí v řádech desítek m.s^{-1} způsobující silné turbulence. Pojem Cumulonimbus (Cb) byl zaveden německým meteorologem P. Weilbachem na přelomu 70. a 80. let 19. století. Je tvořen dvěma latinskými slovy *cumulus* znamenající „kupa“ a *nimbus* „bouře, příval, oblak“ (Česká meteorologická společnost, 2017). Objevují se ve středních zeměpisných šířkách převážně v letních měsících (Řezáčová, et al., 2007, s. 411).

V meteorologii zpravidla rozlišujeme několik typů bouří. Radíme sem bouře větrné, písečné, sněhové, tropické, ale také konvektivní. Jak je výše zmíněno, konvektivní bouře jsou vázány na oblak typu Cumulonimbus (Cb). Silná konvektivní bouře musí mít několik znaků. Výskyt tornáda, rychlost větru přesahující 25 m.s^{-1} , bleskové povodně či kroupy o průměru alespoň 2 centimetry. Jednoduchá konvektivní bouře je základním typem bouří. Mívá většinou tři stádia vývoje. První stádium jednoduché konvektivní bouře je označováno jako stádium kumulu. V rámci něj existuje pouze vzestupný proud vzduchu. Následuje stádium zralosti, během kterého se objevuje i sestupný proud a jsou přítomny srážky. Životní cyklus je zakončen stádiem rozpadu, při němž se oblak rozpadá v souvislosti s již neexistujícím vzestupným proudem. Většina bouří tohoto typu netrvá déle než 50 minut. Nejsou ale moc běžné a mnohem častěji se vyskytují bouře, které nazýváme multicely. Je to soubor několika jednoduchých bouří v různém stádiu svého životního cyklu a spolu tvoří jeden oblačný systém. Další bouřkové buňky v tomto systému vznikají kvůli tomu, že z původní buňky vytéká studený vzduch, na jehož okraji se vyskytuje tzv. gust fronta (viz kapitola 1.3.1 Supercelární tornáda). Studený a těžký vzduch gust fronty reaguje s okolním teplejším a vlhčím vzduchem, a to dává za vznik dalším vzestupným proudům a také dalším buňkám. Na čele vzniká charakteristický „*shelf cloud*“ (viz Obr. 1: Shelf

cloud). Během přechodu již zmíněné gust fronty pozorujeme rapidní zvýšení rychlosti větru, který se nazývá húlava. Multicely jsou rozměrově velmi velké a průměrně dosahují velikosti i 30 kilometrů. V rámci jedné multicely může existovat několik jednotlivých buněk, které zapříčiňují silnější doprovodné jevy v podobě velmi silných srážek, zvláště pokud se buňky obnovují nad jedním místem, či velké kroupy (Zárybnická, et. al., 2018, s. 80–81).



Obr. 1: Shelf cloud (převzato z *Meteorology Today*, C. D. Ahrens, 2009, s. 376)

V našich krajinách se lidem často pletou pojmy tornáda, hurikány, cyklóny nebo tajfuny. Je to způsobeno tím, že se u nás tyto extrémní jevy (kromě tornád) nevyskytují a docházíme s nimi do styku jen z knih nebo televize (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023). V případě hurikánu, cyklóny a tajfunu se jedná o tropickou cyklónu, jen s jiným regionálním označením. Obecně vznikají nad tropickými oblastmi oceánů, většinou mezi 5° až 20° severní a jižní zeměpisné šířky. Vyvíjí se z tropických poruch, při kterých mimo jiné dochází k organizaci konvektivních bouří. Tropické cyklóny mají 3 stádia vývoje. Prvním je tropická deprese, následuje tropická bouře a třetím stupněm je tropická cyklóna, pro kterou je charakteristické oko v jejím středu. energii získává díky kondenzaci vodní páry nad teplou mořskou hladinou. Jakmile se tropická cyklóna dostane nad pevninu či nad studenější hladinu oceánu, její síla slábne (Česká meteorologická společnost, 2017).

1.1.1 Supercela

Podle C. D. Ahrense (2009) je supercela velká, dlouhotrvající bouře s jedním silným a rotujícím vzestupným proudem vzduchu. Supercely vznikají za velmi specifických podmínek a je to nejsilnější typ bouře. Zvláštní na nich je, že jsou tvořeny jednou buňkou, ale na rozdíl od klasické jednobuňkové bouřky, které zpravidla netrvají déle než 50 minut, trvají i několik hodin. Dlouhá doba trvání je způsobena tím, že se buňka neustále obnovuje díky přítomnosti silného, stoupajícího, rotujícího proudu vzduchu, jehož rychlost může dosahovat až 60 m.s^{-1} . Tento typ bouře vzniká v místech se silným vertikálním stříhem větru, tedy tam, kde se s narůstající výškou mění rychlost a směr větru. Stříh větru je potřebný k tomu, aby se bouře roztočila. Důležitý je i velký pokles teploty vzduchu se zvyšující se nadmořskou výškou (Zárybnická, 2018, s. 81). Abychom mohli bouři označit jako supercelu, musí být přítomna mezocyklóna, tedy oblast nízkého tlaku vzduchu, jehož rozměr je podobný jako horizontální velikost oblaku (Řezáčová, et al., 2007, s. 431). Bouře supercelárního typu jsou schopny produkovat silné větry na zemském povrchu a velká, ničivá tornáda. Rotační vzestupný proud má často na svědomí vznik tornád. Kroupy jsou dalším úkazem objevujícím se u supercel. Prudké větry je udržují déle v mracích, kde nabírají na velikosti, mnohdy až velikosti pomerančů. Později padají vlivem sestupného vzdušného proudu nebo jsou vymrštěny z boku konvektivního oblaku působením rotujících vzdušných proudů. V některých případech může vrchol tohoto typu bouře dosahovat výšky až 18 kilometrů a délky přes 40 kilometrů. Meteorologové rozlišují 3 typy supercel. Pro klasickou supercelu „*Classic supercell*“ (CL) jsou typické extrémní projevy počasí jako hustý déšť, velké kroupy, silné povrchové větry a většina tornád je formována právě při tomto typu (Ahrens, 2009, s. 381–382). Klasické supercely jsou dobře detekovatelné jak vizuálně, tak radarově a jsou zodpovědné za vznik těch nejsilnějších tornád (kategorie EF4 a EF5). Dalším typem je supercela s extrémně hustými srážkami „*High precipitation*“ (HP), které jsou charakteristické velmi silnými sestupnými proudy vzduchu (tzv. downburst) a bleskovými záplavami. Pro tento typ supercel jsou typické velké úhrny srážek a zároveň jsou také nejčastějším typem supercelární bouře. Během nich dochází k extrémním projevům počasí jako vznik tornád a bleskových povodní. Rotaci nelze tak dobře spatřit, jelikož supercely typu HP vznikají ve vlhkém prostředí obklopené další oblačností (Doswell, 1993, s. 162). Tornádo je v tomto případě složité spatřit, protože se nachází v oblasti s hustými srážkami. Třetím typem jsou supercely s nízkými srážkami „*Low precipitation*“ (LP) (Ahrens, 2009, s. 382). Supercely s nízkými srážkami zpravidla

vznikají v sušším prostředí. Proto je lze také dobře spatřit, jelikož se většinou kolem nenachází další oblačnost kvůli nízké vzdušné vlhkosti. U tohoto typu supercely je velmi dobře pozorovatelná rotace oblačnosti. LP supercely většinou tornáda neprodukují a nejsou tak silné jako ostatní druhy tohoto typu bouře. Supercely se mohou postupně vyvíjet. Může začít jako supercela s nízkou mírou dešťových srážek, ale postupně se zařadí svým charakterem mezi supercely klasické. Stejně tak klasická supercela se může přetvořit v supercelu s vysokým úhrnem srážek (Doswell, 1993, s. 162).

Na supercelách lze pozorovat stáčení doprava od středního směru větru, mohou se ale ukázat také bouře stáčejí se doleva. Uvnitř supercely se nachází mezocyklóna, kterou lze dobře detekovat pomocí dopplerovských radarů¹. Oblast rotace se většinou nachází na jihozápadním okraji bouře (Řezáčová, et al., 2007, s. 431).

1.2 Životní cyklus tornáda

Většina tornád prochází během své existence několika fázemi. C. Donald Ahrens a Robert Hensons v knize *Meteorology today* (2009, s. 395–396) dělí život tornád do pěti fází. Tou první je stádium prachového víru, kdy se ze země začínají zvedat prachové částice rotujícím pohybem a často se objevuje trychtýř, jež se rozšiřuje od základny bouře k zemi. Během této fáze nedochází k větším škodám na majetku a přírodě. Následuje organizační fáze „*organizing stage*“. V této části životního cyklu tornádo nabírá na síle a trychtýř je protažen až k povrchu Země. Tornádo dosahuje největší velikosti a síly ve fázi zralosti. Trychtýř je téměř kolmý s povrchem a působí největší škody, zároveň je kondenzační chobot propojen s prachovým vírem, pokud je přítomen. Předposlední je stádium smršťování, při kterém dochází ke zmenšování šířky tornáda a narůstá jeho náklon vůči povrchu a celkově se snižuje jeho síla. I přesto, že se jedná o fázi, kdy se tornádo zmenšuje, může stále napáchat velké škody. Posledním stádiem je rozpad, během něhož je tornádo velmi zúženo a obvykle se jeví jako tenký, zkroucený provaz před tím, než úplně zmizí. V angličtině je tento lanový charakter podle Řezáčové, et. al. (2007, s. 463) označován jako „*rope*.“ Většina tornád kopíruje fáze popsány výše. Není to ale podmínkou a některá tornáda

¹ Umožňuje určit místo a strukturu nebezpečných meteorologických jevů a lze s nimi změřit velikost kapalných a pevných částic v atmosféře a také rychlost a směr jejich pohybu (Česká meteorologická společnost, 2017).

se vyvinou jen do fáze organizace, některá dokonce přeskočí stádium zralosti a rovnou zaniknou (Ahrens, 2009, s. 396).

1.3 Dělení tornád

Zpravidla lze tornáda rozdělit na dva základní typy. Prvním typem jsou supercelární tornáda, která vznikají v supercelárních bouřích (viz 1.1.1 Supercela). Druhým typem jsou nesupercelární tornáda. Ty se vyvíjejí bez přítomnosti supercely a nemají vazbu na mezocyklónu (Řezáčová, et. al, 2007, s. 465).

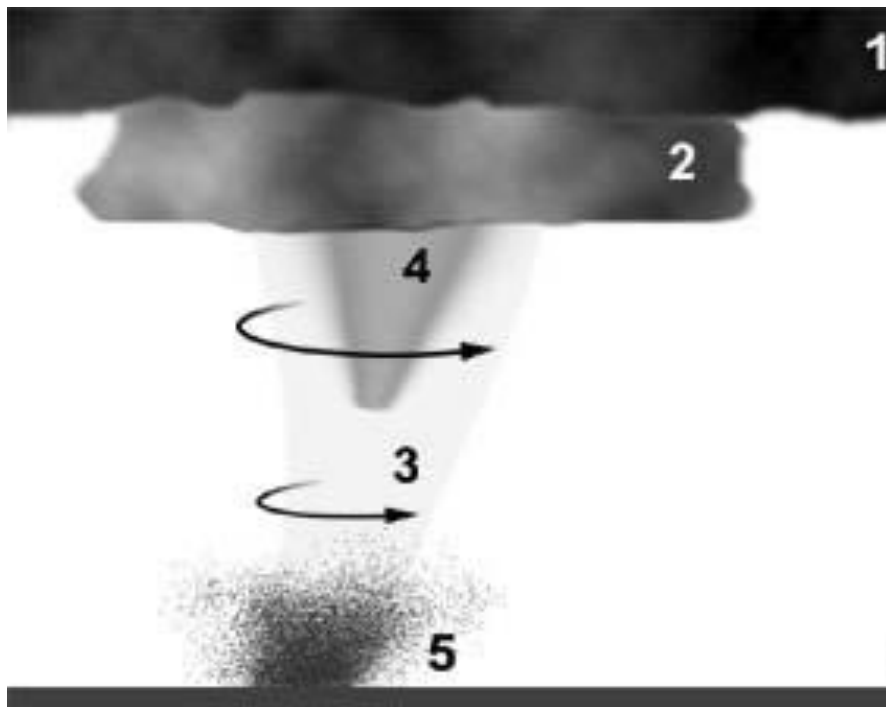
1.3.1 Supercelární tornáda

Nejsilnější tornáda, která se na Zemi kdy vyskytla byla právě supercelárního původu. Jedná se o kategorie F4 a F5, někdy i F3. Můžeme tedy říct, že jde o jeden z nejničivějších projevů konvektivních bouří. Přejít bouře do tornádické části je velmi rychlý a většinou trvá jen zhruba 10 minut, přitom vývoj celé bouře mohl probíhat i několik hodin (Řezáčová, et. al, 2007, s. 465).

První známkou toho, že by ze supercely mohlo vzniknout tornádo, je rotace mraků. Pokud se rotující část mraků přesune do nižší nadmořské výšky, stane se z ní „*wall cloud*“ ve tvaru klínu (Ahrens, 2009, s. 403), který je tvořen teplým vzduchem proudícím do bouře ve spodních hladinách (Řezáčová, et al., 2007). Jedná se o místní snížení části základny supercely o velikosti asi jeden kilometr. Nasávaný vzduch poté kondenzuje v nižší výšce a vytváří tak zřetelnou strukturu pod původní základnou mraku. Právě z této části se tornáda nejčastěji spouští k povrchu. Jak vzduch stoupá vlivem rotujícího vzestupného proudu, tak se ochlazuje a pokud je dostatečně vlhký, kondenzuje. Vzniká tzv. „*funnel cloud*“, který je pro tornáda charakteristický (Česká meteorologická společnost, 2017). Podle (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023) se v češtině pro „*funnel cloud*“ používají výrazy kondenzační chobot nebo nálevka či trychtýř. Může se ale také stát, že vzduch není dosti vlhký a nezkondenzuje. Trychtýř se tedy objeví až po tom, co se dotkne povrchu a začne nasávat prach, který jej v tomto případě tvoří (Ahrens, 2009).

Pouze asi 15 % supercel produkuje tornáda. Vyšší pravděpodobnost výskytu tornáda v rámci supercely je často způsobena již dříve existující atmosférickou situací, například starou gust frontou, při níž dochází k horizontální rotaci vzduchu, která je silným vzestupným proudem nakloněna a zvednuta a stane se tak součástí bouře (Ahrens, 2009, s. 403). Není ale podmínkou, že se ukáže právě tornádo v důsledku staré gust fronty.

Může se objevit pouze slabá tromba, která tvarem tornádo připomíná, ale není spojena se základnou oblaků konvektivní bouře (Česká meteorologická společnost, 2017).



Obr. 2: Schéma tornáda (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023).

Obrázek ukazuje schéma supercelárního tornáda a jeho části. 1. spodní základna oblačnosti bouře. Z této rotující spodní základny konvektivní bouře se spouští k povrchu tornádo tvořeno zvířeným prachem a zkondenzovanou vzdušnou vlhkostí. 2. pomalu rotující „wall cloud“ jehož popis je obsažen v části 1.3.1 Supercelární tornáda. 3. rychle rotující vlastní tornádo, jehož rotace je zpravidla cyklonální, tedy jak naznačují šipky na obrázku č. 2. Výjimkou nejsou ale ani anticyklonální tornáda. 4. kondenzační chobot, který je většinou zviditelněný unášeným prachem a troskami či zkondenzovanou vodní párou, k čemuž dochází kvůli rychlé rotaci a náhlému poklesu tlaku vzduchu uvnitř tornáda. Může se také stát, že zmíněný kondenzační chobot je zcela zahalen prachem a troskami, a tudíž není patrná kondenzace vodní páry. Kondenzace ale není vždy podmínkou. Nemusí se objevit, pokud je vlhkost vzduchu příliš nízká, a tedy je tvořeno pouze unášeným pevným materiálem. 5. prach a trosky, vířící nad zemským povrchem, které velmi dobře tornádo zviditelňují (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023).

V okrajových částech větších tornád se mohou vyskytnout tzv. sekundární savé víry. Tyto rozměrově menší, ale potencionálně velmi ničivé víry, trvají jen několik sekund

až minut a zemského povrchu se dotýkají jen velmi krátce (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023). Je těžké je spatřit, protože jsou většinou ukryté v prachovém mraku obklopující základnu hlavního tornáda, což zvyšuje jejich nebezpečnost. Rotují mnohem rychleji než tornádo, které obklopují a rychlost větru kolem savých vírů může přesahovat rychlost větru v mateřském tornádu o více jak 100 km.h^{-1} . Trvají jen krátce a jen zřídka kdy dokončí jeden savý vír otočku kolem celého obíhaného tornáda (Allaby, 2004, s. 86). Průměr savých vírů se pohybuje od 0,5 metru, ale nepřesahuje 50 metrů. Mohou mít buď stálou polohu nebo obíhají své mateřské tornádo. Následná stopa tornáda je velmi složitá a přítomnost savých vírů lze určit z několika úzkých stop, u kterých je patrná největší destrukce v rámci celé stopy (Řezáčová, et. al., 2007, s. 469). Důkaz o savých vírech je možné zjistit z následné analýzy způsobených škod. Jelikož je stopa těchto vírů velmi úzká, může se stát, že jsou některé domy velmi poničené, zatímco dům vedle je bez větších škod (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023). Dalším důkazem přítomnosti sekundárních savých vírů je poničení pouze části domu, přičemž druhá polovina je téměř netknutá. (Allaby, 2004, s. 87).

1.3.2 Nesupercelární tornáda

Většina tornád je vázána na supercelární bouři a mezocyklónu, která se nachází uvnitř bouře, avšak vyskytují se i taková, která ke svému vzniku supercelu nepotřebují. Hovoříme pak o nesupercelárních nebo nemezocyklónových tornádech. Jsou menší než obvyklá supercelární tornáda a nejsou ani tak silná, i přesto ale mají dostatek síly na to ničit majetek. Někdy nesou označení „*landspouts*“ (Allaby, 2004, s. 68), které podle České meteorologické společnosti (2017) vzniklo jako analogie ke slovu „*waterspout*,“ neboli vodní smršť. Nemezocyklonální tornáda rostou od povrchu Země vzhůru do bouřkového mraku, na rozdíl od klasických tornád, která se spouštějí z bouře směrem dolů. Tento typ tornád většinou začíná jako malé víření na povrchu podobné tzv. raráškům, tedy prachovým nebo písečným vírům. Vznikají jako následek konvergence vzduchu a následného vzniku vzestupného proudu, jež proniká do neustále rostoucího oblaku, který ještě nedosáhl zralého stádia bouře. Víř se tedy protahuje až k mraku, dokud nedojde k jejich propojení. Jelikož bouře nedosáhla svého nejsilnějšího stádia, během kterého nejvíce prší a vzduch je nejvlhčí, tornádu se obvykle nevytvoří charakteristický kondenzační chobot nebo se vytvoří velmi nevýrazný a úzký. Většinou jsou tato tornáda tvořena sesbíraným prachem z povrchu (Allaby, 2004, s. 68).

1.3.3 Vodní smrště

Vodní smršť je rotující sloupec vzduchu, který je spojený s kupovitým oblakem nad ním. Vyskytují se nad velkými vodními plochami. Vodní smršť může být také tornádo, jež původně nevzniklo nad vodní hladinou, avšak se nad ní v průběhu svého životního cyklu dostalo. V takovém případě se vodní o smršti mluví jako o tornádické a jsou velmi nebezpečné pro plavidla, především pokud se jedná o supercelární typ. Vodní smrště, které nejsou vázané na supercelu se vyskytují většinou nad teplou vodou tropických oblastí. Často jsou označovány jako „*fair weather waterspouts*“, tedy tvořící se za pěkného počasí. Tento typ je mnohem menší než klasické tornádo a jejich šířka zpravidla nedosahuje více než 100 metrů. Většinou se průměr trychtýře pohybuje od 3 do 100 metrů. Jsou mnohem slabší a vítr při nich nedosahuje více než 80 km.h^{-1} , pohybují se pomaleji a netrvají více než 15 minut (Ahrens, 2009, s. 406). Trychtýř v případě vodních smrští neobsahuje prach a další pevný materiál, a tak se jeví jako bílé tornádo, protože obsahuje jenom vodu. Spodní část vodní smrště neboli „*spray ring*“ je tvořen nasátou vodou, zbytek zkondenzovanou vodou. Častěji se objevují blíže ke břehu, protože je zde mělká voda, čímž dochází k lepšímu prohrátí, což je potřeba ke vzniku tohoto přírodního úkazu (Allaby, 2004, s. 108–109).

2. Měření rychlosti větru

Rychlost větru v tornádech je velmi rozmanitá. Začíná na přibližně 17 m.s^{-1} a horní hranice není stanovena přesně, protože je složité ji zjistit pouze z měření. V současnosti existují dvě stupnice, které rozdělují tornáda do několika kategorií podle různých kritérií. Nejčastěji používanou stupnicí je Fujitova stupnice nebo také F-stupnice, případně anglicky F-scale. Druhou stupnicí je stupnice TORRO, zkratka anglického „*tornado and storm research organization*“, neboli T-stupnice či T-scale. Největší rozdíl mezi nimi je způsob, jakým se tornáda do kategorií rozdělují. Fujitova stupnice se kromě rychlosti větru soustředí také na rozsah škod tornádem způsobený. Stupnice TORRO tornáda rozděluje jen podle rychlosti větru, kterou je ale složité určit, a tak se také většinou odvolává na rozsah způsobených škod (Řezáčová, et. al., 2007, s. 461).

2.1 Fujitova stupnice (F-stupnice, F-scale)

Fujitovu stupnici sestavil začátkem 70. let minulého století expert na tornáda T. Theodore Fujita. Motivací pro něj bylo rostoucí zmatení mezi lidmi, jak silná tornáda se kde vyskytují. Také rychle rozvíjející se jaderný průmysl potřeboval odolné budovy, aby nedošlo ke katastrofě v souvislosti s tornádem. Byla potřeba databáze tornád, místa výskytu, a především jejich síla, aby mohly budovy přizpůsobit svoji konstrukci. Při sestavování byla stupnice aplikována na tornáda v minulosti a vycházela z popisů škod. T. Theodore Fujita čerpal ze 3letého pozorování tornád, při kterém zjistil, že ne všechna tornáda jsou velká a silná. Také se lišila míra ničivosti a to tak, že některá tornáda během svého krátkého života zničila pouze stavby se špatnou konstrukcí, zatímco některá zničila i velmi odolné budovy. V roce 1971 vydal T. Theodore Fujita studii, ve které popisuje tornáda, jejich intenzitu a také stupnici – Fujitovu stupnici. Obsahovala 6 kategorií (F0–F5), kde F0 představuje nejslabší tornáda, která nepůsobí žádné nebo jen velmi lehké škody (větry o rychlostech $17\text{--}32 \text{ m.s}^{-1}$), a F5, tedy nejsilnější možné tornádo (větry o rychlostech vyšších než 120 m.s^{-1}) (McDonald, 2001). Rychlost větru je pouze orientační a odvozena na základě působení tlaku na různé materiály, stavby a konstrukce. Limitem stupnice je tedy fakt, že je stavěná na stavební poměry v USA a Kanadě, které jsou v mnoha oblastech velmi odlišné od těch v Evropě a dalších částech světa. Je tedy poněkud složité ji přesně aplikovat na situaci v Evropě (Řezáčová, et. al, 2007, s. 461).

Existuje několik typů budov, liší se jejich konstrukce, pevnost, a ne všechna tornáda se vyskytují v zastavěné oblasti. Z toho důvodu se od roku 2007 používá tzv. rozšířená

Fujitova stupnice neboli EF-stupnice. Tato aktualizovaná verze původní Fujitovy stupnice z roku 1971 se řídí širokou škálou kritérií, která se berou v potaz při stanovování síly tornáda. Používá se 28 indikátorů, díky kterým lze tornádo přesněji charakterizovat. Rozlišuje se například, zda byly kromě obytných domů poničené také školy, stodoly, mobilní domy nebo stromy a další. Kombinací těchto indikátorů a stupně poničení lze určit pravděpodobnou rychlost větru. Podle rozšířené Fujitovy stupnice tornádo kategorie EF0 způsobuje pouze nepatrné známky poškození, naproti tomu tornádo síly EF5 je nejničivější a demoluje vše, včetně základů domů. Aby byla stanovena kategorie, musí být provedena analýza zničené oblasti. Může se totiž stát, že byl kompletně srovnán se zemí dům, ale tornádo bylo zařazeno do kategorie EF4. Je to dáno tím, že kvalitně postavený dům stejné tornádo nemuselo zdemolovat, ale jen poškodit. Na poškození jsou velmi náchylné například mobilní domky. Během svého životního cyklu může vzdušný vír svoji sílu měnit. Je tedy možné, že na některém místě dosahuje síly EF2 a jinde EF4, poté je prezentováno jako tornádo o síle EF4, jelikož se bere v potaz fáze, kdy bylo nejsilnější (Ahrens, 2009, s. 422).

Tab. 1: Fujitova stupnice, doplněna o stupnici TORRO v závorkách (Řezáčová, et. al., 2007, s. 462, upraveno)

Kategorie	Rychlost větru	Popis potencionálních škod
F0 (T0, T1)	17–32 m.s ⁻¹	Lehké škody – nahodile zbořené komíny a dřevěné ploty; drobné škody na střešní krytině; poškozené reklamy a dopravní značky vedle silnic; ulámané větve stromů, sporadicky vyvráceny stromy s mělkými kořeny; na polích již patrná stopa tornáda.
F1 (T2, T3)	33–51 m.s ⁻¹	Mírné škody – částečně poničená krytina střech; jedoucí automobily vytlačeny ze silnice, různé stavební buňky posunuty ze základů, převráceny či silně poškozeny, chatrnější stavby (kůlny, plechové garáže, plechové haly) těžce poničeny až zcela zničeny; sporadicky vyvráceny či přelomeny větší stromy s pevnějšími kořeny.
F2 (T4, T5)	52–72 m.s ⁻¹	Středně těžké škody – zcela utrhány střechy z hůře postavených budov; mobilní buňky a chatrnější stavení zcela zničena; u bytelnějších staveb boční a čelní stěny ještě vážněji nepoškozeny; lehčí auta nadnášena; vznik "projektilů" z lehčích, malých trosek; většina izolovaně rostoucích velkých stromů vyvrácena nebo přelámána.
F3 (T6, T7)	73–95 m.s ⁻¹	Značné škody – střechy a některé stěny zcela utrženy od konstrukce dobře postavených budov; těžší auta nadnášena; převrácené vlaky či lokomotivy; většina stromů v souvislém lese vyvrácena nebo ulámána, stojící stromy či pahýly stromů částečně zbaveny kůry létajícími troskami.
F4 (T8, T9)	96–120 m.s ⁻¹	Těžké škody – železobetonové budovy významně poškozeny, zděné (cihlové) a kamenné budovy těžce (většinou neopravitelně) poškozeny, méně pevné budovy zcela srovnány se zemí, trosky nejchatrnějších budov rozptýleny do značné vzdálenosti od svých základů; auta unášena vzduchem (těsně nad zemí) nebo rolována na velké vzdálenosti; vznik velkých a těžkých "projektilů" z létajících trosek; pahýly stromů zcela zbaveny kůry.
F5 (T10)	120 m.s ⁻¹ a více	Totální zkáza – železobetonové budovy těžce poškozeny, ostatní budovy zcela zničeny; zpevněné nezděné budovy přeneseny před totálním zničením do značné vzdálenosti; automobily přenášeny vzduchem jako "projektily" na značné vzdálenosti; pole zcela zbavena vegetace (úrody) - ta převážně vytrhána i s kořeny.

2.2 Mezinárodní Fujitova stupnice (International Fujita Scale, IF-Scale)

V roce 2018 byla představena nová Mezinárodní Fujitova stupnice. Evropské laboratoři zabývající se silnými bouřemi (ESSL) byl představen návrh IF-stupnice týmem Pietera Groenemeijera. Prozatím existuje jen koncept stupnice a oficiálně se nepoužívá. Nová 12stupňová stupnice počítá s mnohem více kritérii, podle kterých se budou tornáda zařazovat do kategorií, tudíž ji lze mnohem efektivněji aplikovat na celém světě. Zásadním rozdílem od EF-stupnice je ten, že IF-stupnice nerozlišuje budovy podle jejich funkce, ale podle robustnosti stavby. Na národní úrovni lze předpokládat, že budovy stejného typu mohou mít podobnou konstrukci, tohle nelze aplikovat na mezinárodní úroveň. Zároveň je Mezinárodní Fujitova stupnice plně kompatibilní s předchozími stupnicemi. Vychází totiž z již stanovené rychlosti větru pro každou kategorii. IF-stupnice používá středovou hodnotu daného rozmezí rychlostí každé kategorie EF-stupnice. Lze tedy říct, že tornádo o síle IF3 odpovídá středové rychlosti větru tornádu EF3 (Groenemeijer, 2018). Pieter Groenemeijer a spol. provedli výzkum tornáda na jižní Moravě a při stanovování kategorie tornáda se pokusili aplikovat novou Mezinárodní Fujitovu stupnici (Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021, 2021).

2.3 Stupnice TORRO

Stupnice TORRO, T-Scale nebo T-stupnice, je druhou používanou stupnicí pro kategorizaci tornád vedle Fujitovy stupnice (Řezáčová, et. al., 2007, s. 461). Mezinárodní stupnici intenzity tornád (*z anglického The International Tornado Intensity Scale*) navrhl v roce 1972 doktor G. Terence Meaden. Zabýval se výzkumem tornád ve Velké Británii, jejich výskytem, silou a analyzoval zničené stopy, které tornáda za sebou zanechávají. Stupnice TORRO rozděluje tornáda do 11 stupňů intenzity (T0–T10). T-stupnice přímo vychází z Beaufortovy stupnice², kterou roku 1805 navrhl Sir Francis Beaufort. Stupněm T0 jsou označena pouze tornáda, která přešla přes lehce zranitelná místa, avšak tato místa zůstala nepoškozená. Někdy tornádo není zařazeno do žádné kategorie z toho důvodu, že nejsou k dispozici žádné informace týkající se míry ničení či další hodnotící informace. Zvláště jsou hodnocena tornáda pohybující se velmi pomalu.

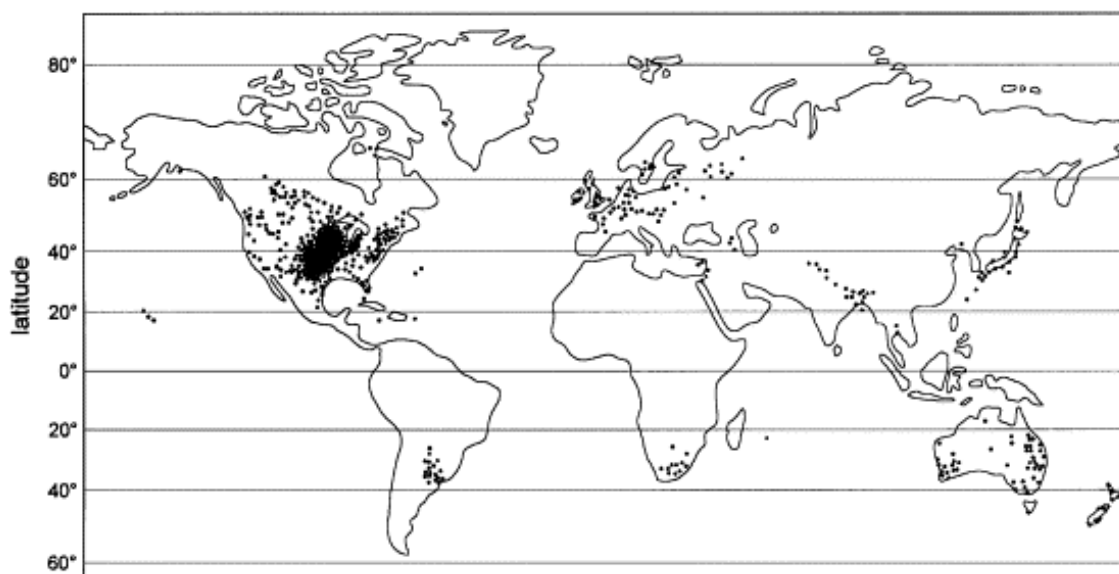
² Beaufortova stupnice je dnes tvořena 13 stupni větru (0 až 12), přičemž každý stupeň má svůj název, například stupeň 0 je bezvětří a stupeň 12 orkán (Česká meteorologická společnost, 2017).

Tato tornáda totiž způsobí větší poškození než tornádo pohybující se rychle při stejné rychlosti větru (The Tornado and Storm Research Organisation, 2023).

Tab. 2: Mezinárodní stupnice intenzity tornád – TORRO stupnice (The Tornado and Storm Research Organisation, 2023), přeloženo z angl. jazyka.

Kategorie	Síla tornáda a rychlost větru
0	Slabé tornádo 17–24 m.s ⁻¹
1	Mírné tornádo 25–32 m.s ⁻¹
2	Středně silné tornádo 33–41 m.s ⁻¹
3	Silné tornádo 42–51 m.s ⁻¹
4	Velmi silné tornádo 52–61 m.s ⁻¹
5	Intenzivní tornádo 62–72 m.s ⁻¹
6	Mírně devastující tornádo 73–83 m.s ⁻¹
7	Silně devastující tornádo 84–95 m.s ⁻¹
8	Velmi silně devastující tornádo 96–107 m.s ⁻¹
9	Intenzivně devastující tornádo 108–120 m.s ⁻¹
10	Supertornádo 121–134 m.s ⁻¹

3. Výskyt tornád



Obr. 3: Mapa výskytu tornád na celém světě (Goliger, 1998).

Většina tornád, která v průběhu roku zaznamenáme, se vyskytují v USA v oblasti zvané „Tornado Alley.“ Silná tornáda se ale neobjevují pouze na území Spojených států amerických, ale i v Africe, Asii, Austrálii, Evropě a Jižní Americe. Na asijském kontinentu se objevují nebezpečná tornáda v Bangladéši v souvislosti s tropickými cyklóny, které se tvoří nad Bengálským zálivem a postupují směrem na sever na pobřeží Bangladéše. Další tornádické bouře se vyskytují na východním pobřeží Jihoafrické republiky. V případě Afriky se může zdát, že se zde tento přírodní jev nevyskytuje, je to způsobeno chybějícími hlášeními o jejich výskytu, ale i zde se tornáda vyskytují (Allaby, 2004, s. 115).

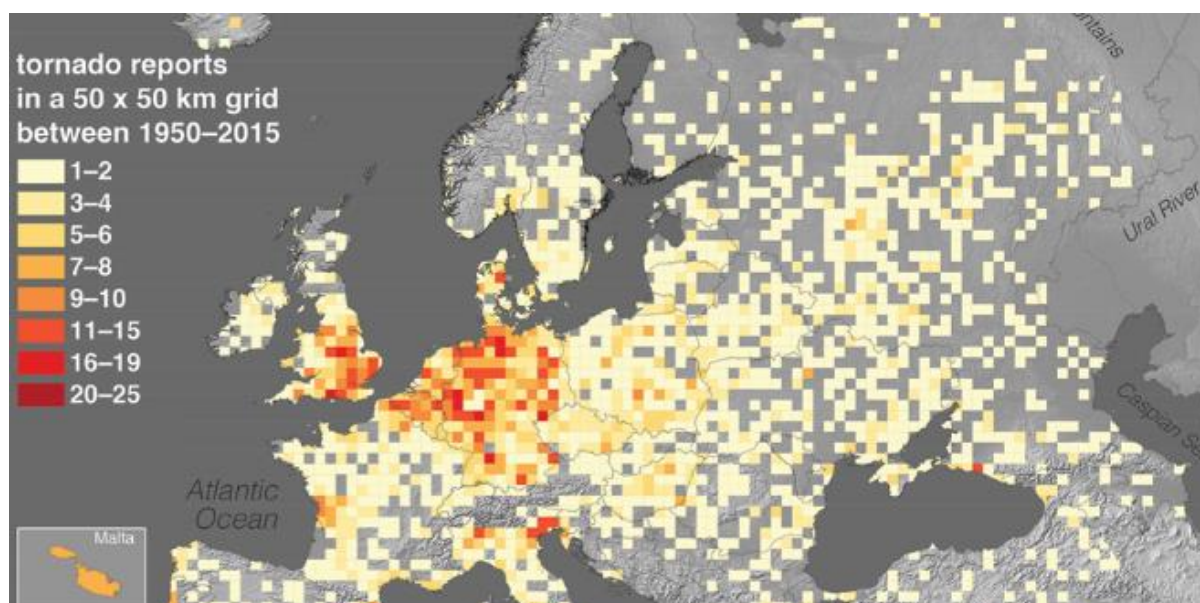
3.1 Tornado Alley v USA

Tornado Alley je oblast v USA, kde se ročně vytvoří největší počet tornád na Zemi. Zasahuje do států Texas, Oklahoma, Kansas, Nebraska a Iowa (Bluestein, 2013, s. 326). Výskyt tornád ale není omezen pouze na tyto státy. Objevují se prakticky v každém státě v USA včetně Aljašky a Havaje (Ahrens, 2009, s. 396). Nejlepší podmínky pro vznik supercel a potencionálních tornád je během jara, kdy do Tornado Alley proudí vlhký a teplý vzduch z Mexického zálivu a střih větru je dostatečně silný na to, aby podpořil vznik supercel (Bluestein, 2013, s. 326, 328). Teplý a vlhký vzduch je překryt studenějším a sušším ve vyšších výškách, což má za následek nestabilní prostředí. Silný střih větru pak způsobí

přesun teplého, vlhkého vzduchu do větších výšek, což podpoří vznik silných supercelárních bouří, během kterých se objevují velmi silná tornáda. V průběhu roku se zde ukáže více než 1000 tornád, nejvíce během jara a nejméně v zimě. Co se týká konkrétního denního času výskytu, tak nejčastěji se tvoří později odpoledne mezi 16. až 18. hodinou, kdy je vzduch na povrchu nejvíce nestabilní. Nejméně často se vyskytují brzy ráno. V současnosti existuje rekord v počtu zaznamenaných tornád z roku 2004, kdy se zde vytvořilo 1772 větrných vírů (Ahrens, 2009, s. 396–397).

3.2 Evropa

Evropané se často domnívají, že se v jejich oblasti tornáda vyskytnout nemohou. Většinu informací o nich znají z amerických zdrojů a někteří si dokonce myslí, že jde čistě o americký fenomén. Opak je ale pravdou (Allaby, 2004, s. 129). Mezi lety 1950 a 2015 se ve 47 evropských zemích vyskytlo 5478 tornád. Třetina všech evropských tornád byla zaznamenána nad většinou centrální a západní Evropy, především nad Spojeným královstvím, Belgií, Nizozemskem, Německem, Dánskem a Českou republikou. Nejvíce zaznamenaných případů pochází z Belgie, Německa a Nizozemí, což je pravděpodobně způsobeno vysokou hustotou osídlení a také příznivými podmínkami pro vznik konvektivní oblačnosti. V jižní části Evropy je zvýšený počet výskytu tornád na pobřeží Itálie a Španělska, kde se objevují také vodní smršť pohybuující se směrem od Středozemního moře nad pevninu, a dále také Malta a Kypr (Antonescu, 2017, s. 713–715).



Obr. 4: Počet nahlášených tornád nad Evropou na mřížce 50 x 50 km v letech 1950–2015 (Antonescu, et. al. 2017, s. 715).

V posledních letech je tomuto přírodnímu fenoménu věnováno čím dál více pozornosti. Je to způsobeno tím, že se silná tornáda ukázala i na místech, kde je to velmi vzácné. Nejsilnější tornádo a také tornádo s největším počtem obětí v Evropě od roku 2001 se objevilo v České republice na jižní Moravě 24. června roku 2021. Doposud se nepočítalo s tím, že by se ve střední Evropě mohla tak silná tornáda vyskytnout. Obyvatelé spíše než s tornády počítali s jinými katastrofami jako povodněmi nebo silným větrem nezpůsobený tornádem. Ve světě je to velmi často připisováno změně globálního klimatu. Není to ale potvrzeno, jelikož tornáda zde byla vždy a objevují se také v chladných oblastech. Důkazy o jejich výskytu nalézáme například v historických kronikách z relativně dávné historie (Kurilovska, 2021, s. 157, 160). Je velice těžké určit, zda jsou tornáda spojena s globálním oteplováním. V USA je pozorován každoroční vzestup počtu tornád, je ale velmi pozvolný. Je to pravděpodobně způsobeno neustále zlepšující se technikou používanou pro detekci tornád, zvyšujícím se počtem tzv. lovců bouří anebo šířením povědomí o nebezpečnosti tohoto jevu. Dokonce zaznamenáváme snížení počtu těch nejsilnějších tornád v posledních 50 letech. Příčinou je pravděpodobně nadhodnocování síly tornád v minulosti. Trendy týkající se síly tornád jsou komplikovány vyhodnocováním jednotlivých tornád, při kterých se bere v potaz kudy procházelo, přítomnost staveb (konkrétně jejich stav před a po tornádu), množství vegetace a další aspekty. Změny klimatu ale ovlivňují počet silných bouří. Bouře, při které se vyvine tornádo, vzniká za zcela specifických podmínek, jedná se především o vertikální stříh větru a vyšší hodnoty CAPE (z anglického *convective available potential energy*). Právě hodnoty CAPE jsou potencionálně globálním oteplováním ovlivněny kvůli rostoucí teplotě a vlhkosti v atmosféře. Není tedy přímo dokázáno, že by globální oteplování způsobovalo vyšší výskyt tornád, ale podmínky, které k nim vést mohou, jsou změnou klimatu ovlivněny (Diffenbaugh, 2008, s. 553–554).

4. Vybrané rozvojové země/regiony

4.1 Bangladéš

Bangladéš, země nacházející se v jižní Asii, je 8. nejlidnatější zemí světa s počtem obyvatel 165 650 475 v roce 2022 a rozlohou 148 460 km² se řadí mezi 100 největších států (94. místo). Hlavní město Bangladéše je Dháka, v němž žije zhruba 23 milionů obyvatel. Leží na pobřeží Bengálského zálivu a je v podstatě celá obklopená Indií až na krátkou jihovýchodní hranici, kterou sdílí s Myanmarem. Státem protékají dva veletoky Brahmaputra a Ganga, které se stékají a tvoří deltu. V deltě se nachází národní park Sundarbans, který je zapsaný na seznamu světového dědictví (The World Factbook, 2023).

4.1.1 Tornáda v Bangladéši

V Bangladéši jsou tornáda poměrně častá. Většinou se objevují v tzv. před-monzunovém období mezi březnem a červnem, převážně v dubnu (Alam, 2005). V tomto ročním období jsou podmínky pro vznik silných bouří a potencionálně tornád relativně dobré. Směrem od Bengálského zálivu totiž proudí vlhký vzduch a z opačného směru, tedy z Indie, teplý a suchý vzduch. Přítomné je i silnější proudění ve středních a vyšších výškách, což podporuje vertikální stříh větru (Bikos, 2016). Bangladéš a severovýchodní Indie jsou velmi zranitelné co se týká přírodních katastrof, a právě silné lokální konvektivní bouře (SLCS – z anglického *severe local convective storms*) jsou velkým nebezpečím od března do června. Při těchto bouřích, kterým se lokálně říká „Nor’wester“ (v bengálštině – Kalbaishakhi) se objevuje silný nárazový vítr, vysoké úhrny srážek a kroupy, což způsobuje problémy zvláště po dlouhém, suchém období, a také tornáda. Každoročně způsobí tyto bouře více úmrtí než kdekoli jinde na světě. Při nich v Bangladéši ročně zemře více než 100 lidí. Centrální část Bangladéše je nejpravděpodobnějším místem pro vznik silných bouří, jichž se za rok objeví zhruba 145. Celkově se dá říct, že je tato problematika málo prozkoumaná. Je to způsobeno především nedostatkem dat v oblasti. V Bangladéši je velmi málo pozemních meteorologických stanic, jen 4 radary, které nefungují nonstop a pouze jedna sonda na prozkoumávání vyšších částí atmosféry nacházející se v hlavním městě, tzv. *upper air sounding*. To vše tedy zabraňuje lepšímu pochopení bouří vyskytujících se nad Bangladéšem. Tornádická bouře se objevila například 22. března 2013 v regionu Brahmanbaria. Bouře vzala 36 životů, způsobila 388 zranění a obrovskou devastaci majetku lidí. Stopa tornáda byla dlouho 12–15 kilometrů a táhla

se přes 22 vesnic. Šířka byla zhruba 100 až 150 metrů a toto konkrétní tornádo bylo označeno jako EF2 na Fujitově stupnici (Akter, 2014).

Bangladéš se během roku potýká i s hurikány. Ty se objevují v před-monzunovém (březen–květen) a po-monzunovém (říjen–listopad) období. Cyklóny, jak se v této části světa hurikánům říká, putují směrem z Bengálského zálivu, tudíž sužují pobřeží Bangladéše. Za posledních zhruba 60 let zemřelo v důsledku hurikánů v Bangladéši několik set tisíc lidí (Haque, 2012). Dokonce ale i hurikány mohou produkovat tornáda. Ty pravděpodobně vznikají kvůli rozvoji rozsáhlého vertikálního stříhu větru a nestability nad zemí. Většina tornád vzniklých během tropických cyklón se ukázalo do 100 kilometrů od pobřeží během prvních 12 hodin po střetu hurikánu s pevninou. Jsou ale i případy, kdy se tornádo objevilo i dál od pobřeží a několik dní po zásahu cyklónou. Obecně lze říct, že tropické cyklóny, při nichž se k zemi spustí tornádo, způsobují mnohem větší devastaci (silné nárazy větru, krupobití a podobně) než „klasické“ tropické cyklóny, obzvlášť v tak hustě osídlené oblasti jako je Bangladéš (Akter, 2014). „Normální“ tornáda, která nejsou vázána na hurikán, jsou zodpovědná za 8735 ztrát na životech v letech 1838 až 2020 a dalších 97 868 lidí bylo zraněno (Sufi, 2022). Doposud ale nebyla provedena studie, která by zkoumala konkrétně jen tornáda pocházející z tropických cyklón. Důvodem je pravděpodobně to, že lidé často nerozdělují, jakým způsobem tornáda vznikají a také nízká spolehlivost měřících přístrojů a nedostatek meteorologických stanic. Tento typ tornád se často tvoří daleko od oka hurikánu, někdy i ve vzdálenosti několika stovek kilometrů. Právě v těchto místech, v tzv. dešťovém pásmu hurikánu, se objevují izolované konvektivní buňky s rotující oblačností. Rotující buňky jsou velké od 2 do 20 km v průměru a většinou je najdeme v různých typech konvektivních bouřích, i v supercelách. Většina tornád vázaných na tropickou cyklónu mají sílu EF2 až EF3 na Fujitově stupnici. K zemi se spouštějí z tzv. minisupercel, které se mohou objevit v dešťovém pásmu hurikánu. Minisupercely mají krátkou životnost, jsou menší a méně intenzivní než „klasické“ supercely. Existují ale i případy, kdy se v rámci hurikánu objevila „klasická“ supercela například během hurikánu Sidr, který dosáhl stupně 5, tedy toho nejsilnějšího (Akter, 2014).

Vzhledem k tomu, že konstrukce domů v Bangladéši je velmi špatná, lidé jsou často připraveni o život v důsledku silnějšího větru (ne tornáda nebo hurikánu). Za velkou část úmrtí je zodpovědný kolaps střech a celých domů během bouří, při kterých se tornádo ani neukázalo. Celkově je dokumentace větrných událostí velmi omezená. Některá média

připisují některé katastrofy tornádům, i přes to, že zde žádné nebylo a naopak. Někdy je i zjevné tornádo popsáno jako cyklonální bouře. Proto tedy, abychom mohli říct, že škody jsou tornádického původu, existuje několik bodů, které musí být splněny. 1) musíme mít k dispozici informace o šířce a délce stopy tornáda, musí být viditelný ostrý přechod mezi zničeným a nezničeným povrchem, popis trychtýře nebo typického zvuku při tornádu. 2) těžké objekty, lidé nebo zvířata byla vymrštna do vzduchu. 3) létající trosky způsobily zranění neslučitelná se životem. 4) obrovská devastace okolí. 5) zemřelo alespoň 15 lidí a může být dokázáno, že smrt není způsobena hurikánem (Bikos, 2016).

Infobox 1: Mezinárodní fórum o snížení rizik katastrof způsobené tornády v Bangladéši (International Forum on Tornado Disaster Risk Reduction for Bangladesh):

V roce 2009 se v Bangladéši uskutečnilo fórum, které se zaměřovalo na to, jak snižovat rizika způsobená tornády v této oblasti. Událost byla organizována tokijskou Polytechnickou univerzitou, vládou Bangladéše, Centrem připravenosti na katastrofy v Bangladéši (BDPC) a Mezinárodní asociací pro větrné inženýrství (IAWE).

Na fóru se řešilo několik oblastí týkajících se tornád v Bangladéši. Jednalo se o správu a tvorbu politiky, povědomí veřejnosti a vzdělávání, financování, meteorologii a klimatologii, systém včasného varování, úkryty, konstrukce domů, použité materiály na stavbu a další.

V minulosti byl management a plánování katastrof zaměřen především na cyklóny, zemětřesení nebo záplavy. Tornáda se nebrala v potaz i přes to, že má Bangladéš nejvyšší počty úmrtí způsobený tímto přírodním úkazem na světě. Veškerá snaha pomoci lidem postižených tornády byla založena na přístupu bangladéšského lidu. Později se přišlo na to, že by se měla vláda i další organizace více zapojovat do pomoci lidem zasažených tornády. Povinností vlády je mimo jiné zajistit bezpečnost obyvatel a jejich majetku. Je zapotřebí být dopředu připravený a včasná detekce přicházejících tornádických bouří je více než nutná. Zvyšování povědomí mezi obyvateli způsobuje vyšší odolnost vůči katastrofám a lidé pak i sami provádějí preventivní opatření, což jedním z hlavních cílů, jak dosáhnout nižší úmrtnosti a devastace majetku v důsledku tornád. Jedním z hlavních bodů fóra bylo také vzdělávání v této oblasti. Zaměřovat se na všechny sociální skupiny obyvatel. Na děti od předškolního věku po studenty s vyšším vzděláním, na ženy, starší osoby, na diskriminované skupiny nebo postižené jedince.

Kvůli tomu, že jsou tornáda meteorologickým úkazem, je potřeba zlepšovat se také v této oblasti. Především se zaměřit na systém včasného varování, který by podle různých propočtů dopředu říkal, kde se může objevit potenciálně nebezpečná bouře. Nutností je zlepšovat schopnosti Meteorologického oddělení v Bangladéši (BMD), aby mohlo spolehlivěji poskytovat předpověď počasí, a hlavně předpovídat tornáda s dostatečným časovým předstihem. Tornádům nelze předejít a budou se objevovat ať děláme cokoliv a doba od varování po zásah tornádem je velmi krátká. Proto je zapotřebí, aby si ohrožení lidé byli vědomi nebezpečnosti tornád a také jak se zachovat, aby si zachránili život, případně majetek.

Jedním z dalších doporučení pro Bangladéš bylo nechat se inspirovat pokyny Americké federální agentury pro mimořádné události (FEMA), která vyvinula návrh domů a úkrytů dostatečně robustních, aby zvládly ustát tornádo. Přístřešky by měly být schopny přežít silný vítr, prudkou změnu tlaku uvnitř tornáda, ale také vzduchem létající trosky, což je hlavní příčinou vysoké úmrtnosti lidí. Létající kusy trosek v Bangladéši jsou především tvořeny dřevem a kusy plechů, které jsou používány na střechách, a proto musí být přístřešky odolné i vůči tomuto typu trosek (International Forum on Tornado Disaster Risk Reduction for Bangladesh, 2009).

4.2 Jihoafrická republika

Jihoafrická republika je stát nacházející se na jižním pobřeží Afriky. Sousedí se 6 státy – Botswanou, Lesothem, Mozambikem, Namibií, Svazijskem a Zimbabwe. Legislativním hlavním městem je Kapské město s necelými 5 miliony obyvatel, Pretoria je administrativním hlavním městem, ve kterém žije asi 2,8 milionu obyvatel a hlavním centrem soudnictví je Bloemfontein. Se zhruba 58 miliony obyvatel se Jihoafrická republika řadí na 25. místo v žebříčku velikosti populace. Většina obyvatel je soustředěna na jižním a jihovýchodním pobřeží, případně ve vnitrozemí kolem velkých měst (Pretoria, Johannesburg a další). Nacházejí se zde tři hlavní říční toky, nejdelším je Orange, následuje Limpopo a Vaal (The World Factbook, 2023).

4.2.1 Tornáda v Jihoafrické republice

V Jihoafrické republice dochází k tornádům pravidelně, avšak jim není věnována dostatečná pozornost. Škody po tornádech v této oblasti bývají obrovské, když je porovnáme i s ostatními extrémními projevy počasí – povodně, vlny veder či velká sucha. Tornáda

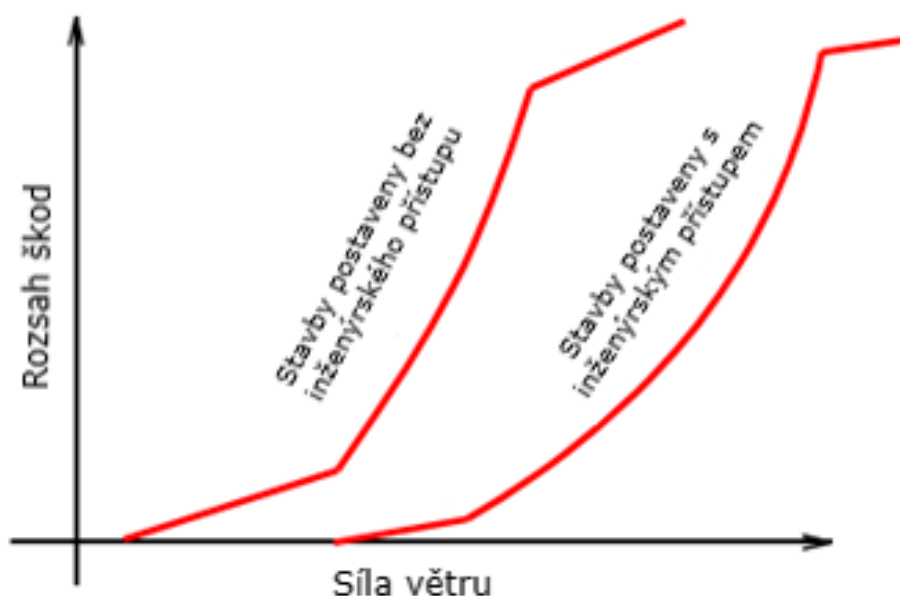
se zde objevují na východním pobřeží (Kimambo, 2018). Jihoafrická republika, především její východní pobřeží, má během roku několik dní, kdy jsou zde velmi příznivé podmínky pro vznik silných konvektivních bouří vznikající buď nad přilehlým oceánem nebo pevninou (Blamey, 2017).

Tornáda se obecně vyskytují mezi 20. až 60. stupněm zeměpisné šířky jak na jižní, tak na severní polokouli, přičemž drtivá většina se odehrává na severní polokouli (Kimambo, 2018). Většina tornád v Jihoafrické republice se objevuje především ve státech Guatend, Free State a KwaZulu-Natal. Ve východní části Jihoafrické republiky se vyskytují silnější tornáda, většinou klasifikována jako EF2 či EF3. Asi 65 % všech tornád je zařazeno do nejnižšího stupně Fujitovy stupnice jako EF0 nebo EF1 a 90 % tornád je maximálně o síle EF2. Existují ale případy, kdy se objevila i mnohem silnější tornáda. Například tornádo z roku 1999, které se ukázalo ve Východním Kapsku 18. ledna, mělo sílu EF4. Co se týká rozmístění tornád během roku, tak většina z nich páchá škody v polovině léta, tedy od listopadu do ledna. Mohou se však objevit i na jaře nebo na začátku léta (září a říjen) a ke konci léta nebo na podzim (únor až květen). Typickou denní dobou, kdy se tornáda tvoří v Jihoafrické republice je pozdější odpoledne či v podvečer, obecně mezi 16. až 19. hodinou (Weather Questions, 2023). Goliger, et. al. (1998) uvádějí, že se v této oblasti ročně vyskytnou asi 3 tornáda. V Jihoafrické republice jsou tornáda klasifikována spíše na základě ničivosti, než aby byla brána v potaz i délka a šířka stopy. Obecně lze říci, že tam, kde nebyly k dispozici relevantní informace o tomto jevu, byla tendence tornádo klasifikovat níže na Fujitově stupnici a pro Jihoafrickou republiku je klasifikace a potvrzování tornádických událostí pořád ještě výzvou (Coning, 2000).

Jedním z nejsilnějších a nejničivějších tornád v historii Jihoafrické republiky je tornádo z 18. ledna 1999. V 16:30 hod. zasáhlo městečko Mount Ayliff větrný vír o síle EF4. Během této události zemřelo 21 lidí a dalších 350 bylo zraněno. Kategorie EF4 byla tornádu přidělena z toho důvodu, že bylo schopné vzduchem unášet středně velká auta na velké vzdálenosti, několik kamionů bylo převráceno, krávy a koně byly vymrštěny proti budovám, případně autům. Bylo natolik silné, že strhávalo střechy či dokonce bouralo celé domy a v širokém okolí došlo k výpadku elektrické energie a telefonních služeb. Asi 95 % všech lidí žijících v městečku Mount Ayliff a nedalekém Tabankulu se náhle ocitlo bez domova. Několik stoletých dubů bylo vyvráceno i s kořeny. Farmáři přišli o svá domácí

zvířata a jejich pole byla srovnána se zemí a zničena. Později byla oblast prohlášena vládou Jihoafrické republiky za oblast národní katastrofy (Coning, 2000).

V rozvojových zemích, včetně Jihoafrické republiky a Bangladéše, nejsou budovy postaveny moderním způsobem (podle inženýrských přístupů), který by zaručoval, že vydrží meteorologické události typu tornád. Graf č. 1 zobrazuje vztah mezi rozsahem škod a silou větru pro oba typy budov. Lze z něj jasně vyčíst, že stavby bez moderního inženýrského přístupu jsou mnohem náchylnější na zničení větrem o výrazně nižší rychlosti než budovy postavené moderními postupy. Navíc můžeme vidět, že zpočátku při nižších rychlostech nejsou škody tak patrné, následuje ale relativně úzké rozmezí rychlostí větru, při kterých dochází k největším škodám (Goliger, 2007).



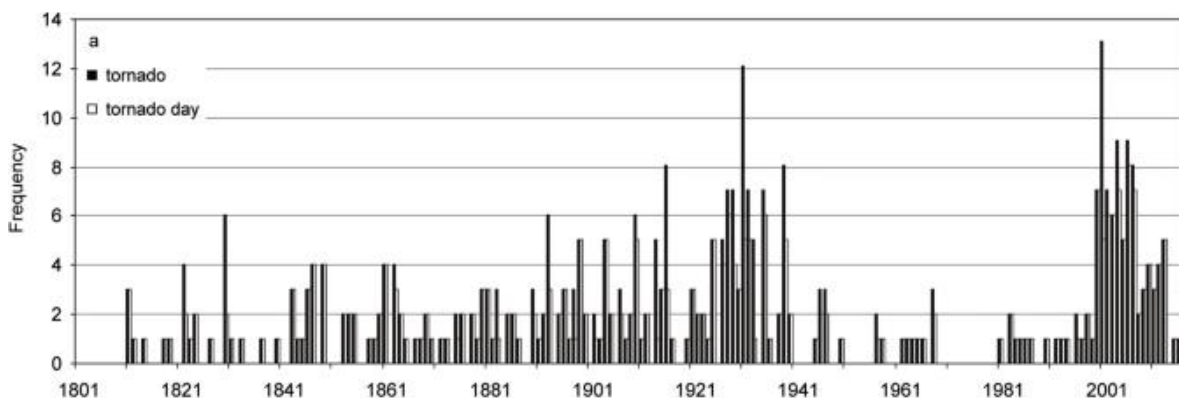
Graf 1: Rozsah škod na budovách s inženýrským přístupem a bez něj v závislosti na síle větru (Goliger, 2007), přeloženo.

Ve většině rozvinutých zemích jsou všechny současně stavěné budovy povinné řídit se některými designovými specifikacemi nebo regulacemi. Často jsou tyto regulace aplikovány i na budovy, které již stojí a musejí být tudíž modernizovány nebo vylepšeny. Tato opatření existují z důvodu zajištění bezpečnosti obyvatel a konstrukčních požadavků. Naopak v rozvojových zemích je velmi těžké, někdy až nemožné, vymáhat modernizaci či vylepšování budov. Kvůli tomu existují v zemích globálního jihu dva typy stavebního trhu – formální a neformální. Konkrétně v Jihoafrické republice lze pozorovat kontrast mezi

formálními a neformálními stavbami. Ve venkovských oblastech je většina budov neformální, nemodernizovaná. Je to způsobeno tím, že zde historicky nebylo vyžadováno přijetí bezpečnostních opatření. Velký kontrast lze pozorovat i v městských oblastech, kde naproti sobě stojí moderní budovy s relativně vysokými standardy a budovy, které moderní specifikace nesplňují (Goliger, 2007).

5. Tornáda v České republice

Tornáda se v České republice objevovala prakticky vždy a nejsou u nás ničím novým. Tento extrémní projev počasí ale nedosahuje takové intenzity jako v USA a ani počet není tak vysoký, jako tam. I přesto mohou tornáda u nás způsobovat obrovské škody jak na majetku, tak na životech (Lacinová, 2007).



Graf 2: Vývoj počtu tornád od začátku 18. století do roku 2017 (Brázdil, 2019).

Graf č. 2 ukazuje počet tornád za rok a také počet dní, ve kterých se objevilo alespoň jedno tornádo. Tyto dvě hodnoty se mohou lišit, protože se některý den mohlo ukázat více tornád. Na grafu lze pozorovat dvě období s největším výskytem. Tento prudký vzestup počtu tornád je především způsoben dostupností relevantních zdrojů a také zájem veřejnosti o toto téma. Jedná se o dvě desetiletí ve 20. století (1921 až 1940), poté následuje velký propad v četnosti, jež je způsoben komunistickou érou (Brázdil, 2019), kdy byla tornáda prakticky ignorována a byla označována jako „ničivý vítr.“ Pojem „tornádo“ nepoužívali ani žurnalisté nebo meteorologové. Tornáda byla považována za něco, co je spojeno s USA a oficiálně se ve střední Evropě neobjevovala. Následoval opět velký vzestup na konci 20. století a na začátku nového tisíciletí. Počátek vzestupu počtu byla reakce na změnu politického režimu, pád železné opony, výměnu informací mezi státy, a to vše bylo ještě umocněno příchodem internetu (Setvák, 2003).

5.1 Historie tornád na českém území

O dokumentaci prvního tornáda na českém území se postaral kronikář Kosmas, žijící v letech 1045 až 1125, ve své Kronice české. Kroniku českou psal v letech 1119–1125 a právě v ní se nachází úplně první zmínka o tornádu v českých zemích, které se objevilo v Praze u Vyšehradu 30. července 1119 (Setvák, 2003). Kosmas (2011, s. 184) v Kronice

přesně píše: „Dne 30. července ve středu, když se již den chýlil k večeru, prudký víchř, ba sám satan v podobě víru, udeřiv náhle od jižní strany na knížecí palác na hradě Vyšehradě, vyvrátil od základů starou a tedy velmi pevnou zeď, a tak - což jest ještě podivnější zjev - kdežto, obojí strana, přední i zadní, zůstala celá a neotřesená, střed paláce byl až k zemi vyvrácen a rychleji, než by člověk přelomil klas, náraz větru polámal hořejší a dolejší trámy i s domem samým na kousky a rozházel je. Tato vichřice byla tak silná, že kdekoliv zuřila, v této zemi svou prudkostí vyvrátila lesy, štěpy a vůbec vše co jí stálo v cestě.“

Během 12. a 13. století lze v různých kronikách dohledat zápisy o možných tornádech. Avšak z popisu nelze vždy vyčíst, zda se jednalo o tornádo, trombu nebo raráška. Mezi 14. a 19. stoletím téměř neexistují záznamy o tomto meteorologickém jevu. Zlom nastal až v roce 1871, kdy Gregor Mendel napsal esej „*Die Windhose vom 13. October 1870*“, která je považována za přelomový okamžik v historické dokumentaci tornád na území dnešní České republiky. Následovala významná práce Edler von Wahlburga „*Das Wetter*“ z roku 1911 a A. Wegenera s názvem „*Wind-und-Wasserhosen in Europa*“ z roku 1917. Během socialistické éry se termín „tornádo“ téměř nepoužíval. Nízká znalost tohoto fenoménu vedla k názoru, že se ve střední Evropě nevyskytuje. Později se situace výrazně změnila a začaly vycházet další důležité práce týkající se této problematiky i od českých autorů a ukázalo se, že v letech 1994 až 1999 se objevilo jedno tornádo ročně, dokonce mezi roky 2000 až 2002 počet tornád byl 5 až 8 za rok (Setvák, 2003). Prvním pokusem zmapovat tornáda byla práce Jana Munzara z roku 1993 „*Tromby (tornáda) na území České republiky v letech 1119–1993*“. Dalším faktorem, který vedl k lepšímu povědomí české společnosti o tornádech v druhé polovině 90. století byla užší spolupráce mezi Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) a laboratoří zabývající se výzkumem silných bouří – The National Severe Storms Laboratory (NSSL) sídlící v Oklahomě, USA. V neposlední řadě hraje svoji úlohu i internetová stránka věnovaná tornádům v České republice, na které se nacházejí nejen definice a obecné informace o tornádech, ale také shrnuje veškeré výskyty tornád na našem území, popisuje bezpečnostní opatření a poskytuje kontaktní adresy, na nichž můžeme případné tornádo nahlásit. Právě možnost nahlásit tornádo například přes e-mailovou adresu vedlo k vyššímu výskytu a lepšímu mapování míst, kde se tornáda mohou ukázat. Masová média se na počátku 21. století začala také více o tornáda zajímat, a i katastrofické filmy zlepšily povědomí o tornádech a celkově o konvektivních bouřích mezi obyvateli Česka (Setvák, 2003).

5.2 Vybrané případy tornád v České republice od roku 2000 (síla EF3 a vyšší)

11. června 2000, 18:00 hod. SELČ, tornádo u obce Málkov

V tento den se u obce Málkov nacházející se kousek od Chomutova objevilo středně silné tornádo, tedy podle Fujitovy stupnice na stupni F2 až F3. Podle svědků a pozorovatelů bylo během dne pěkné počasí, bezvětří, jasno ale i velké vedro. Kolem 4. hodiny odpolední se začalo zatahovat, později byla detekována bouřka a následovalo postupné zesilování větru. Svědci mimo jiné popisují i abnormální dusno. V době, kdy v Málkově byla bouře zaznamenali obyvatelé velmi silný vítr s charakteristickým hukotem, a také si všimli poletujících lehčích předmětů vzduchem. Tornádo se k povrchu sneslo mezi 18:00 až 18:15 hod. Následující den proběhlo první šetření prováděné ČHMÚ. Zpočátku bylo těžké určit, zda se o tornádo jednalo, jelikož v místech, kde se vytvořilo, je velmi málo vegetace. Později byly nalezeny poškozené a přeražené stromy. V obci napáchalo mnohem větší škody. Zcela zdevastovalo rozestavěnou sportovní halu a několik dalších budov. Tornádo neprošlo přímo centrem Málkova, i zde ale byly škody velké – poškozené střechy, kaplička zničená převráceným stromem. Pokračovalo směrem na Skřivánčí vrch (460,5 m n. m.), kde vážně poškodilo zdejší les. Tornádo si nevyžádalo žádné oběti na životě, ale napáchalo škody ve výši asi 15 milionů korun a množství dřeva z poškozených stromů představovalo asi 1000 m³ (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023).

31. května 2001, 16:30 SELČ, tornádo v Milešovicích

31. května se v Milešovicích (okres Kutná Hora) objevilo tornádo o síle F3. Tornádo řádilo v oblasti mezi Zručí nad Sázavou a Světlou nad Sázavou. Milešovické tornádo je prvním tornádem na území České republiky, ve kterém byly zdokumentovány sekundární savé víry (viz kapitola 1.3.1 Supercelární tornáda), které obíhaly mateřské tornádo. Nepřímé důkazy o přítomnosti sekundárních savých vírů jsou například vykroucené a vyvrácené stromy všemi možnými směry. Stromy byly také vytrhány a přenášeny vzduchem na větší vzdálenosti. Většina budov stojících tornádu v cestě přišla o střešní krytinu a některé dokonce i o nosné trámy. Dalším důkazem savých vírů jsou svědectví lidí, kteří popisují situaci tak, že je tornádo obešlo ze dvou stran, vše doprovázeno dalšími škodami (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023).



Obr. 5: Snímek z videozáznamu Milešovického tornáda, dokazující přítomnost sekundárních savých vírů, pořízený panem Volkem, obyvatelem Chřenovic (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023).

9. června 2004, 16:30 SELČ, tornádo v Litovli

Začátkem června byly hlášeny bouřky v pásmu od Zlínska, přes Olomouc až k Litovli. V celém tomto konvektivním pásmu řádil velmi silný vítr. Většinou šlo pravděpodobně o downbursty. V Olomouci si dokonce silný vítr vyžádal jednu ztrátu na životě. Nejvíce postižené bylo město Litovel v okrese Olomouc, ve kterém řádilo tornádo a bylo později klasifikováno jako tornádo o síle F3 na Fujitově stupnici. Tornádo se objevilo v 16:30 hod. SELČ a bylo supercelárního původu. Následně proběhlo prošetření terénu, a právě tehdy se zjistilo, že Litovel byla velmi zasažena tímto přírodním úkazem. Tornádo zde způsobilo škody velkých rozměrů. Zcela odneslo střechy zdejších domů, jejich stropy a zdi. Dokonce byly polámané i betonové sloupy, což svědčí o jeho síle. Nelze ale vyloučit ani to, že betonové sloupy byly zlomené v důsledku zatížení troskami. Pás největšího poškození měl šířku 100 až 200 metrů, tento údaj ale nemusí udávat reálnou šířku stopy tornáda. Podle svědků celé události byl vír doprovázen charakteristickým hlasitým hukotem, velmi silnými srážkami a přítomné byly také vzduchem létající objekty. Obyvatelé tornádo popisují jako levotočivé, tedy cyklonální, což odpovídá převážné většině tornád vyskytujících se na Zemi. Tornádo výrazně poničilo vegetaci, prakticky byly úplně zničeny všechny větší a silnější stromy (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023).



Obr. 6: Zaznačení dráhy tornáda v Litovli (Zdroj: Geodézie ČS, převzato z: *Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023*).

Na obrázku lze pozorovat dráhu tornáda v Litovli. Je zjevné, že délka dráhy nebyla nikterak dlouhá, důležité na tomto konkrétním tornádu je místo, kudy prošlo – městem Litovel. Způsobilo tedy velké škody především na majetku lidí a obce.

6. Jihomoravské tornádo ze dne 24. 6. 2021

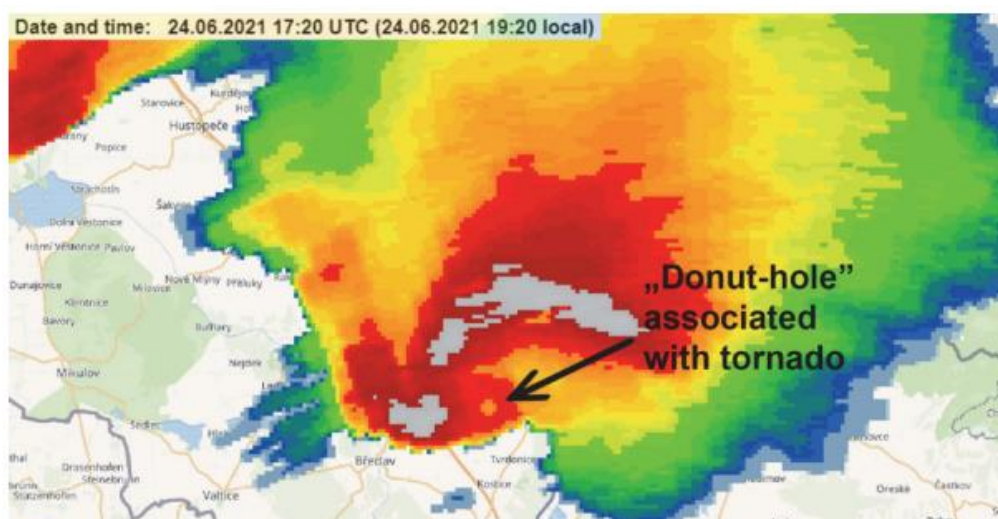


Obr. 7: Fotografie tornáda pořízená z Hodonína směrem na Lužice. Foto: Dominik Herka, převzato ze Souhrnné zprávy k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021 (2021).

6.1 Meteorologická situace

Nad centrální Evropou se 24. 6. 2021 objevilo několik supercel. Pouze ale z jedné z nich vzniklo tornádo. Supercela se začala tvořit již nad rakouským územím a pokračovala nad Českou republiku, kde vyprodukovala velmi silné tornádo. Tornádu byla přiřazena Evropskou laboratoří pro výzkum silných bouří (ESSL) síla EF4 podle Fujitovy stupnice na základě dostupných informací a způsobených škod (Komjáti, 2022). Podle Souhrnné zprávy k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021 (2021) byla nejvyšší rychlost větru dosahující během tohoto tornáda až 105 m.s^{-1} , tedy asi 380 km.h^{-1} . Jestliže bychom tento údaj srovnali s Tab. 1, která znázorňuje všechny kategorie tornád, rychlosti větru a stupeň poškození, opravdu by nám potvrdila, že tornádo mělo sílu EF4. Zajímavostí celé této situace je to, že před tím, než se tornádo vytvořilo, se mateřská supercela spojila s další supercelou. Konvekce byla spuštěna kvůli velmi nestabilnímu a vlhkému prostředí (bylo

předpovězeno meteorologickými modely) s hodnotami CAPE kolem 2500–3000 J.kg⁻¹. Předpovědi modelů byly potvrzeny měřením ve 14:00 hod. SELČ nad Vídní, kdy hodnoty CAPE dosahovaly 2228 J.kg⁻¹. Jak je uvedeno výše, během této mimořádné situace došlo ke sloučení dvou supercel. Jedna z nich se začala tvořit již v 15:05 hod. místního času na hranicích Štýrska a Dolních Rakous. Postupem času byly podmínky pro vznik intenzivních supercel ještě příznivější a kolem 16:30 hod. se nad městem Kremže (německy Krems an der Donau) ležící v Dolnorakousku, objevila druhá, velmi silná supercela. Starší ze dvou supercel se začala díky příznivým podmínkám štěpit a následně odstěpená část začala interagovat s druhou supercelou, což zapříčinilo ještě výraznější stáčení doprava této bouře a asi v 18:20 hod. byl proces sloučení těchto dvou supercelárních bouří dokončen. Zhruba o 30 minut později překročila supercela hranice České republiky a podle radarových záznamů naznačovala tvořící se tornádo, tzv. TVS (Tornado Vortex Signature). V 17:05 hod. se nad Břeclaví začaly ukazovat první známky tvořícího se tornáda a důkazem je i viditelný prstenec na radaru, způsobený okem tornáda a silným vzestupným proudem (anglicky se tento jev označuje jako „*donut-shaped signature*“) viz obr. 7. Tento jev zintenzivnil v 19:20 hod., kdy se tornádo dotklo poprvé povrchu Země u obce Hrušky. Tornádo pak pokračovalo podél hranic se Slovenskem přes obce Moravská Nová Ves, Mikulčice, Lužice a Hodonín (Komjáti, 2022).



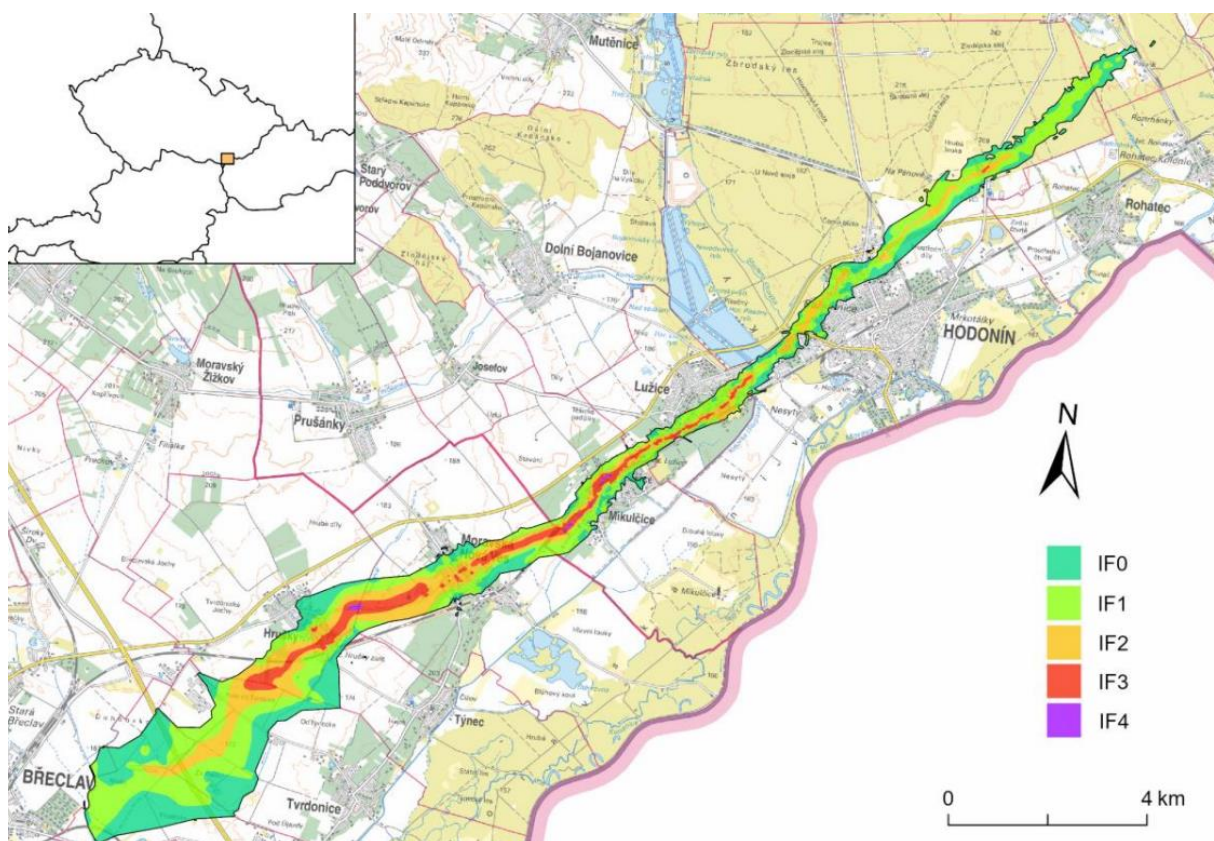
Obr. 8: Radarový snímek dokazující tornádo díky přítomnosti prstence (z angl. donut-hole) po doteku s povrchem u obce Hrušky. Převzato z: (Komjáti, 2022).

Jak je již uvedeno v předchozím odstavci, tornádo bylo zařazeno do kategorie EF4. Poprvé se ukázalo v 19:14 hod. asi 1 kilometr východně od města Břeclav a zaniklo

o 39 minut později v 19:53 hod. 1 kilometr jižně od obce Ratíškovice. Čas zániku dokazují snímky, které jej dokumentují. Na počátku svého života bylo tornádo překvapivě široké (až 2,8 km). Urazilo vzdálenost lehce přesahující 27 kilometrů a vzhledem k délce trvání a uražené vzdálenosti lze usuzovat, že se pohybovalo rychlostí průměrně $41,7 \text{ km.h}^{-1}$. Spojení dvou supercel zapříčinilo vznik jedné silné bouře, která měla na svědomí nejen velmi silné a destruktivní tornádo, ale byla doprovázena silným krupobitím, během něhož padaly kroupy o průměru 9 cm nad rakouskou příhraniční obcí Schrattenberg a v Břeclavi dokonce s průměrem 10 cm.

6.2 Kudy tornádo prošlo?

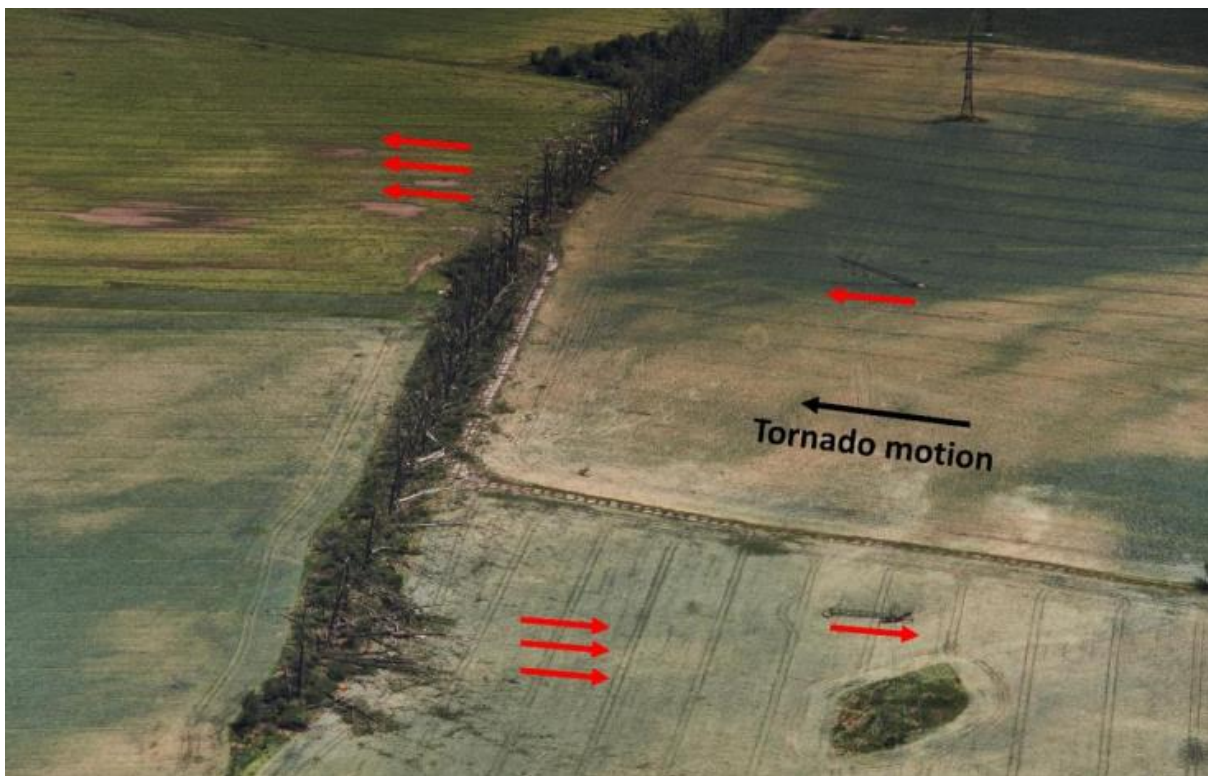
Jak bouře postupovala východně od Břeclavi, začalo se tornádo formovat. Pokračovalo přes dálnici D2 směrem na Hrušky, Moravskou Novou Ves, Mikulčice, Lužice, Hodonín a městskou část Hodonína – Pánov (Púčik, 2022). Během svého životního cyklu poškodilo železniční trasu Břeclav–Přerov na úseku dlouhém několik set metrů. Na trati došlo ke zničení trakčního vedení včetně betonových sloupů, přilehlých protihlukových stěn a sloupů světelné signalizace, které byly vytrhány ze země a rozházeny po okolí (Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021, 2021). Pokud bychom srovnali data, která dokazují šířku tornáda překračující 2,5 km (východně od Břeclavi) s daty, jež popsali Groenemeijer a Kühne (2014) ve své práci týkající se klimatologie tornád v Evropě, došli bychom k závěru, že bylo vskutku velmi široké i na americké poměry, natož na evropské. Maximální průměrná šířka stopy evropských tornád totiž podle jejich analýzy dosahuje 600 metrů, u amerických tornád je to 837 metrů při síle EF4 (Púčik, 2022). V rámci roku 2021 byla ve světě takto ničivá tornáda pouze 4 (co se týká počtu obětí) a tornádo na jižní Moravě se bohužel dostalo na 3. příčku (Hodnocení dopadů ničivého tornáda na jihovýchodě Moravy 24. 6. 2021, 2022)



Obr. 9: Mapa stopy tornáda s barevně rozlišenými kategoriemi podle Mezinárodní Fujitovy stupnice (Púčik, 2022).

Na mapě lze pozorovat postupný vývoj síly tornáda, šířku stopy a místo vzniku a zániku. Podle mapy můžeme určit, na kterých místech bylo tornádo nejsilnější (zaznačeno fialovou barvou).

Tornádo postihlo 7 obcí v Jihomoravském kraji, z nichž konkrétně Hrušky, Moravská Nová Ves, Mikulčice a Lužice byly zasaženy nejvíce (Kurilovská, 2021). Jak je již několikrát uvedeno v předchozí části, tornádo bylo nejširší na počátku své existence nedaleko Břeclavi. Velmi rychle nabralo na síle a srovnalo se zemí několik stožárů elektrického vedení vysokého napětí a polámalo stromy. Podle průzkumů byly ovlivněny také pozemní vozidla, která byla zatlačena na svodidla. Jak tornádo sílilo, způsobovalo kompletní odvětvení stromů či jejich přelámání nebo vyvrácení. Vzduchem unášený prach a trosky zbavily stromy své kůry (jeden z projevů silných tornád, zpravidla o síle EF4 a více) (Púčik, 2022).



Obr. 10: Snímek dokazující působení tornáda. Černá šipka znázorňuje směr pohybu tornáda, červené šipky směr destrukce (Púčik, 2022).

V Hruškách byla nejvíce zasažená tornádem jejich jižní část. Celkově zde poškodilo 201 domů, z čehož 58 muselo být později zbořeno, jedná se o největší podíl všech zasažených staveb. Nejčastěji pozorovaným typem škody byly zničené střechy, buď částečně nebo úplně. Dále byly silně poničeny stěny cihlových domů, zdejší kostel, hospodářské budovy. Sílu tornáda dokazuje sedmitunový karavan, který byl vyzdvižen do vzduchu a unášen asi 20 metrů a během toho přeletěl nad garáží domu (Púčik, 2022). Tornádo v Hruškách nebylo tak silné jako v jiných obcích, jelikož ještě nedosahovalo své fáze zralosti (z anglického *mature stage*) (viz kapitola 1.2 Životní cyklus tornáda) (Sulik, 2022). Místostarosta Hrušek Marek Babisz v jednom z rozhovorů uvedl: „*Obcí se prohnalo tornádo, půl obce je srovnaná se zemí, zůstaly jen obvodové zdi bez střech, bez oken. Kostel nemá střechu, je bez věže, auta byly mrštěné na rodinné domy, lidé se neměli kam schovat. Obec od kostela dolů prakticky neexistuje. Škola je bez fasády, bez střechy, ke školce jsem se ani nedostal. Vyvrácené jsou stoleté lípy, smrky, je to šílené... Zachránil jsem maminku s dvouměsíčním miminkem, říkala, že střecha souseda byla u nich na dvoře. Neměli kam jít, jsou u nás.*“ (Obří zkáza: Obce na jihu Moravy rozmetalo tornádo, záchranáři hlásí oběti, 2021).



Obr. 11: Fotografie zničených Hrušek. Fotograf: Lukáš Ronge, převzato z: Púčik, 2021.

Následně tornádo pokračovalo přes pole a stromovou alej mezi Hruškami a Moravskou Novou Vsí. Mezi obcemi zasáhlo zemědělský areál, kterému tornádo způsobilo těžké škody (zřícení nosných zdí vedoucí k zabití několika desítek krav) (Púčik, 2022). Sulik (2022) ve svém výzkumu píše, že hlavní jádro mezocyklóny mezi Hruškami a Moravskou Novou Vsí na chvíli ztratilo spojení s povrchem Země, rychle ho ale obnovilo u obce Moravská Nová Ves a v kontaktu s ním zůstalo až do opuštění Hodonína. Podle následného průzkumu a fotodokumentace je patrné, že i během tornáda na jižní Moravě se mohly vyskytnout sekundární savé víry, protože jedna část zemědělského objektu byla téměř neporušena, zatímco druhá část byla srovnána se zemí. Sekundární savé víry totiž způsobují dodatečné lokální poškození a můžeme tak pozorovat rozdíly v poškození budov stojících nedaleko sebe (viz kapitola 1.3.1 Supercelární tornáda) (Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021, 2021). Tráva a úroda byly kompletně vytrhány z půdy a spolu s troskami domů byly unášeny vzduchem. Stromy nacházející se v těchto místech byly vyvráceny. Obrovské škody byly způsobeny tím, že tornádo v těchto místech dosahovalo stupně EF4 (IF4) (Púčik, 2022). Ve velké většině případů došlo k silné devastaci staveb (úplné zboření cihlových zdí, nebo dokonce odtrhání železobetonových panelů či zboření ocelových nosných konstrukcí budov). Většina budov

nebyla zničena pouze silným větrem, ale jsou na nich patrné i známky škod způsobené velkým počtem vzduchem letících trosek tvořených střešní krytinou, kusy trámů, stromů či odhozenými auty (Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021, 2021). Nejvíce budov bylo poškozeno v obci Moravská Nová Ves (396 budov). 31 z nich muselo být následně kompletně srovnáno se zemí. Při průchodu obcí byla stopa tornáda stále velmi široká, téměř 1200 metrů, což dokazuje i mapování. V Moravské Nové Vsi byly nejčastěji poničeny střechy, došlo ale také ke kompletnímu zničení některých domů. Výrazné poškození zaznamenal i zdejší kostel, jehož střecha utrpěla vážné škody. Zajímavostí je, že hodiny kostela se zastavily v době, kdy zde tornádo řádilo, a sice v 19:25 hod. Rychlost větru zde dosahovala zhruba stejných hodnot jako v Hruškách. Na východním okraji obce byly některé domy kompletně srovnány se zemí, a i když se může zdát, že by tornádo mohlo být zařazeno do kategorie EF4 (IF4), byla mu přiřazena síla EF3 (IF3), protože domy v této části obce byly buď rozestavěné nebo byly postaveny z lehčích materiálů (Púčik, 2022). Jak tornádo postupovalo z Moravské Nové Vsi směrem do Mikulčic, tak se jeho stopa postupně zužovala, což ale neznamenal, že by tornádo sláblo. Právě naopak, na některých místech došlo ještě k větším škodám na majetku, a i některé dobře postavené budovy byly kompletně srovnány se zemí (Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021, 2021). 63 mikulčických budov ze všech 300 poškozených muselo být následně zdemolováno. Tornádo totiž při průchodu Mikulčicemi dosahovalo síly EF4 (IF4). Jeden z cihlových domů byl úplně zničen, což by napovídalo tomu, že tornádo mohlo mít dokonce sílu i EF5 (IF5), jenomže při následném průzkumu bylo zjištěno, že dům měl horší konstrukci, která spojovala střechu a stěny, a tak mu nebylo možné připsat nejvyšší kategorii (v kapitole 2.1 *Fujitova stupnice* je blíže popsáno, jakým způsobem a podle jakých kritérií se tornádu přiřazuje kategorie). V Mikulčicích bylo tornádo nejsilnější, což mělo mimo jiné také za následek to, že autobus s pasažéry uvnitř byl hozen přes menší kopec a zastavil se až o dvoupatrový dům, jehož celé druhé patro bylo zničeno. V oblasti mezi Mikulčicemi a Lužicemi bylo tornádo podstatně užší než na začátku své existence. I tak ale úplně dokázalo zničit vinohrady a přilehlé vinařské sklepy. V těchto místech byl nalezen automobil nacházející se asi 100 metrů od nejbližší silnice a jeho motor se nacházel 150 metrů od něj. Automobil byl pravděpodobně unášen vzduchem alespoň na vzdálenost 200 metrů z důvodu absence stopy, kterou by způsobilo při pohybu po zemi. V Lužicích bylo poškozeno 100 domů, ze kterých muselo být 17 následně zdemolováno. Tornádo zasáhlo i průmyslový areál společnosti MND Drilling & Services a místní železniční stanici. Dobře postavené domy měly zničené střechy

a fasády, a na stěnách byly patrné škody způsobené létajícími troskami. V Lužicích tornádo křížilo hlavní ulici Velkomoravská, na které poničilo několik domů. I zde v podstatě vyvrátilo veškeré stromy stojící tornádu v cestě. V okolí rybníku Lužák stálo několik dřevěných a cihlových domků (zahradek), jež byly všechny srovnány se zemí kvůli nižší kvalitě konstrukce. Podle dostupných informací se tornádo mírně stočilo severním směrem předtím, než přešlo přes Hodonín. V Hodoníně bylo poškozeno 100 domů a zdemolováno muselo být 10 z nich. Celkově bylo tornádo už slabší a přes Hodonín přecházelo se silou EF2 (IF2). Zasažena byla západní část města a střed tornáda se převážně držel nad lesem. Tornádo pak překročilo pole a les mezi Hodonínem a jeho městskou částí Pánovem, kde poškodilo fotovoltaickou elektrárnu, a především zdejší domy. Kvůli velké devastaci (tornádo zde mírně zesílilo) mu bylo v těchto místech přidělena kategorie EF3 (IF3) (Púčik, 2022). Tornádo se pak přesunulo nad les mezi Hodonínem a Ratíškovice, kde zničilo několik hektarů lesa a postupně zmizelo asi 1 km jižně od obce Ratíškovice (Sulik, 2022).

Během tornáda bylo zraněno několik set lidí a vyžádalo si 6 obětí (Kurilovska, 2021).

První tísňové volání se uskutečnilo v 19:19 hod. místního času. Tehdy volající nahlásil pád drátů elektrického vedení na dálnici D2 a dopravní nehodu. Od té doby přibýlo obrovské množství telefonátů z oblastí zasažených tornádem. Členové sboru ani mnozí dobrovolní hasiči v té době netušili, o jak velkou událost se jednalo a co je v následujících dnech bude čekat. Nejčastěji volající nahlašovali zasypané, pohřešované či zraněné osoby. Dále velké úniky zemního plynu, požáry osobních automobilů a problémy spojené s narušenou statikou budov. Situaci na příjezdových komunikacích komplikovalo velké množství popadaných stromů, zřícených domů a poškozených vozidel. Pro zásahové jednotky bylo v těchto podmínkách velmi těžké dostat se na určená místa. Tornádo poškodilo i telekomunikační a radiokomunikační síť, a tedy komunikace s jednotkami byla téměř nemožná a probíhala pouze s minimální zpětnou vazbou. Po 8. hodině večerní byly svolány příslušné krizové štáby včetně štábu Hasičské záchranné služby Jihomoravského kraje. Během této doby na místě katastrofy zasahovalo 30 jednotek a doposud bylo vyřízeno 354 tísňových volání. S postupujícím časem bylo do zasažené oblasti posíláno stále více jednotek. Později večer přišly na středisko první konkrétnější informace o tom, co se vlastně stalo. Byl proveden průzkum oblasti, poskytnuta první pomoc zraněným lidem a prohledávaly se trosky, z nichž byly vyprošťovány osoby. O půlnoci zasahovalo v postižené oblasti celkem 168 jednotek a prozatím proběhlo 723 tísňových volání. S půlnocí také začal platit stav nebezpečí,

který vyhlásil hejtman jihomoravského kraje Jan Grolich (Tornádo na Moravě, 2021). Na místě cca od půlnoci pomáhal i speciální hasičský tým USAR, který provádí vyhledávací a záchranné práce v obydlených oblastech. Často působí po zemětřeseních a na území ČR také při zřícení budov (USAR, 2006). Dále zde působili členové Hasičského záchranného sboru ČR s těžkou technikou, Armáda ČR, odřady z ostatních krajů, a také kynologové. V zasažených místech pomáhal také obrovský počet dobrovolníků (Tornádo na Moravě, 2021). Po katastrofě zde zasahovaly jednotky Integrovaného záchranného systému z celé České republiky. Pro zjednodušení přístupu do postižené oblasti uzavřela policie dálnici D2 v úseku Břeclav–Brno, která sloužila jako prioritní přístupová cesta na místo. K tomuto rozhodnutí došlo vedení Jihomoravské policie především proto, aby mohly sanitky bezpečně a rychle převážet pacienty. Dálnice D2 byla uzavřena 7 hodin. V prvních dnech od katastrofy byly uzavřeny také zničené obce, aby se záchranné jednotky mohly lépe dostat na určená místa. Vjezd byl také povolen vozidlům, která přepravovala materiál a při výjezdu z obcí probíhaly kontroly, aby se zamezilo krádežím materiálu (Tornádo?!, 2022, s. 56).

Co se týká finanční pomoci lidem, tak se o to především zasloužily nadace a charity. Celkově se vybrala částka 1,3 miliardy Kč. Největší podíl na částce má Diecézní charita Brno, které se podařilo od dárců sesbírat více než 360 milionů korun (Špičková, 2022). Charita na Hodonínsku a Břeclavsku poskytovala lidem především humanitární a psychosociální pomoc. V Mikulčicích bylo zřízeno kontaktní místo, kam se i po celý rok 2022 mohly lidé obrátit na humanitární pracovníky. Finanční pomoc byla rozdělena především na základě míry poškození majetku, ale přihlíželo se také na sociální situaci jednotlivých domácností, kterou vyhodnocovaly charitní komise (Tornádo?!, 2022, s. 72). Člověku v tísní poslali dárce 192 milionů korun. Nadace Via shromáždila dohromady 248 milionů korun a nadace Adra vybrala dalších více než 73 milionů korun. Na finanční pomoci se podílely i další organizace, například Nadace ČEZ, Nadace Českého rozhlasu, Diakonie a Jihomoravský kraj, který sesbíral ve své sbírce 92 milionů korun. Sbírký se organizovaly jak na místní, tak i na krajské úrovni. Pomáhali i jednotlivci, kteří mohli posílat peníze konkrétním lidem postiženým touto přírodní katastrofou. Celková částka nashromážděná dárce byla nejvyšší vybraná v ČR za účelem pomoci lidem postižených přírodní katastrofou nebo jiným neštěstím. V současnosti tuto částku převýšily sbírky na pomoc válkou zasažené Ukrajině (Špičková, 2022).

Často vzpomínaným tématem týkajícího se tornáda na jižní Moravě je zničení domova důchodců v Hodoníně (S-centrum Hodonín). Tornádo jej natolik poškodilo, že jeho činnost musela být přerušena. Následně bylo rozhodnuto, že bude objekt zdemolován a nové zařízení pro seniory bude vybudováno v nedaleké obci Rohatec. Podle Ministerstva pro místní rozvoj ale nebylo možné čerpat finance v rámci dotačního programu „obnova území po tornádu“. Stavba nového centra v Rohatci tedy neproběhne a začalo se znovu jednat o tom, že by bylo původní S-centrum opraveno. Před tornádem plnilo centrum dvě funkce, a sice domov pro seniory (až 35 lůžek) a domov se zvláštním režimem (až 106 lůžek) (Osouch, 2022). Celkové náklady na rekonstrukci byly odhadnuty na 450 milionů korun. Jihomoravský kraj z vlastních prostředků vyčlenil již 10 milionů korun (Hodonínské S-centrum po tornádu, 2021).

7. Doporučení, jak se při tornádu chovat

Tornáda se u nás neobjevují každý den, i přesto je ale dobré vědět, jak se v případě jejich výskytu chovat. Je totiž velmi složité je předpovědět a většinou se o nich dozvíme až když se k povrchu spustí (Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021, 2021).

V první řadě je potřeba zavřít všechna okna a být schován nejlépe ve zděné budově. Nejlepší je ukryt se ve sklepech, pokud to není možné, stačí místnost bez oken (Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021, 2021). Dobře může posloužit například koupelna. Zatímco chaty, stodoly nebo jiné chatrné stavby jsou nejméně vhodné (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023). V rodinném domě je nutné zůstat v přízemí, protože další patra a podkroví jsou náchylnější na zničení než zbytek domu. Většinu lidí tento jev fascinuje a nabádá je k fotografování či nahrávání. Velmi nebezpečné je vycházet ven nebo nasednout do auta s cílem ujet tornádu. Je doporučeno se zakrýt například přikrývkami, které člověka ochrání před případnými létajícími troskami. Je dobré dát vědět i blízkým (například pomocí SMS zprávy) o tom, kde se nacházíme a k čemu došlo. Jestliže je tornádo spatřeno během řízení, měl by se řidič snažit vyhnout bouři s tornádem (to ale jen v případě, že se bouře nenachází v těsné blízkosti) v opačném případě je na místě jet do nejbližší obce a schovat se v některé budově. V nejhorším scénáři, tedy pokud se někdo nachází ve volné přírodě, se doporučuje lehnout si na zem a rukama si chránit hlavu (v případě, že urychleně není možné najít vhodný úkryt) a snažit se najít terénní sníženinu (v nejlepším případě mimo stromy), která by nás mohla ochránit před létajícími troskami. Obecně ale platí, že pokud spatříme tornádo, je hlavní se co nejrychleji schovat a nesnažit se jej fotografovat, dokumentovat či snažit se zachránit majetek (Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023).

8. Diskuse

Bakalářská práce, jak již z názvu vyplývá, pojednává o tornádech ve vybraných rozvojových zemích a o tornádu na jižní Moravě. Než jsem se ale dostal k analýze tornád v rozvojových regionech a konkrétnímu tornádu v České republice bylo zapotřebí začít zširoka charakteristikou tornád. Definic je několik a v práci zmiňuji pravděpodobně nejznámější od Charlese A. Doswella III., amerického meteorologa zabývajícího se především konvektivními bouřemi a tornády. Jeho vymezení tornád se mi zdá výstižné a obsahuje vše pro to, aby si člověk dokázal představit, jak vzdušný vír vypadá a k čemu musí dojít, aby situace byla popsána jako tornádická. Doswellova definice byla také zmiňována nejvíce v rámci studií, které jsem použil pro napsání bakalářské práce. Doswella jsem ale nezmínil v práci pouze jednou, jeho jméno se objevuje i později v práci, například u dělení supercel na 3 typy. Velmi oceňuji českou knihu „Fyzika oblaků a srážek“ od Daniely Řezáčové a kolektivu (2007). Kniha je tedy především fyzikální povahy, obsahuje ale cenné informace, které mi pomohly pochopit a popsat témata týkající se konvektivní oblačnosti, supercel, tornád či stupnic, podle kterých se tornádům přiřazují kategorie. Český hydrometeorologický ústav v roce 1996 zřídil webovou stránku zabývající se problematikou tornád na českém území a od roku 2013 pracuje ČHMÚ ve spolupráci s Amatérskou meteorologickou společností, o.s. Webová stránka obsahuje jak definice, tak popis procesů, které se odehrávají v atmosféře. Můžeme na ní najít také všechny případy tornád na území České republiky i s jejich stručným popisem. Tato internetová stránka mi velmi pomohla v průběhu psaní celé bakalářské práce. Byla použita jak v obecném přehledu, tak i v kapitole 5.2. pojednávající o vybraných případech tornád v ČR od roku 2000. Knihy „*Meteorology Today*“ od Donalda Ahrense a Roberta Hensonse a „*Tornadoes*“ od Michaela Allabyho hodně přispěly především do 1. kapitoly bakalářské práce. Knihu „*Meteorology Today*“ doporučuji všem, které téma tornád, ale i dalších meteorologických fenoménů, zajímá. Je vhodná pro rozšíření vědomostí k dané problematice. Nepostradatelným zdrojem práce je i elektronický meteorologický slovník České meteorologické společnosti, který je průběžně zmiňován v průběhu první kapitoly práce. Slovník mi dobře posloužil k vysvětlení některých pojmů, především těch, které nejsou tak dobře známé. Ke stručnému zmapování historie tornád v České republice mi posloužila studie s názvem „*Tornadoes within the Czech Republic: from early medieval chronicles to the internet society,*“ která zachycuje různé případy tornád na našem území až do začátku 21. století a zároveň se věnuje i tomu, proč se zvyšuje počet tornád v ČR.

Nepostradatelným zdrojem byla Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy, kterou zpracoval ČHMÚ. Díky ní jsem byl schopen zpracovat poslední část práce o jihomoravském tornádu, nachází se v ní podrobný popis meteorologické situace včetně radarových snímků. Věnuje se také dokumentaci škod a na základě přiložených fotografií ukazuje sílu tornáda. Evropská laboratoř věnující se silným bouřím (ESSL) zpracovala podrobnou zprávu k dokumentaci tohoto tornáda. V bakalářské práci mi zpráva posloužila především k popisu toho, jak tornádo postupně ničilo jednotlivé obce. Celkově se mi k bakalářské práci zdroje hledaly poměrně dobře, ale za účelem dodržení stanoveného rozsahu práce bylo za potřebí některé informace zestručňovat a vybírat pouze to nejdůležitější.

Tornáda mě zajímá již od mala, a tak jsem rád, že jsem se jim mohl věnovat i v mé bakalářské práci. Některé informace mě opravdu překvapily, především extrémní případy, kdy tornáda dosahovala nepředstavitelných velikostí. V Evropě ale nepanují dostatečně příznivé podmínky, aby mohla taková tornáda vzniknout i zde. Avšak existují výjimky, konkrétně jihomoravské tornádo z roku 2021, které bylo nejsilnějším tornádem v Evropě od roku 2001. Dokonce podle analýzy ČHMÚ bylo jedním ze 4 tornád na světě s největším počtem úmrtí. Takle informace ve mně, ale určitě i v ostatních, vyvolala poměrně velký strach, jelikož si člověk najednou uvědomí, že i v ČR, kde na tento úkaz nejsme zvyklí, se může velmi silné tornádo ukázat. Důkazem toho, že se na našem území tornáda ukazovala vždy, je i Kosmova Kronika česká. V práci cituji konkrétní část, v níž se nachází zmínka o tornádu v Praze z roku 1119.

Velmi zajímavé bylo pro mě zjištění, že existují sekundární savé víry, které způsobují dodatečně velké poškození všeho, co jim přijde do cesty. Jeden člověk z mého okolí tornádo na jižní Moravě viděl na vlastní oči a tvrdil mi, že ta tornáda byla dvě. Zpočátku se mi tomu nechtělo věřit, jelikož fotografie k nalezení na internetových stránkách dvě tornáda neukazují. Je tedy pravděpodobné, že se jednalo o savý vír. Podle zpráv ČHMÚ se totiž i během jihomoravského tornáda savé víry objevily.

Během zpracovávání 2. kapitoly bakalářské práce, pojednávající o dvou, respektive tří stupnicích, jež se používají pro kategorizaci tornád jsem zjistil, že ne všechny studie respektují současné označování jednotlivých stupnic. V roce 2007 totiž proběhla aktualizace původní Fujitovy stupnice a používá se tedy označení EF0–5. Některé články ale stále používají starší označení F0–5. Podle mého názoru by se ale mělo používat stávající

označení (alespoň u tornád, jež se staly po roce 2007), aby nedocházelo ke zmatkům. Ani jedno označení není špatně ve smyslu, že by špatně zařazovalo tornádo. Jde jen o to, že je v současnosti platná aktualizovaná verze stupnice a používá označení EF0–5. V roce 2018 byla ESSL představena nová Mezinárodní Fujitova stupnice. V současné době ale nebyla oficiálně uznána, i přes to byla ale použita ve studii, která zdokumentovala jihomoravské tornádo. Pro mě to bylo poněkud matoucí, protože se v podstatě jedná již o 3. změnu v označování jednotlivých kategorií. V práci je tedy v částech čerpajících ze studie, jež používá stupnici z roku 2018, používáno nové označení v závorkách. Myslím si, že označování mohlo zůstat stejné, protože velká většina lidí zabývajících se tornády má zaužívané označení F0–5. Se změnou metodiky přiřazování souhlasím, protože nelze v Evropě aplikovat stupnici, která byla vytvořena pro americké druhy staveb.

Kapitoly týkající se rozvojových regionů se mi zpracovávala asi nejsložitěji, jelikož k ní neexistuje takové množství pramenů jako k ostatním částem bakalářské práce. I přes to jsem ale byl schopen najít poutavé informace. Situace v Bangladéši je doplněna o infobox pojednávající o Mezinárodním fóru o snížení rizik katastrof způsobené tornády v Bangladéši. V něm jsou informace, které mohou pomoci nejen rozvojovým zemím, ale i rozvinutým zemím, které nejsou zvyklé na tento přírodní úkaz. Zmiňuji tam například důležitost zvyšování povědomí o tornádech ve společnosti a zdůrazňuji také nezbytnost systému včasného varování. Zmíněné body v kapitole o tornádech v Bangladéši, jež určují, zda se jedná o tornádickou situaci nebo ne, jsou nezbytné k tomu, aby vznikla kvalitnější klimatologie tornád, která v Bangladéši téměř neexistuje.

V kapitole věnující se tornádům v ČR, a i jednomu konkrétnímu tornádu na našem území, mně zaujal graf vývoje počtu tornád od začátku 18. století do roku 2017. Jsou na něm vidět dva výrazné vzestupy počtu, konkrétně v první polovině 20. století, způsoben zvýšeným zájmem veřejnosti o tento jev a také zájmem meteorologů jej zkoumat. Následný pokles počtu je zapříčiněn socialistickým režimem, během kterého se termín „tornádo“ nepoužíval a jev byl ignorován. Vzestup na přelomu tisíciletí byl zapříčiněn rozvojem internetu a celkově rozšířením povědomí ve společnosti. Líbí se mi i myšlenka nahlašování tornád prostřednictvím webové stránky „www.tornada-cz.cz“, na níž se nachází formulář, a tedy kdokoliv by byl svědkem tornáda v ČR jej může nahlásit a dát tak vědět meteorologům. Ve formuláři se vyplňuje kromě místa výskytu také újmy na zdraví, popis škod, kontakty na možné další svědky. Lze vložit také fotografie nebo videa a další.

Do bakalářské práce jsem vybral několik silnějších tornád na území ČR od roku 2000, abych dokázal, že se zde tornáda opravdu vždy vyskytovala. Můžeme být rádi, že to není často, bohužel ale k nim i tak dochází. Především ničivé tornádo z roku 2021 způsobilo nepředstavitelnou zkázu v několika obcích. Na sociálních sítích vydal jeden amatérský meteorolog varování před tornády několik dní předem. Sklidil ale hodně posměchu a většina lidí tomu nevěřila. To je také důvod, proč jsem napsal tuto bakalářskou práci – abych přesvědčil některé lidi o nebezpečnosti tohoto jevu a možnosti, že se může objevit u nás.

9. Závěr

Z této bakalářské práce vyplývá, že tornáda jsou bezpochyby jedním z nejnebezpečnějších extrémních projevů počasí. Tento fakt dokazuje i fotodokumentace z míst, kde tornádo řádilo, ale i údaje o počtu obětí. V práci jsme se dozvěděli, že tornáda vznikají z oblaku typu Cumulonimbus, konkrétně ze supercel. Ne všechny vzdušné víry jsou však tornáda. Vír, který se nedotkne země, v České republice nazýváme trombou. Lidé si je často s tornády pletou, ale ve skutečnosti nejsou nebezpečné. Nebezpečné by se staly po doteku se Zemí, to už by se jednalo o tornádo. Meteorologové výraz „tromba“ používají jako souhrnný výraz pro všechny vzdušné víry. Je tedy dobré rozlišovat, v jakých případech je výraz použit. Práce shrnuje informace týkající se supercel a jejich dělení na klasické supercely, supercely s vysokým úhrnem srážek a s nízkým úhrnem srážek a charakterizuje jednotlivé druhy. Dozvěděli jsme se, že se tornáda dělí do dvou hlavních skupin, a sice na supercelární a nesupercelární. Supercelární tornáda jsou mnohem silnější a rychlost větru může dosahovat až 500 km.h^{-1} , jsou vázány na supercely. Nesupercelární tornáda vznikají zcela jiným způsobem a bývají zpravidla slabší povahy.

Pro zjednodušení charakteristiky síly tornáda se využívají především dvě stupnice. Fujitova stupnice (F-stupnice) nebo TORRO stupnice (T-stupnice). Drtivá většina záznamů o tornádech používá Fujitovu stupnici, jelikož byla první vytvořenou stupnicí používanou pro měření tornád. Největším problémem této stupnice byla její limitovanost pouze na USA a Kanadu, kde jsou stavební poměry jiné než například v Evropě. Od roku 2007 se tedy používá modernizovaná (rozšířená) Fujitova stupnice, která využívá několika indikátorů, podle nichž tornádům přiřazuje silové kategorie.

Bakalářská práce potvrzuje, že se tornáda vyskytují téměř na každém kontinentu. Nejvíce jsou postiženy USA a jejich „Tornado Alley,“ kde je výskyt tornád podpořen vlhkým a teplým vzduchem proudícím z Mexického zálivu. Sekce zaměřující se na Evropu dokazuje, že i zde se tornáda vyskytují, a tudíž se nejedná pouze o americký fenomén, jak si řada lidí stále myslí.

Zajímavostí je část pojednávající o vlivu globálního oteplování na tornáda. V práci zmiňují dva autory, kteří se tímto vztahem zabývají. Podle nich je velmi těžké určit, zda opravdu globální oteplování zvyšuje výskyt tornád. Tornáda zde totiž byla vždy a jejich zvýšený výskyt je především způsoben příchodem internetu a neustále se zvyšujícím povědomím mezi lidmi. Jeden z autorů však uvádí, že zvyšování teplot vede k vyšším

hodnotám CAPE, které jsou potřeba pro vznik tornád. Je tedy nutné tuto souvislost dále zkoumat.

Jedním z rozvojových regionů postižených tornády je Bangladéš. Objevují se zde klasická supercelární tornáda, ale i tornáda, která jsou navázána na tropické cyklóny. Během nich totiž mohou vzniknout podmínky pro vznik tornád a většinou se objevují daleko od oka hurikánu v tzv. dešťovém pásmu. Bangladéš je velmi náchylná na jakékoliv přírodní katastrofy, zejména na hurikány a tornáda. Je to dáno špatným stavem budov, které nesplňují určité standardy a jsou postaveny z nekvalitních a lehkých materiálů. V práci jsme došli k závěru, že Bangladéš je zemí s největším počtem úmrtí v důsledku tornád. Způsobeno je to především létajícími troskami, které se lehce do vzduchu uvolňují. Tornáda mají velký dopad na rozvojové regiony, především kvůli velmi husté zalidněnosti, ale také z pohledu dodávek vody a elektrické energie, které mohou být z důvodu poškození sítě omezeny či zcela zastaveny. V práci je zmíněno fórum, jež pojednávalo o možných aktivitách, které mohou obyvatelé lépe připravit na tuto situaci a snížit tak dopad tornád. Nedostatkem rozvojových zemí je také absence systému včasného varování, ale také nízký počet meteorologických stanic. Kvůli nízkému objemu dat tedy není situace moc dobře prozkoumaná a dochází k dezinformacím ve zpravodajství v těchto zemích. Systém včasného varování je nezbytný pro zachycení blížícího se tornáda a potencionálně záchraně velkého počtu lidí. Jihoafrická republika má stejné problémy, kterými jsou špatná kvalita staveb, nedostatečná informovanost obyvatel a absence systému včasného varování. Je tedy zapotřebí investovat nejen do kvality budoucích staveb a modernizace stávajících budov tak, aby dokázaly vydržet silný vítr panující během tornád, ale i do systému včasného varování a zvýšení kvality infrastruktury a sítí zajišťujících vodu a elektrickou energii.

Je pravda, že v České republice se tornáda objevují spíše zřídka, ale byla tady vždy a vždy tady budou. Nelze jim nijak zabránit, pouze být na ně připravený. Zdánlivé zvýšení počtu tornád oproti minulosti je způsoben příchodem internetu a také zájmem obyvatel tento jev zkoumat. Není tomu tedy tak, že by se na našem území objevovalo více tornád než dříve. Tornádo na jižní Moravě patří k těm pravděpodobně nejsilnějším v ČR, ale také nejsilnějším od roku 2001 v Evropě. Detailněji jsme popsali místa, kudy tornádo prošlo, v 6. kapitole, která dokazuje jeho ničivou sílu a připomněla nám, jak důležité je být na tyto situace připraven. Lidé z jižní Moravy ukázali ohromnou solidaritu a ochotu pomáhat postiženým a čelit následkům této katastrofické události.

10. Seznam použité literatury

AHRENS, C. Donald, 2009. Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment. 11th ed. Belmont, CA: Brooks/Cole, CengageLearning. ISBN 978-0-495-55573-5.

AKTER, Fatima a Hirohiko ISHIKAWA, 2014. Synoptic features and environmental conditions of the tornado outbreak on March 22, 2013 at Brahmanbaria in the east-central region of Bangladesh. Natural Hazards [online]. 74(3), 1309-1326 [cit. 2023-03-16]. ISSN 0921-030X. Dostupné z: doi:10.1007/s11069-014-1252-y

ALAM, M. a Reujan BHUIYAN, 2005. Tornado hazard in Bangladesh: nature, loss and coping. Journal of Business Administration [online]. 29(1), 97-104 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Edris-Alam/publication/264786826_Tornado_hazard_in_Bangladesh_nature_loss_and_coping/links/54e516ed0cf276cec17322fe/Tornado-hazard-in-Bangladesh-nature-loss-and-coping.pdf

ALLABY, Michael, 2004. Tornadoes. Rev. ed. New York. NY: Facts on File. ISBN 08-160-4796-0.

ANTONESCU, Bogdan, David M. SCHULTZ, Alois HOLZER a Pieter GROENEMEIJER, 2017. Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat. Bulletin of the American Meteorological Society [online]. 98(4), 713-728 [cit. 2023-03-08]. ISSN 0003-0007. Dostupné z: doi:10.1175/BAMS-D-16-0171.1

BIKOS, Dan, Jonathan FINCH a Jonathan CASE, 2016. The environment associated with significant tornadoes in Bangladesh. Atmospheric Research [online]. 167, 183-195 [cit. 2023-03-16]. ISSN 01698095. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosres.2015.08.002

BLAMEY, R., C. MIDDLETON, C. LENNARD a C. REASON, 2017. A climatology of potential severe convective environments across South Africa. Climate Dynamics [online]. 49(5-6), 2161-2178 [cit. 2023-03-16]. ISSN 0930-7575. Dostupné z: doi:10.1007/s00382-016-3434-7

BLUESTEIN, Howard B., 2013. Severe convective storms and tornadoes: observations and dynamics [online]. Chichester, UK: Published in association with Praxis Publishing [cit. 2023-03-08]. ISBN 978-3-642-05381-8.

BRÁZDIL, Rudolf, Kateřina CHROMÁ, Lukáš DOLÁK, Oldřich KOTYZA, Ladislava ŘEZNÍČKOVÁ, Petr DOBROVOLNÝ a Zbyněk ČERNOCH, 2019. Spatiotemporal variability of tornadoes in the Czech Lands, 1801–2017. Theoretical and Applied Climatology [online]. 136(3-4), 1233-1248 [cit. 2023-03-16]. ISSN 0177-798X. Dostupné z: doi:10.1007/s00704-018-2553-y

CONING, E. a B. ADAM, 2000. The tornadic thunderstorm events during the 1998-1999 South African summer. Water SA [online]. 26(3), 361-376 [cit. 2023-03-16]. ISSN 0378-4738. Dostupné z: https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/WaterSA_2000_03_1263.pdf

Česká meteorologická společnost, 2017. In: Elektronický meteorologický slovník (eMS) [online]. [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>

DIFFENBAUGH, Noah, Robert TRAPP a Harold BROOKS, 2008. Does Global Warming Influence Tornado Activity?. Eos, Transactions American Geophysical Union [online]. 89(53), 553-554 [cit. 2023-03-08]. ISSN 0096-3941. Dostupné z: doi:10.1029/2008EO530001

DOSWELL, Charles A., 2001. What is a tornado? [online]. [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: http://www.cimms.ou.edu/~doswell/a_tornado/atornado.html

DOSWELL, Charles a Donald BURGESS, 1993. Tornadoes and Tornadic Storms' A Review of Conceptual Model. Geophysical Monograph [online]. 79, 161-172 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: doi:10.1029/GM079

GOLIGER, A.M. a J.V. RETIEF, 2007. Severe wind phenomena in Southern Africa and the related damage. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics [online]. 95(9-11), 1065-1078 [cit. 2023-03-16]. ISSN 01676105. Dostupné z: doi:10.1016/j.jweia.2007.01.029

GOLIGER, A.M a R.V MILFORD, 1998. A review of worldwide occurrence of tornadoes. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics [online]. 74-76, 111-121 [cit. 2023-03-16]. ISSN 01676105. Dostupné z: doi:10.1016/S0167-6105(98)00009-9

GROENEMEIJER, Pieter, Alois M. HOLZER, Martin HUBRIG et al., 2018. The International Fujita (IF) Scale: Tornado and Wind Damage Assessment Guide. ESSL.

GROENEMEIJER, Pieter a Thilo KÜHNE, 2014. A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database. Monthly Weather Review [online]. 142(12), 4775-4790 [cit. 2023-03-27]. ISSN 0027-0644. Dostupné z: doi:10.1175/MWR-D-14-00107.1

HAQUE, Ubydul, Masahiro HASHIZUME, Korine KOLIVRAS, Hans OVERGAARD, Bivash DAS a Taro YAMAMOTO, 2012. Reduced death rates from cyclones in Bangladesh: what more needs to be done?. Bulletin of the World Health Organization [online]. 90(2), 150-156 [cit. 2023-03-16]. ISSN 0042-9686. Dostupné z: doi:10.2471/BLT.11.088302

Hodnocení dopadů ničivého tornáda na jihovýchodě Moravy 24. 6. 2021, 2022. ČHMÚ. Dostupné také z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2022/TZ_2022-06-24_mezinarodni_zprava_k_tornadu.pdf. Tisková zpráva.

Hodonínské S-centrum po tornádu: kraj hledá alternativy, 2021. In: Jihomoravský kraj [online]. Jihomoravský kraj [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.jmk.cz/content/22700>

CHAPMAN, David M., 1994. Natural hazards. Oxford: Oxford University Press. ISBN 0195535642.

International Forum on Tornado Disaster Risk Reduction for Bangladesh: To Cope with Neglected Severe Disasters, 2009. IAWE.

KIMAMBO, Offoro N., 2018. Tornadoes in South Africa: An Overview with a Case Study. Preprints [online]. [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: doi:10.20944/preprints201811.0547.v2

KOBZOVÁ, Eva, 1998. Počasí. Olomouc: Rubico. Knížka pro každého (Rubico). ISBN 80-858-3926-1.

KOMJÁTI, Kornél, Ákos VARGA, Ladislav MÉRI, Hajnalka BREUER a Sándor KUN, 2022. Investigation of a supercell merger leading to the EF4 tornado in the Czech Republic on June 24, 2021 using radar data and numerical model outputs. *Időjárás* [online]. 126(4), 457-480 [cit. 2023-03-22]. ISSN 03246329. Dostupné z: doi:10.28974/idojaras.2022.4.2

KOSMAS, Karel HRDINA a Marie BLÁHOVÁ, Magdalena MORAVOVÁ, 2011. *Kronika Čechů*. Vyd. 8., (V této úpravě a v Argu 1.). Praha: Argo. Memoria medii aevi. ISBN 978-80-257-0465-3.

KURILOVSKA, Lucia a Jana MULLEROVA, 2021. Tornado: a new phenomenon in central Europe. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference* [online]. 21(42), 213-220 [cit. 2023-03-08]. ISSN 13142704. Dostupné z: doi:10.5593/sgem2021V/4.2/s19.21

LACINOVÁ, Martina, Jan MUNZAR a Marek FRANC, 2007. Newly identified historical tornadoes in the Czech Republic from 16th to the 20th centuries. *Atmospheric Research* [online]. 83(2-4), 488-492 [cit. 2023-03-16]. ISSN 01698095. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosres.2005.10.019

MCDONALD, James R., 2001. T. Theodore Fujita: His Contribution to Tornado Knowledge through Damage Documentation and the Fujita Scale. *Bulletin of the American Meteorological Society* [online]. 82(1), 63–72 [cit. 2023-03-08]. ISSN 1520-0477. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)000<0063:TTFHCT>2.3.CO;2

Obří zkáza: Obce na jihu Moravy rozmetalo tornádo, záchranáři hlásí oběti [online], 2021. Seznam zprávy a ČTK [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: https://www.seznamzpravy.cz/clanek/poskozene-domy-pozar-dopravni-nehody-extremni-boure-uderila-na-hodoninsko-168131

OSOUCH, Marek, 2022. Jihomoravské hejtmanství otáčí, zničený domov pro seniory v Hodoníně opraví [online]. Mafra, a.s. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/brno/zpravy/kraj-otocil-opravi-domov-pro-seniory-s-centrum-hodonin.A220812_677865_brno-zpravy_mos1

PÚČIK, Tomáš, David RÝVA, Miroslav ŠINGER a Pieter GROENEMEIJER, 2022. Damage Survey of the Violent Tornado in Southeast Czechia on 24 June 2021 [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: https://www.essl.org/cms/wp-content/uploads/24-June-2021-violent-tornado-damage-assessment-.pdf

ŘEZÁČOVÁ, Daniela, Petr NOVÁK, Marek KAŠPAR a Martin SETVÁK, 2007. Fyzika oblaků a srážek. Praha: Academia. Gerstner. ISBN 978-80-200-1505-1.

SETVÁK, Martin, Milan ŠÁLEK a Jan MUNZAR, 2003. Tornadoes within the Czech Republic: from early medieval chronicles to the “internet society”. Atmospheric Research [online]. 67-68, 589-605 [cit. 2023-03-16]. ISSN 01698095. Dostupné z: doi:10.1016/S0169-8095(03)00075-9

Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021, 2021. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné také z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2021/Souhrnna_zprava_tornado_24.6.2021.pdf

SUFI, Fahim, Edris ALAM a Musleh ALSULAMI, 2022. A New Decision Support System for Analyzing Factors of Tornado Related Deaths in Bangladesh. Sustainability [online]. 14(10) [cit. 2023-03-16]. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su14106303

SULIK, Sławomir, 2022. Convective environment and development of a tornadic supercell in the Czech Republic on 24 June 2021. Meteorology Hydrology and Water Management [online]. [cit. 2023-03-28]. ISSN 2299-3835. Dostupné z: doi:10.26491/mhwm/150023

ŠPIČKOVÁ, Petra, 2022. Před rokem zasáhlo jih Moravy ničivé tornádo. Obnova obcí potrvá podle starostů minimálně 5 let [online]. Česká televize [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/3507654-pred-rokem-zasahlo-jih-moravy-nicive-tornado-obnova-obci-potrva-podle-starostu>

The Tornado and Storm Research Organisation, 2023. In: The Tornado and Storm Research Organisation [online]. Tornado and Storm Research Organisation [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://www.torro.org.uk/index.php>

The World Factbook, 2023. In: The World Factbook [online]. Washington DC: CIA [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/>

Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky, c1996–2023. In: Tornáda a jevy příbuzné na území České republiky [online]. Český hydrometeorologický ústav a Amatérská meteorologická společnost - o.s [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://www.tornada-cz.cz/>

Tornádo na Moravě, 2021. In: Hasičský záchranný sbor ČR [online]. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/script/docDetail.aspx?docid=22307850&doctype=ART&prev=true&lang=cs>

Tornádo?!, 2022. Lužice: obec Lužice. ISBN 978-80-907343-1-9.

USAR, 2006. In: USAR (Urban Search and Rescue Team, Vyhledávací a záchranný odřad do obydlených oblastí) [online]. CZI, s.r.o. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <http://www.usar.cz/webmagazine/home.asp?idk=1>

Weather Questions, 2023. In: South African Weather Service [online]. [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.weathersa.co.za/>

What is convection?, 2023. In: Met Office [online]. Exeter (Velká Británie): Crown [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://www.metoffice.gov.uk/>

ZÁRYBNICKÁ, Alena, Michal ŽÁK, Pavel KARAS a Taťána MÍKOVÁ, 2018. Když se blýská na časy: počasí a klima u nás i ve světě. Brno: CPress. ISBN 978-80-264-2304-1.