

**Univerzita Karlova**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



**Patrik Ashby**

**Středomořské cyklony a jejich vliv na počasí v Evropě**

Mediterranean Cyclones and Their Influence on the Weather in Europe

**Bakalářská práce**

Vedoucí práce: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

Praha 2021

## **Zadání bakalářské práce**

### **Název práce**

*Středomořské cyklony a jejich vliv na počasí v Evropě*

### **Cíle práce**

*Cílem práce je na základě rešerše převážně zahraniční literatury shrnout problematiku středomořských cyklon z hlediska jejich dynamiky, vlastností, četnosti a sezonality. Pozornost bude dále věnována projevům středomořských cyklon, a to především v oblastech mimo vlastní Středomoří, se zvláštním zřetelem na specifikaci oblasti, v níž se vliv těchto cyklon na počasí uplatňuje.*

### **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

*Práce bude mít rešeršní charakter, v omezené míře bude pro demonstraci prezentovaných jevů využito synoptických map z reanalýz. Primárním zájmovým územím studie je oblast Středomoří, rozšířená pro analýzu projevů středomořských cyklon na střední Evropu s přesahem do sousedních regionů.*

Datum zadání: 12. listopadu 2020

Jméno studenta: Patrik Ashby

Podpis studenta:.....

Jméno vedoucího práce: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

Podpis vedoucího práce: .....

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 5. 5. 2021

Podpis: .....

Patrik Ashby

**Poděkování:**

Rád bych tímto způsobem poděkoval svému školiteli RNDr. Miloslavu Müllerovi, Ph.D. za cenné rady, konstruktivní kritiku, a především trpělivost a veškerý čas, který mi věnoval při zpracování této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Práce má rešeršní charakter a zabývá se středomořskými cyklony v Evropě, jejich vznikem a trajektoriemi pohybu v kontextu mimotropických cyklon. Důraz je dále kladen na představení středomořských cyklon, jejich prostorového rozmístění a vlivu na počasí v Evropě. Cyklony ze Středomoří putují Evropou po dráhách, z nichž nejvýznamnější je ta s označením Vb, která míří z oblasti Janovského zálivu na severovýchod a cyklony na ní ovlivňují počasí především ve střední a východní Evropě. Průměrný počet Vb cyklon v Evropě je v rozmezí dvou až čtyř událostí za rok s průměrnou dobou existence 3,1 dne. Cyklony ze Středomoří musí často překonávat horský hřeben Alp procesem segmentace. Extrémní a dlouhotrvající srážky vypadávající z chladného týlu Vb cyklon jsou dále orograficky zesilovány v nižších pohořích střední Evropy. Cyklony Vb jsou zodpovědné za některé významné povodňové události v Evropě a silné sněžení v Apeninách, východních Alpách a dalších pohořích.

Klíčová slova: mimotropická cyklona, Středozeší, dráha Vb, retrográdnost, extrémní srážky, povodně

## **Abstract**

This is a research paper considering Mediterranean cyclones, their genesis, and trajectories of motion in the context of extratropical cyclones. Attention is mostly given to the presentation of Mediterranean cyclones, their spatial distribution and impact on weather in Europe. Cyclones from the Mediterranean region proceed through Europe following certain tracks where the Vb pathway, heading from the Gulf of Genoa towards the northeast, is the most compelling. Such cyclones affect weather especially in Central and Eastern Europe. The average number of Vb cyclones in Europe is roughly two to four events a year with an average lifetime of 3,1 days. Cyclones from the Mediterranean often have to cross the Alpine mountain range through the process of segmentation. Extreme and long-lasting precipitation falling from the cold sector of Vb cyclones is furthermore enhanced by low mountain ranges of Central Europe. Vb cyclones are also responsible for several significant flood events in Europe as well as heavy snowfall in the Apennines, eastern Alps and other mountain ranges.

Keywords: extratropical cyclone, Mediterranean, pathway Vb, retrogressive, extreme precipitation, flooding

# Obsah

Seznam použitých zkratek.....	7
1. Úvod.....	8
2. Mimetropické cyklony.....	10
2.1 Cyklogeneze.....	11
2.2 Sledování trajektorií cyklon.....	16
2.3 Dráhy cyklon.....	19
3. Středomořské cyklony.....	25
3.1 Vymezení regionu Středomoří.....	25
3.2 Cyklogeneze a pohyb středomořských cyklon.....	26
3.2.1 Cyklony vzniklé mimo Středomoří.....	27
3.2.2 Cyklogeneze ve Středomoří.....	28
3.2.3 Dráhy středomořských cyklon.....	30
3.2.4 Segmentace středomořských cyklon.....	32
3.2.5 Typizace povětrnostních situací u středomořských cyklon.....	33
3.3 Četnost a vlastnosti středomořských cyklon.....	33
3.4 Sezónní variabilita středomořských cyklon.....	36
4. Vliv středomořských cyklon na počasí v Evropě.....	39
4.1 Vliv středomořských cyklon na vítr.....	40
4.2 Vliv středomořských cyklon na úhrny srážek.....	40
4.3 Vliv středomořských cyklon na povodně.....	44
4.4 Vliv středomořských cyklon na sněžení.....	47
5. Diskuze.....	49
6. Závěr.....	51
Seznam literatury.....	52

## Seznam použitých zkratk

B	brázda nízkého tlaku nad střední Evropou
C	cyklona nad střední Evropou
Ec	východní cyklonální situace
hPa	hektopascal, jednotka pro měření tlaku vzduchu
HPE	události s vysokými úhrny srážek
L	označení tlakové níže na anglických synoptických mapách
LPE	události s nižšími úhrny srážek
N	označení tlakové níže na českých synoptických mapách
NEc	severovýchodní cyklonální situace
SLP	minima tlaku vzduchu přepočtená na hladinu moře
T	označení tlakové níže na německých synoptických mapách
TRZ	zóna rozpoznávání drah v Evropě
Vb	dráha pět „bé“ podle Bebbera a Köppena (1895)

# 1. Úvod

Cyklona, obecně známá i pod pojmem tlaková níže, je označení pro oblast nízkého tlaku vzduchu, kterou často doprovází vypadávající srážky ve formě deště, sněhu a dále také silný vítr. Standardně se cyklony dělí na tropické a mimotropické podle zeměpisné šířky a oblasti, kde ke vzniku odpovídající cyklony dochází. Z médií často slyšíme o hurikánech, které do jižní části Severní Ameriky a oblasti střední Ameriky přináší vytrvalé deště, velmi silný vítr a projevy bouřlivého vzduchu. Je však nutné si uvědomit, že i v případech tajfunů v severozápadním Tichomoří a cyklonů v Indickém oceánu se jedná o jedno a to samé, a to sice tropickou cyklonu (Rýva 2015). Tento druh tlakových níží představuje poruchu v atmosféře s průměrným horizontálním rozměrem několika set kilometrů, velmi nízkými hodnotami tlaku vzduchu ve středu a vysokými nárazy větru, které mohou dosáhnout hodnot až 100 m/s. Zdrojem energie tropických cyklon jsou povrchové vody tropických částí oceánů s teplotou vyšší než 26 °C (Dunn 1951).

V našich zeměpisných šířkách, konkrétně v oblasti střední Evropy, se běžně setkáváme s mimotropickými cyklonami, jež se od svých protějšků v nižších zeměpisných šířkách liší v první řadě většími rozměry a spojením se systémy atmosférických front (Rýva 2015). Obvykle se tento druh cyklon vyskytuje v pásu mezi subtropy a polárními oblastmi, podobně jako související anticyklony (oblast vysokého tlaku vzduchu), jež mohou postup tlakových níží blokovat a podpořit tak vliv cyklony nad určitým územím, což způsobí následné povodně. Vzduch všeobecně v tlakových nížích stoupá, ochlazuje se a vodní pára kondenzuje a formuje tak oblaky. Projevem tlakových níží bývá zatažená obloha, vytrvalý déšť a dále tvorba konvektivních bouří. Pro zmiňované tlakové útvary, jež jsou následně vyjádřeny v synoptických mapách a zmíněny předpovědích platí, že musí mít uzavřenou alespoň jednu izobaru.

S cyklonami souvisí poměrně známý koncept, jemuž se opakovaně dostává prostor v aktuálních impaktovaných člancích. Jedná se o středomořské cyklony a spřízněnou dráhu Vb (Bebber 1891), které typicky zasahují střední Evropu a jsou často zmiňovány v souvislosti s extrémními srážkami a následnými povodněmi. Je známo, že tento typ cyklon kromě střední Evropy ve svých finálních fázích zasahuje i oblasti na západ/východ od skutečné dráhy Vb. Prvním cílem je na základě literatury představit koncept středomořských cyklon z hlediska jejich vývoje, pohybu, vlastností, četnosti



výskytu a sezónní variability. Druhým cílem práce je objasnit projevy středomořských cyklon i mimo Středomoří a specifikovat oblast v Evropě, kde ovlivňují počasí.

Kapitola 2 se věnuje mimotropickým cyklonám obecně a představuje zásadní procesy jejich vzniku a sledování. Dále jsou v rámci této kapitoly nastíněny historické, ale i moderní koncepty drah cyklon v Evropě. Kapitola 3 hovoří o středomořském typu těchto cyklon, jejich vlastnostech, sezónní variabilitě a drahách. Čtvrtá kapitola pak rozebírá vliv středomořských cyklon na počasí v Evropě, zejména na úhrny srážek a povodně, ale také na vítr či sněžení.

## 2. Mimotropické cyklony

Už je tomu více jak století, kdy si vědci a nadšenci po celém světě začali uvědomovat, že oblasti s klesajícím barometrickým tlakem jsou často doprovázeny meteorologickými jevy jako jsou srážky a vítr. Mnohdy se stávalo, že prognostici spojovali mimotropické cyklony s vláhou (často ve vztahu k zemědělství) a povodněmi, aniž by byl termín cyklony oficiálně zaveden. Prvním, kdo téma popularizoval, byl ke konci 19. století Wilhem Jacob van Bebber (1891). Byl to on, kdo přišel s teorií o cyklonách, která se věnovala především pohybu středů tlakových níží. Na základě trajektorií těchto středů pak Bebber sestavil několik odpovídajících drah a jejich směr znázornil do mapy Evropy. Teprve na počátku 20. století však došlo na vědce zabývající se jevy v atmosféře, kteří začali dávat dohromady ucelenější obrázek o vývoji a pohybu systémů nízkého tlaku vzduchu a počasí, které je provází (Nugent et al. 2019).

Mimotropická cyklona (extratropical cyclone) je typ systému nízkého tlaku vzduchu vytvořeného ve středních nebo vysokých zeměpisných šířkách. Jedná se o druh cyklon, který na našem území běžně vidáme v průběhu celého roku a představuje kontrast k prudším a méně rozlehlým cyklónům nebo hurikánům v tropech, jež se na rozdíl od studovaných cyklon tvoří v oblastech s relativně homogenními teplotami a které se na území Česka nevyskytují (Encyclopaedia Britannica 2020). Cyklonální cirkulace je definována pohybem vzduchu s vertikální osou rotace, kde vzduchové částice mění směr svého pohybu proti směru hodinových ručiček na severní polokouli, zatímco v případě jižní zeměpisné šířky systém nízkého tlaku vzduchu rotuje po směru hodinových ručiček (Sobíšek et al. 1993). Tato rotace atmosférických cyklon je způsobena dějem, kdy vítr směřuje z oblastí vysokého tlaku vzduchu do oblastí nízkého tlaku vzduchu a je vychýlen Coriolisovou silou. V praxi to znamená, že na severní polokouli je proudění vychýleno napravo od síly horizontálního tlakového gradientu a na jižní polokouli vlevo.

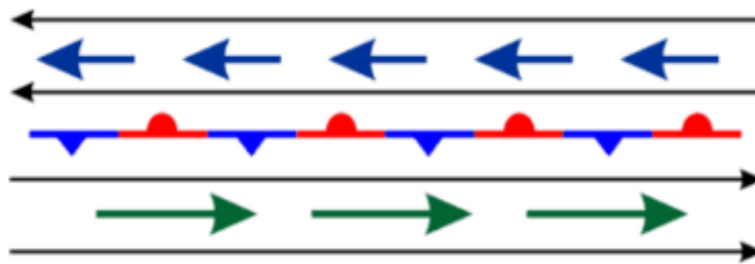
Mimotropické cyklony získávají energii při vývoji z horizontálních teplotních rozdílů, které v atmosféře existují. Tyto výchytky v teplotách tak pomáhají zajistit instabilitu potřebnou pro genezi a následnou tvorbu výrazných frontálních systémů, jež postupující cyklony doprovází (Clay 2019). Středů cyklon, ať už tropických či mimotropických, se na českých synoptických mapách označují písmenem „N“ (jako níže), na anglických mapách písmenem „L“ a na mapách z německých meteorologických institutů „T“ (Sobíšek et al. 1993).

## 2.1 Cyklogeneze

Cyklogeneze je vznik nebo eventuální zesílení již existující tlakové níže v atmosféře. Tento pojem vznikl ze dvou slov, termínů „cyklona“ a „genesis“ (vznik či zrození). K procesu tvorby cyklon dochází zejména na předních stranách výškových brázd nízkého tlaku vzduchu ve střední a horní troposféře nebo v oblastech atmosférických front. Cyklona má obecně několik stádií svého vývoje, během nichž postupně získává energii a mohutní. Při počátečním vývoji mimotropických cyklon dochází k různým typům geneze a principy pro úspěšný vývoj cyklony tkví zejména ve frontálních vlnách, anomáliích potenciální vorticity ve vyšších vrstvách troposféry a procesech ve spodních vrstvách troposféry (Graf et al. 2016). Pro vysvětlení procesu tvorby a následného zániku cyklony existují dva uznávané modely: model cyklony podle norské meteorologické školy a Shapirův-Keyserův model cyklony (Sobíšek et al. 1993).

Jedni z průkopníků, co se výzkumu a zavedení modelu cyklony týče, byli Norové Vilhem a Jacob Bjerknes, Halvor Solberg a Švéd Tor Bergeron, kteří krátce po první světové válce přišli s prvně jmenovaným modelem cyklon. Ten byl v průběhu let několikrát modifikován, avšak do dnešního dne poskytuje způsob, jak popsat vývoj a strukturu pohybující se tlakové níže a doprovázející počasí ve středních zeměpisných šířkách nad kontinenty. Jejich model mimotropické cyklony je založen na popisu vývoje struktury atmosférických front podle povětrnostní situace, která panovala 15. srpna 1918. Norové a Švéd tvrdí, že cyklona se zpočátku vyvíjí spolu s frontální vlnou, jež je tvořena teplou a studenou frontou v přední, respektive zadní části cyklony. Frontální vlna se během vývoje cyklony zkracuje, ale zároveň roste její amplituda díky rychleji se pohybující studené frontě, která tak postupně dohání frontu teplou, což pak následně vede ke vzniku okluzní fronty (Meteorologický slovník 2015).

Na obr. 1 je znázorněna stacionární atmosférická fronta v ose brázdy nízkého tlaku vzduchu s proudícím studeným vzduchem na severu (modré šipky) a teplým na jihu (šipky zelené). Tyto dvě vzdušné masy proudí rovnoběžně s frontou, ale v opačných směrech, a právě díky odlišnému směru proudění se vytváří rotace.

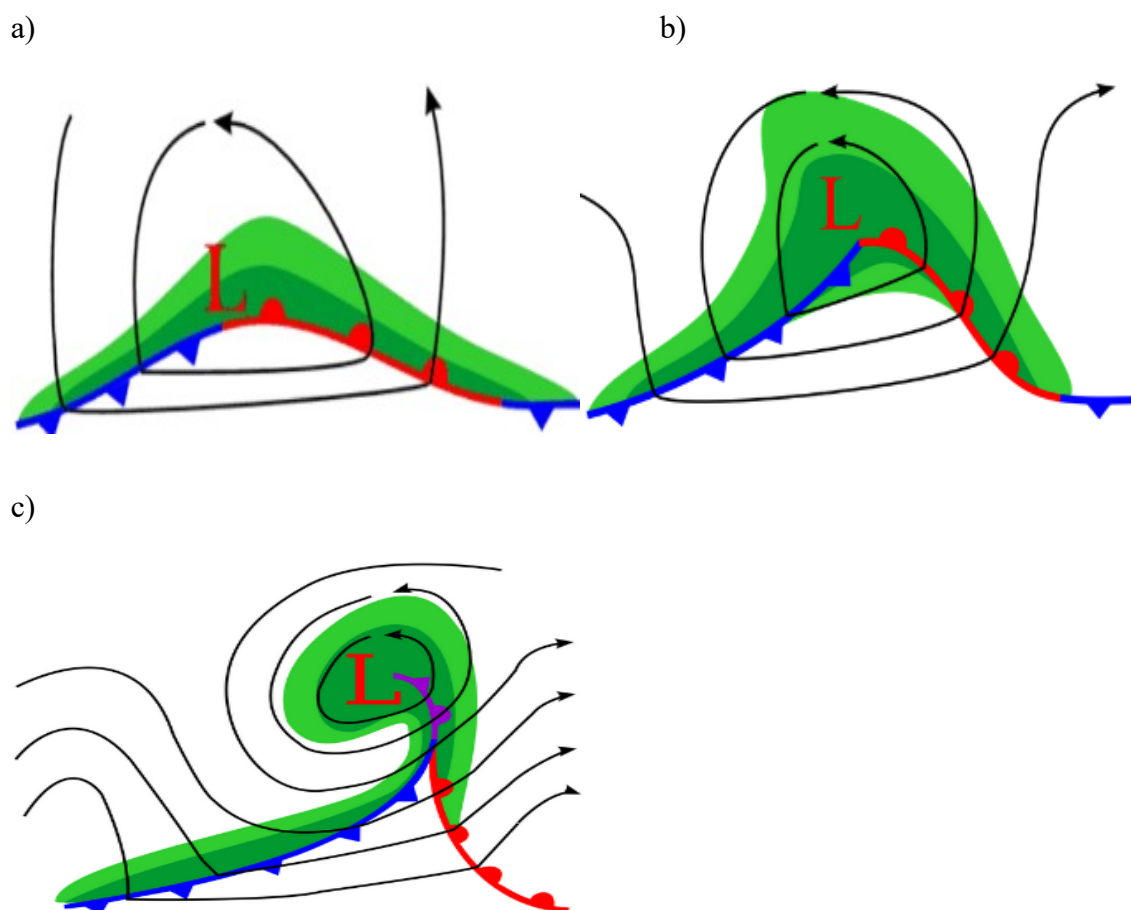


**Obr. 1:** Počáteční fáze cyklogeneze podle norského modelu. Převzato z: Nugent et al. (2019)

Posléze dochází k formování zmíněné frontální vlny (obr. 2a), přičemž se studená fronta pohybuje směrem na jih a tlačí teplejší a méně hustý vzduchu směrem vzhůru. Teplý vzduch, který se tlačí na sever, současně natéká na studenou vzduchovou hmotu před sebou. Tímto mechanismem se v další fázi cyklogeneze podle norského modelu vytvoří sloupec výstupných pohybů a úzký pás srážek. Tlaková níže je následně řízena především západními až severozápadními větry ve svrchní části troposféry a během 12 až 24 hodin po iniciaci cyklogeneze se z ní stává cyklona ve stádiu zralosti (obr. 2b) a se začínajícím procesem okluze (obr. 2c).

Výše zmiňovaný norský model cyklogeneze byl dalšími autory rozveden o termín baroklinních vln. S baroklinními vlnami, což jsou v podstatě poruchy zonálního proudění projevující se zvlněním zonálních proudnic do meridionálního směru, se setkáváme především ve středních zeměpisných šířkách a jejich postupný vývoj silně závisí i na horizontálním teplotním gradientu (Řezáčová et al. 2007). S rostoucí kinetickou energií baroklinních vln se zvyšuje baroklinní instabilita. Řezáčová et al. (2007, s. 60) dále tvrdí, že „vývoj baroklinní vlny může za předpokladu baroklinní instability vyústit ve zformování tlakových níží a výší – základních tlakových útvarů v zemském ovzduší.“

Jak již bylo zmiňováno, některé mimotropické cyklony jsou charakteristické svým rychlým vývojem. Během tohoto vývoje mezi sebou interagují výšková a přízemní pole a baroklinní porucha se tak přesouvá z vyšších vrstev troposféry do vrstev nižších. Přes formování studené a teplé fronty, sektorové rozdělení cyklony a spojení front pak v krátkém časovém sledu vzniká fronta okluzní (obr. 2c).



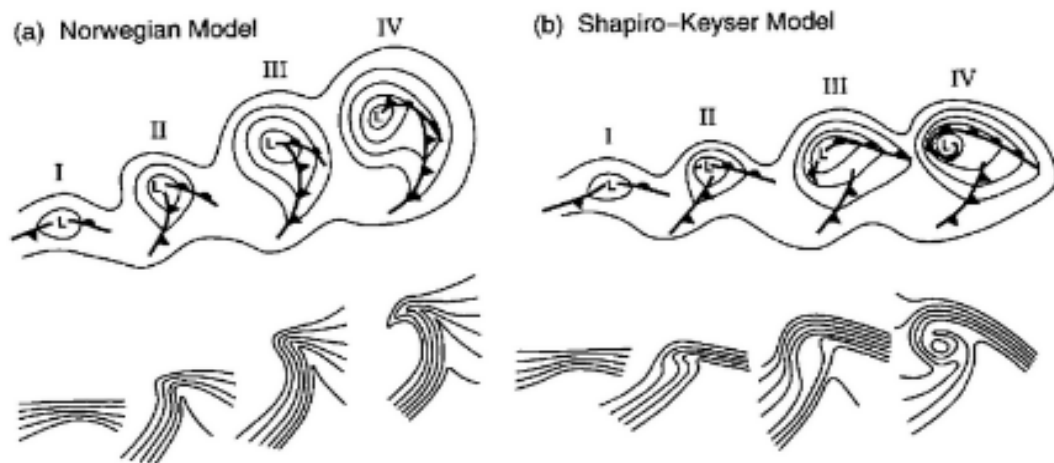
**Obr. 1:** Jednotlivá stádia vývoje cyklony podle norského modelu cyklon. a) Mladá cyklona ve formě frontální vlny. b) Plně vyvinutá cyklona ve stádiu zralosti. c) Stádium okluze. Převzato z: Nugent et al. (2019)

Ačkoliv je norský model vnímán jako klasický a koncepční model pro mimotropické cyklony, pro popis cyklon nad mořem je vhodnější koncepční model Shapirův-Keyserův, jelikož prvně jmenovaný model je určen spíše pro popisy cyklon nad pevninou. Druhý model je vhodný pro popis vývoje struktury atmosférických front, zejména pak u nad mořem rychle se vyvíjejících mimotropických cyklon.

Shapiro a Keyser (1990) s pomocí studií, jež se zaměřovaly na cyklony v oblasti severozápadního Atlantiku, popisují první stádium tvorby cyklony podobně, jako norský model. To znamená, že se nad mořem vyskytuje mladá cyklona ve formě frontální vlny (Schultz et al. 1998). V čem se ale novější model podstatně liší, je, že vzniká struktura front ve tvaru písmene T, při čemž studená fronta postupuje směrem do teplého sektoru cyklony, avšak kolmo k teplé frontě, proto také označení písmenem T. Následně dochází k ohýbání teplé fronty kolem středu cyklony vlivem rozpadu části studené fronty

(Meteorologický slovník 2015). Tímto způsobem dojde k vytvoření uzavřené oblasti s relativně teplejším vzduchem blíže středu cyklony vlivem chladnějšího vzduchu z okolí a vzniká teplá sekluze<sup>1</sup>.

Z popisu plyne, že Shapirův-Keyserův model cyklon začíná stejným procesem, a to sice narušením frontální zóny. Hlavní rozdíl tohoto modelu tkví v tom, že místo toho, aby studená fronta dohnala teplou, tak se směrem k ní pohybuje kolmo, aniž by se s ní spojila, a vzniká tak struktura ve tvaru písmene T (viz b) u obr. 3). Zatímco u klasického norského modelu tvoří spojení studené s teplou frontou okluzi, v tomto případě je zakřivený oblačný pás zobrazen jako teplá fronta (podle tvaru nazývaná jako hammerhead – kladivoun). Tato zprohýbaná teplá fronta v následujícím kroku začne rotovat kolem prohlubujícího se středu systému, kde je nejnižší tlak (stupeň III a IV na obr. 3 b), a v konečné fázi dochází k uzavření oblasti teplejšího vzduchu chladnějším vzduchem z okolí (Shapiro, Keyser 1990). Cyklony, které se vyvíjejí podle Shapirova-Keyserova modelu, mají zpravidla oproti norskému modelu cyklon protáhlý tvar od západu k východu (Meteorologický slovník 2015).



**Obr. 3:** Rozdíl mezi norským a Shapiro-Keyserovým modelem cyklon a jednotlivá stádia cyklogeneze. a) Norský model cyklon. b) Shapiro-Keyserův model cyklon. Černé křivky představují izotermy, dále jsou tučně zvýrazněné studená a teplá fronta poblíž středu cyklony „L“. Převzato z: Schultz et al. (1998)

<sup>1</sup> Kapsa teplého vzduchu v týlové části cyklony, která je obklopena chladnějším vzduchem.

Kromě výše zmiňovaných procesů cyklogeneze, které souhrnně můžeme označit jako typ A, jelikož oba souvisejí s frontální vlnou, existují ještě další dva odlišné mechanismy, které tvoří a podporují vznik mimotropické cyklony, typy B a C. Typ B cyklogeneze je iniciován poruchou ve vrchní vrstvě troposféry, na rozdíl od typu A, který záleží především na zesilování frontální vlny v nižších hladinách atmosféry (Petterssen a Smebye 1971). Vývoj cyklony typu B začíná, když se již existující pohyblivá brázda nízkého tlaku vzduchu ve středních a vrchních vrstvách atmosféry, s kladnou vorticitou<sup>2</sup> na její přední straně, rozprostře nad nízkou situovanou oblastí teplé advekce (Petterssen a Smebye 1971). Toto rozpoložení následně vytváří oblast nerovnováhy a cyklona v průběhu tohoto procesu zesiluje na intenzitě a vzdálenost mezi vyšší a nižší vrstvou se zkracuje. Výsledkem cyklogeneze typu B je termální struktura, která se v jistých ohledech podobá klasické okluzi.

Další autoři k typu A a typu B cyklogeneze přišli s teorií typu C, kde je iniciální fáze vývoje cyklony řízena již existující anomálií potenciální vorticity ve vrchních vrstvách troposféry. V raných fázích je typ C cyklogeneze nerozeznatelný od typu B, avšak následný vývoj neodpovídá teorii vzájemně se ovlivňující svrchní vrstvy troposféry a oblasti teplé advekce ve spodní troposféře. Dynamika cyklogeneze typu C je ovládnuta spíše působením latentního ohřívání (latent heating) ve středních vrstvách (Plant et al. 2003). Toto ohřívání může následně generovat důležité anomálie potenciální vorticity, které pak interagují s již existujícími faktory ve vrchních vrstvách. Zjednodušeně tak lze konstatovat, že u cyklogeneze typu B se jedná o působení vrstev směrem „shora dolů“, zatímco u typu C je směr působení faktorů ve vrstvách troposféry orientován „zdola nahoru“.

Pokročilé i konečné fáze vývoje cyklon jsou patrné k pozdnímu odpoledni nebo brzkému večeru, zatímco k rozpadu cyklon (cyclolysis) dochází většinou brzy nad ránem (Trigo et al. 2002). Charakter počasí v oblasti působící cyklony záleží především na stadiu jejího vývoje a na druhu vzduchových hmot, které se na jejím vývoji podílejí (Sobíšek et al. 1993).

---

<sup>2</sup> Vorticity – obecně vektorová veličina, která je bodovou mírou rotace vzduchu (Sobíšek et al. 1993)

## 2.2 Sledování trajektorií cyklon

Mobilní tlakové níže se po svém vzniku dávají do pohybu a jejich postupující středy tak tvoří trajektorie, které lze sledovat. Cyklony jsou důležitou složkou klimatu a pro jejich odhalení a následné sledování již bylo vynaloženo značné úsilí. Sledování začalo manuálním způsobem, kde se cyklony identifikovaly jako minima tlaku vzduchu přepočteného na hladinu moře (SLP – sea level pressure). Dále se měřila intenzita cyklon a důležitým faktorem byla i doba existence cyklony, většinou se počítaly jen cyklony s existencí nad 24 hodin. Při manuálních analýzách výskytu cyklon došlo k zaznamenání jejich trajektorií několika meteorology, čímž vznikl první subjektivní pohled na koncept drah (viz Bebbera 1891, kapitolu 2.3). Následovalo doplnění ve formě synoptických schémat a satelitního snímkování a později i obohacení o numerické modely, jež vedly k digitalizaci a automatizaci sledování cyklon po světě (Sinclair 1994).

Velká množství dat o cyklonální činnosti na přelomu tisíciletí, která musela být vzápětí analyzována, podnítila zájem o automatizaci procesu sledování. Z tohoto důvodu byly vyvinuty nové metody pro identifikaci a sledování, frekvence pohybu a intenzity nejen systémů tlakových níží, ale i jednotlivých cyklon. Pro identifikaci atmosférické cyklony jsou potřeba alespoň dvě charakteristiky: anomálie v poli meteorologické proměnné a dočasná konzistentnost tohoto prvku (König et al. 1993). Automatické sledování a identifikování cyklon samotných a následné zaznamenávání trajektorií, po kterých se pohybují, silně záleží na kvalitě podkladů (datasets). Významný problém při sledování a detekování mimotropických cyklon je způsoben počtem cyklon v oblasti sledování. Čím vyšší je počet cyklon v některé z konkrétních oblastí, tím hůře se pak na základě jejich trajektorií pohybu přiřazují odpovídající dráhy (Blender a Schubert 2000).

Většina již existujících modelů pro sledování (tracking) cyklon využívá algoritmy analyzující definované podklady (grid dataset). Tento podklad si lze zjednodušeně představit jako mřížku, kde každý čtverec (grid) funguje jako bod, který je pro určitou proměnnou analyzován. Mezi modely sledování můžeme zařadit detekci podle tlaku vzduchu (sledování podle středu cyklony) přepočteného na hladinu moře, detekci pomocí absolutní topografie a podle cyklonální vorticity.

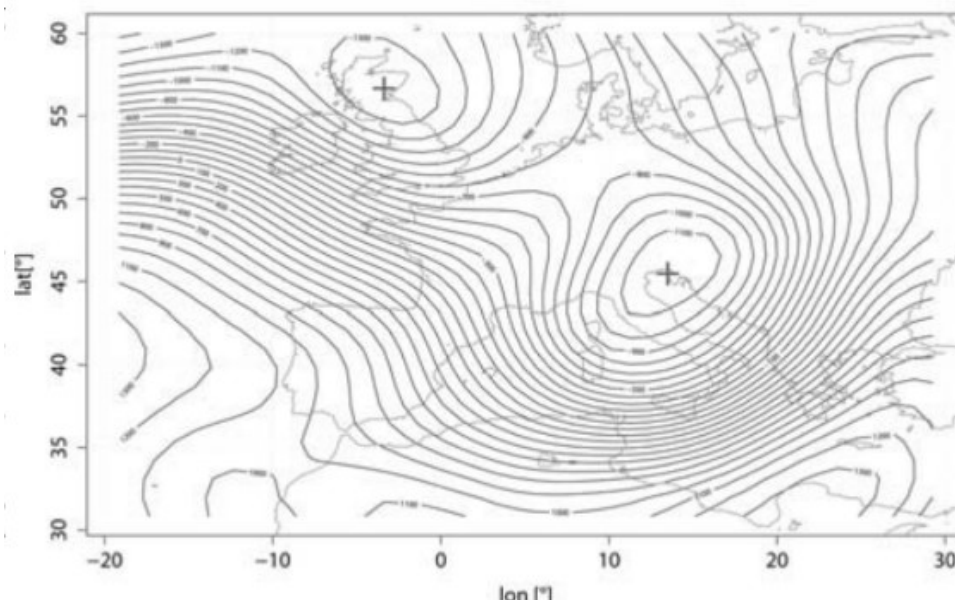
Některé metody detekování a sledování definují cyklony jako minima tlaku na střední hladině moře (Blender et al. 1997; Wernli a Schwierz 2006). Jedná se o nejjednodušší z metod, která vede k identifikaci mnoha podstatných tlakových útvarů



(Pinto et al. 2005). Prvním krokem při metodě sledování podle tlaku uvnitř cyklon je, že se určí lokální minima tlaku vzduchu přepočtené na hladinu moře. Následuje krok, kdy je pro každé minimum zjištěna nejbližší uzavřená izobara, která oblast nízkého tlaku vzduchu obklopuje. Tím se vytvoří nepravidelná struktura, kterou pak nazýváme cyklonou. Dále se určují různé charakteristiky jako: geografická poloha středu cyklony, velikost cyklony, hodnota tlaku ve středu cyklony a hodnota tlaku na zmiňované nejbližší izobare, která celou oblast nízkého tlaku rámuje (Wernli a Schwierz 2006).

Ve většině případů se metoda sledování podle tlaku ve středech cyklon dále rozvíjela z hlediska kritérií. To znamená, že jsou do analýzy zahrnuty např. pouze cyklony, jejichž střed měl podle Muskuluse a Jacoba (2005) hodnotu tlaku menší než 1015 hPa. Akperov a Mokhov (2010) pak např. zahrnuli i kritérium alespoň 24hodinové doby existence cyklony. Přístupy, sledující cyklony skrze jejich středy s nízkou hodnotou tlaku, ale často nadhodnocují hluboké a silně vyvinuté cyklony, zatímco menší systémy nízkého tlaku opomíjejí. Mezi ně se řadí zejména rychle se pohybující cyklony v brzkých a pozdních fázích jejich životního cyklu. Pro tyto systémy lépe poslouží metoda, která zkoumá lokální maxima vorticity jednotlivých tlakových níží (Pinto et al. 2005).

Středy cyklon se dále sledují i pomocí geopotenciální výšky izobarických hladin (Raible et al. 2008). Nejčastěji se pro zaznamenání trajektorií středů cyklon používá hladina 1000 hPa, jejíž nadmořská výška je v průměru 100 m, což není větším rozdílem oproti sledování cyklon na střední hladině moře. Hofstätter a Chimani (2012) ve své práci však pro sledování cyklon v oblasti Alp a jihu Evropy používali hladinu 700 hPa. Důvodem je vznik nehomogenit v nižších hladinách ve formě slabých signálů nízkého tlaku vzduchu, které mohou být snadno a mylně považovány za středy systémů nízkého tlaku vzduchu. Na obr. 4 je k nahlédnutí situace z roku 2002, kde je znázorněna izobarická hladina 700 hPa a nad jižní Evropou se nacházející tlaková níže.



**Obr. 4:** Analýza situace z 11. srpna 2002 v 18 UTC v Evropě. Geopotenciální výška izobarické hladiny 700 hPa je vyjádřena izohypsami, střed tlakové níže znázorněn křížkem. Převzato z: Hofstätter a Chimani (2012)

Další přístupy detekují a sledují cyklony skrze metodu vorticity (vorticity fields) a hledáním jejího maxima (Sinclair 1994; Murray a Simmonds 1991). Sledování podle metody cyklonální vorticity má fyzikální základ, jelikož střed rotace cyklony lépe souvisí právě s tímto fenoménem než s minimem tlaku. Metoda vorticity rozpoznává menší a pohyblivější systémy, pro které ještě nevznikly uzavřené středy nízkého tlaku vzduchu, a obecně identifikuje cyklony v raných fázích jejich vývoje (Sinclair 1994). Je tu ale ještě jeden pádný důvod pro použití metody vorticity místo metody tlaku pro lokalizování cyklon. V raných fázích vývoje cyklon může vlivem zesilujících meridionálních posunů při použití metody zkoumající tlak vzduchu lokální minimum tlaku zmizet. Slabší střed vorticity však zůstává s použitím této metody sledování viditelný a cyklona tak může být snáze odhalena a následně analyzována (Murray a Simmonds 1991). To potvrzuje, že metoda tlaku má sklony k identifikaci hlubších a pomaleji se pohybujících systémů nízkého tlaku vzduchu, zatímco mnoho mobilních systémů bez stanoveného lokálního minima tlaku nedokáže rozpoznat. Pro takovéto malé a pohyblivé cyklony se lokální minimum tlaku do určité fáze cyklogeneze nemusí objevit.

Sledování metodou vorticity má však také své nedostatky, kdy na synoptických mapách může některé podlouhlé a zakřivené zóny brázd nízkého tlaku vzduchu chybně identifikovat jako cyklony. Pro tento účel se určují anomálie reaktivní vorticity. V Evropě

pak v případě výrazné vorticity v kombinaci s blokující oblastí vyššího tlaku dochází ke zpomalování postupu cyklon a jejich sklonům k retrográdnosti (Sandev 2017).

Další metody sledování cyklon kombinují dva uvedené postupy výše. Jedná se tedy především o objektivní identifikaci cyklon skrze určení geopotenciální výšky izobarické hladiny 1000 hPa a zkoumání maxima vorticity v hladině 850 hPa, jako to udělali König et al. (1993). Tato kombinovaná metoda umožňuje analýzu dvou odlišných polí a sledování stacionárních a pohyblivých cyklon. Kombinace dále odstraňuje problém nedostatečných informací o cyklonách a jejich pohybu, které nám poskytují metody využívající pouze jeden z parametrů diskutovaných výše (Ulbrich et al. 2009).

Ačkoliv má každá ze zmiňovaných metod nedostatky, tak dobře slouží především pro mimotropické oblasti, kde může být cyklonální aktivita spojována se silnými odchylkami v tlakovém poli a poli vorticity (Hodges 1994). Pomocí těchto sledovacích technik a toků vlhkosti je možné pozorovat cyklony nebo předpovědět jejich možný výskyt a odvodit tak i informace o cyklogenezi, šíření cyklon v prostoru a jejich rozpadu. Zejména informace o raných fázích cyklogeneze, ke které dochází například v oblasti Janovského zálivu v případě středomořských cyklon, se jeví jako velmi potřebné pro stanovení trajektorie pohybu a vlivů cyklony, jež zasahují i oblasti daleko od místa vzniku.

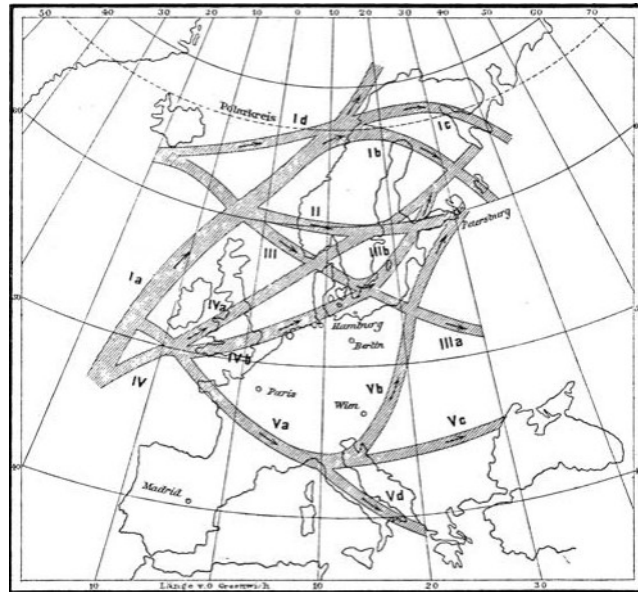
### **2.3 Dráhy cyklon**

Na základě sledování trajektorií cyklon vznikly obecně chápané a uznávané dráhy, po nichž cyklony postupují. Oblasti, kde k cyklogenezím dochází, a tudíž se jedná o počáteční bod trajektorií cyklon, ovlivňují počasí nepřímo skrze advekci vodní páry do různých dalších regionů na evropském kontinentu. Oblasti Jaderského a Středomořského moře často fungují i přímo jako lokální zdroje vlhkosti, když jimi cyklony prochází, a tudíž se tyto cyklony o vlhkost obohacují (Rudari et al. 2004). V tomto konkrétním případě se jedná o specifický pás pohybu cyklon z jihu až jihozápadu Evropy do oblastí střední a východní Evropy, jež tvoří důležitý faktor při vyskytujících se dlouhotrvajících a vydatných deštích a povodních. Je však důležité zmínit, že šíření cyklon z oblastí Středomoří a Jaderského moře není jediným, které se v Evropě objevuje.

Jako první přišel s myšlenkou kategorizace cyklon v Evropě podle trajektorií pohybu, na základě analýzy přízemních barometrických map, W. J. van Bebber ke konci 19. století. Spolu s W. Köppenem rozdělili dráhy izolovaných tlakových minim do pěti kategorií *I* až *V* a dále na poddruhy (Bebber a Köppen 1895).

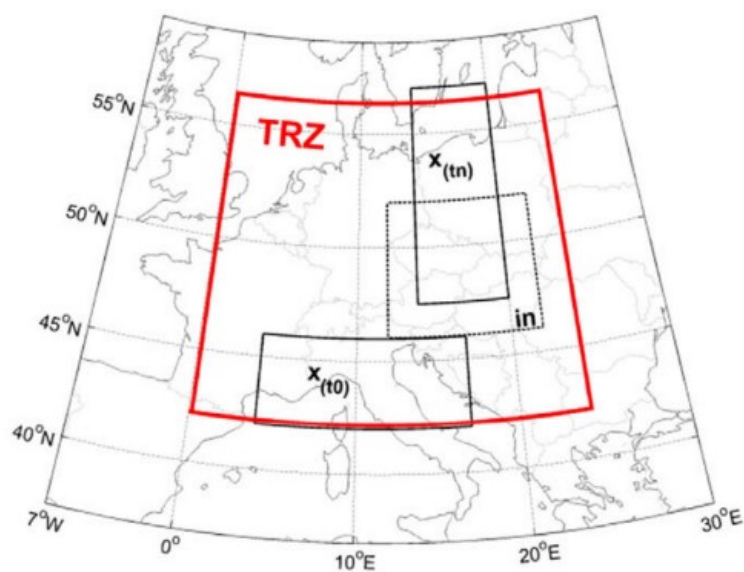
Jak lze vidět na obr. 5, dráhy *I* jsou situovány nad oblastí severní Skandinávie, západně od Britských ostrovů a dráha *Id* svým počátkem sahá dokonce až nad jižní okraj Islandu. Dráha *II* pak sledovala pohyb tlakových níží ze stejné výchozí oblasti jako dráha *Id*, avšak směrem na východ přes Norsko, Švédsko, Botnický záliv až po jižní pobřeží Finska. Dráha *III* má též stejný počáteční bod, ale je specifická svou jihovýchodní orientací a zejména větvením na poddruhy *IIIa* a *IIIb* nad jižním okrajem Švédska, kde cyklony po prvně jmenované dráze míří k východní hranici Polska a v případě *IIIb* míří cyklony k Finsku. Dráha *IV* zaujme tím, že se na jejich pásech nachází největší množství křížení s cizími drahami. Podobně jako v případě dráhy *Ia* začíná dráha *IV* jihozápadně od Irska, ale těsně nad nejjižnějším cípem Anglie se větví na *IVa* a *IVb*, jež dále paralelně pokračují přes Britské ostrovy, respektive Severní moře až po křížení s dráhou *III*.

Posledním, a to velmi specifickým případem drah, které se dodnes používají při kategorizaci cyklon v Evropě z důvodu vysoké pravděpodobnosti ve vztahu k povodním, jsou dráhy s označením *V* (Hofstätter a Chimani 2012). Tato kategorie obsahuje hned čtyři větve. Cyklony, přiřazené dráze *Va*, standardně zasahují území Evropy od východní hrany Atlantiku a dále postupují jihovýchodním směrem přes Francii až na sever Itálie, kde se nachází hlavní uzel dráhy *V*. Tento uzel v oblasti Janovského zálivu slouží jako místo, kde již existující cyklona dráhy *Va* zesiluje, vyplňuje se nebo dochází k její regeneraci a následně pokračuje jako cyklona s trajektorií, které je později přiřazena jedna z drah *Vb*, *Vc* nebo *Vd*. Nutno podotknout, že zmiňovaná oblast Janovského zálivu je jednou z nejvýznamnějších oblastí cyklogeneze, tudíž o cyklonách na drahách *Vb*, *Vc* a *Vd* není často mluveno jako o pokračující cykloně z dráhy *Va*, ale spíše zcela nově generované cykloně, která následně pokračuje po vlastní dráze (Hanslian et al. 2000; Květoň a Žák 2011; Sandev 2017).



**Obr. 5:** Dráhy cyklon nad Evropou podle vize W. J. van Bebbera a W. Köppena z roku 1895. Převzato z: Hofstätter a Chimani (2012)

S novou a modernější variantou rozdělení drah atmosférických cyklon v Evropě do devíti druhů přišel v roce 2016 doktor Michael Hofstätter. Ten vycházel z již zmiňované práce W. J. van Bebbera a W. Köppena (1895) a dále tak rozšířil tvrzení, že cyklony, jež jsou přiřazeny ke konkrétním dráhám, produkují trvalé, vydatné deště a zimní sněhové kalamity. Rozdílem oproti předešlým pracím bylo, že došlo k vymezení tzv. zóny rozpoznávání drah (TRZ – track recognition zone), která zahrnovala podstatnou část evropského kontinentu, a měla za úkol především reprezentovat území střední Evropy (obr. 6). Konkrétní vymezení této nepravidelně tvarované zóny bylo  $0,5^{\circ}$  -  $23,9^{\circ}$  východní zeměpisné délky a  $42,3^{\circ}$  -  $56,2^{\circ}$  severní zeměpisné šířky, a to hlavně z důvodu, že toto území protínají trajektorie všech kategorizovaných cyklon (Hofstätter et al. 2016).



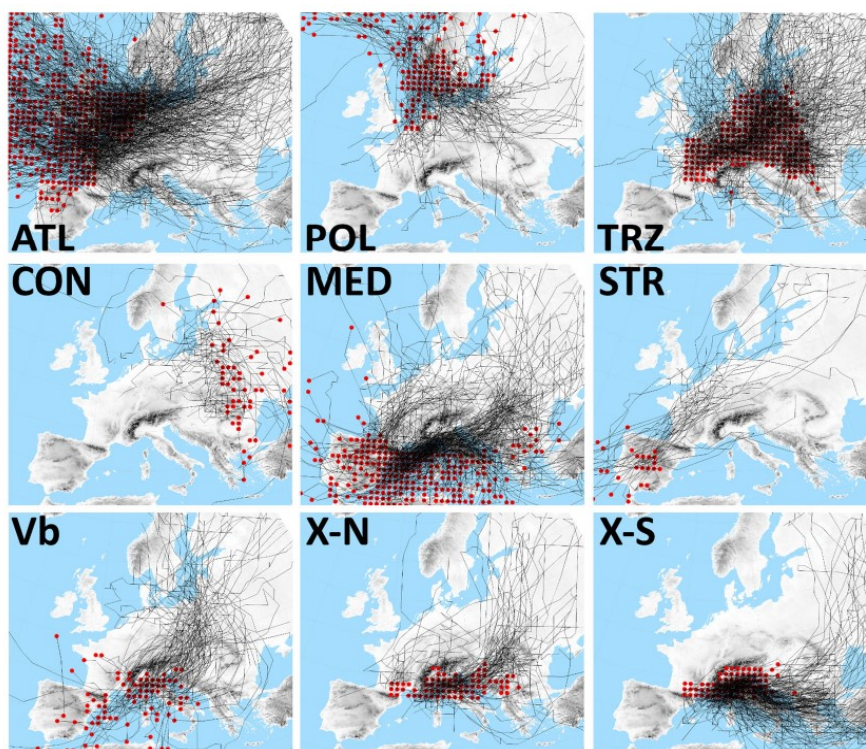
**Obr. 6:** Vymezení zóny rozpoznávání drah TRZ (track recognition zone) v Evropě – červeně. Převzato z: Hofstätter et al. (2016)

Všechny dráhy podle Hofstättera et al. (2016), do kterých byly zařazeny jednotlivé cyklony podle trajektorií pohybu, jsou shrnuty v tab. 1. Jednotlivé dráhy jsou seřazeny podle vlivu cyklony na extrémní srážky v Evropě od nejvýznamnější do méně významné.

**Tab. 1:** Nejnovější kategorizace drah v Evropě vypracovaná na základě trajektorií cyklon mezi lety 1961–2002. Zdroj: Hofstätter et al. (2016)

Název dráhy	Popis dráhy
Vb	van Beberova dráha Vb
X-N	dráha z Jaderského moře s počátečním postupem cyklony severním směrem
X-S	dráha ze Středomoří s počátečním postupem cyklony jižním směrem
MED	dráha ze Středozeří
STR	subtropická dráha
ATL	atlantická dráha
POL	polární dráha
CON	kontinentální dráha
TRZ	dráha ze zóny rozpoznávání

Na obr. 7 je znázorněno všech devět typů drah cyklon v Evropě, které byly vytvořeny klasifikací trajektorií cyklon v rozmezí let 1961 až 2002 pro tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře (SLP), kde červené tečky znázorňují detekované počáteční body jednotlivých trajektorií, po kterých cyklony postupovaly. Pět drah, na kterých tlakové níže postupují do území vymezené zónou rozpoznávání z vnějšku, nesou názvy MED, STR, ATL, POL a CON (tab. 1). Z prvního pohledu lze usuzovat, že některé zaznamenané trajektorie a jejich počátky (černé křivky a červené tečky na obr. 7), se u těchto pěti typů překrývají, a tudíž nelze automaticky přisoudit dráhu. Každá z cyklon byla však jednotlivě posuzována z hlediska orientace pohybu, která následně naznačila, o jakou dráhu se v jejím případě jedná (Hofstätter et al. 2016).



**Obr. 7:** Kategorie drah cyklon v Evropě, zaznamenané trajektorie cyklon (černé křivky) a jejich počátky (červené body) mezi lety 1961–2002 sledované v přízemním tlakovém poli.  
Převzato z: Hofstätter et al. (2016)

Následuje další dráha, která má stejný název jako zóna rozpoznávání, tedy TRZ. Důvod je prostý, cyklony na tomto typu drah se tvoří v oblasti vymezené právě územím TRZ. Cyklony postupující po drahách MED, Vb, X-N a X-S jsou podrobně rozebírány v kapitole 3.2.3.

Silné cyklony během chladné části roku jsou na drahách ATL, Vb, POL a CON, zatímco v teplé části roku jsou to nejvíce právě Vb. To je způsobeno dalšími cyklogenetickými procesy působícími na závětrné straně Alp – latentní teplo je uvolňováno v nižších hladinách nebo dochází ke konvergenci proudění. Dráhy ATL, Vb, X-N, X-S jsou pak v oblasti TRZ, oproti dalším drahám, spojovány s cyklonami způsobující nadprůměrné úhrny srážek (Hofstätter et al. 2016).



### 3. Středomořské cyklony

#### 3.1 Vymezení regionu Středomoří

Speciálním podtypem cyklon v Evropě jsou ty středomořské, které se tvoří nad Středozemním mořem a obecně v prostoru středomořské pánve (Catrina et al. 2018). Některé středomořské cyklony se však tvoří i mimo Středomoří, ale svým postupem následně region zasahují.

Středomoří, které je občas nazýváno jako Středozezemí nebo Mediterán, je oblast rozprostřená mezi třemi kontinenty. Ze severu jej obklopuje Evropa, z jihu Afrika a na východě Asie. Z geografického hlediska se jedná o velmi pestrou oblast, která se vyznačuje suchým a teplým létem a mírnou deštivou zimou.

Hlavní mořskou plochou ve Středomoří je Středozemní moře, které je s oceánem propojeno Gibraltarským průlivem na západě a představuje významný zdroj energie a vlhkosti pro vývoj cyklon (Trigo et al. 1999). Přestože je Středozemní moře součástí Atlantiku, tak je mnohdy vnímáno jako samostatná část. Na severovýchodě na něj pak přes průlivy Dardanely a Bospor navazuje Černé moře. Podřazenými částmi Středozemního moře jsou Jaderské, Egejské, Ligurské, Tyrhénské, Jónské a Krétské moře (obr. 8). Se svou plochou přibližně 2.5 mil. km<sup>2</sup> zásobuje zejména Evropu vlhkostí a teplými vzdušnými masami.



**Obr. 8:** Satelitní snímek Středomoří s okolními státy, Středozemním mořem a podřazenými celky moří. Oblast Středomoří vymezena souřadnicemi přibližně od 30° - 45° severní zeměpisné šířky a 10° západní až 38° východní zeměpisné délky. Zdroj: Gaba (2007)

Z hlediska klimatu je klíčové umístění Středozevního moře ve středních zeměpisných šířkách a jeho protáhlý tvar od západu na východ. Na západě tak převažuje oceánské klima, ovlivněno Atlantikem, zatímco na východě převažuje kontinentalita spojená s plochou pevniny Asie. Z tohoto důvodu jsou znatelné projevy oceánského klimatu/kontinentality napříč Středozevním mořem v průběhu celého roku. Ve východním Středomoří jsou léta teplejší a zimy chladnější než na západě. V letním období převažuje ve Středomoří sucho, jelikož se zde uplatňuje vliv pásů tlakových výší, zatímco v mírných zimách dochází k vypadávání dostatečného množství srážek. Je však znovu důležité zmínit, že srážkové úhrny vypadávají napříč Středozevním nerovnoměrně. V západním Středomoří (západní pobřeží Balkánského poloostrova, jižní pobřeží Evropy a východní části Pyrenejského poloostrova) se běžně setkáváme s úhrny přes 1000 mm/rok, zatímco na pobřeží severní Afriky jsou hodnoty podstatně nižší, zhruba 200 mm srážek za rok. Intenzivní srážky je možné sledovat zejména na podzim a v zimě, kdy dochází k nárůstu cyklonální činnosti.

Kolem zkoumané oblasti se nachází mnoho rozlehlých a vysokých horských hřebenů, z nichž nejvýznamnější jsou např. Alpy, Pyreneje nebo pohoří Atlas. Pro rozvoj středomořských cyklon hraje značnou roli právě charakter reliéfu, který umožňuje vpád studeného vzduchu od severozápadu mezi Pyrenejemi a Alpami, a to následně vyvolává dynamicky podmíněný pokles tlaku vzduchu v závětrí Alp.

### **3.2 Cyklogeneze a pohyb středomořských cyklon**

Cyklony vyskytující se ve Středomoří se liší především svou mohutností, hloubkou, intenzitou, oblastí vlivu a v neposlední řadě i místem vzniku. Podle původu lze středomořské cyklony dělit na dva typy. Prvním typem jsou cyklony, které vznikají přímo v oblasti Středomoří a v této oblasti setrvávají a postupně se vyplní, nebo postupují dále po drahách a ovlivňují tak oblasti i mimo Středozevní moře (viz kapitolu 2.3). Druhým typem cyklon jsou ty, které vznikly mimo zkoumanou oblast, ale následně do Středomoří vstoupily.

### 3.2.1 Cyklony vzniklé mimo Středomoří

Cyklogenetické oblasti existují samozřejmě i mimo Středomoří, které však svými generovanými cyklony následně ovlivňují dění na jeho území. Řeč je o cyklonách, jež vznikají zejména v oblastech Atlantského oceánu, západní Evropy a v regionech blízko Sahary.

Největší vliv na Středozeří ze všech „cizích“ cyklogenetických oblastí má Sahara a na ní navazující pohoří Atlasu v severní Africe. Cyklony zde vznikají hlavně vlivem výrazného teplotního rozhraní, kde hrají roli suchý a velmi teplý vzduch z jihu a relativně chladný vzduch ze severozápadu. Zmiňována je zde však i závětrná cyklogeneze v těsné blízkosti hřebenů Atlasu (Lionello et al. 2016). Cyklony zpravidla do regionu Středomoří vstupují v oblasti severovýchodního Maroka a severního Alžírsku a následně pokračují do východního Středomoří.

V případě Atlantského oceánu a západní Evropy mohou cyklony postupovat z různých oblastí, které spolu ale úzce souvisí. Rozdílnost tkví v trajektoriích, po kterých cyklony do Středomoří míří. První oblastí je ta nejsevernější, totiž území Francie. Cyklony v oslabených formách postupují již od území Velké Británie a Irska, zvolna dále přes zemi galského kohouta a francouzskou riviéru tak, jak to pro cyklony postupující po dráze *Va* naznačili Beber a Köppen (1895) (viz kapitulu 2.3). Cyklony postupující tímto způsobem do oblasti Ligurského moře slábnou a postupně se vyplňují. Některé však zesilují a postupují dále, přičemž se stáčí směrem na severovýchod, nebo se díky nim vytvoří druhotná Janovská cyklona (Campins et al. 2011).

Další cyklony míří do západního Středomoří z oblasti Biskajského zálivu, aby následně pokračovaly směrem na východ. A konečně, některé cyklony postupují z Atlantiku do oblasti Středomoří v blízkosti spojení evropského a afrického kontinentu, Gibraltar. V posledních dvou případech se cyklony mohou stáčet u Egejského moře směrem na severovýchod, některé dosáhnou až Černého moře, nebo pokračují východním směrem až do oblasti Kypru (Bartholy et al. 2009).

### 3.2.2 Cyklogeneze ve Středomoří

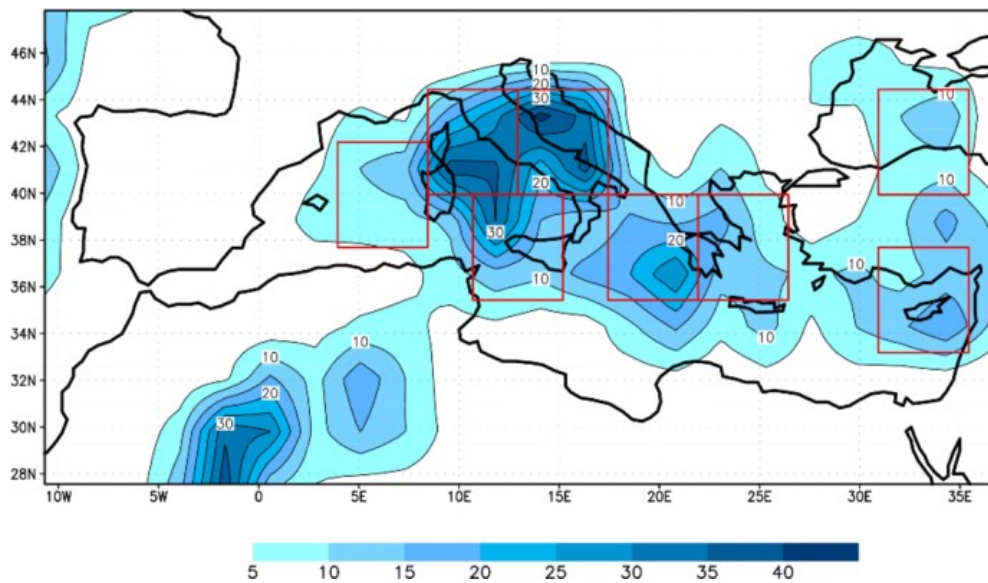
Oblast Středomoří je z hlediska cyklonální aktivity jedna z nejméně aktivních na severní polokouli (Trigo et al. 1999; Ulbrich et al. 2009; Nissen et al. 2014; Lionello et al. 2016). Cyklogeneze ve Středomoří může probíhat v závětrí horského hřebenu, jako je to např. v případě cyklon v Janovském zálivu, nebo na teplotním rozhraní dvou vzduchových mas, ke které dochází napříč celým regionem.

Janovský záliv silně ovlivňuje část alpského prostředí a jedná se o oblast s největší frekvencí výskytu cyklonálních událostí z celého Středomoří. Běžně se tu vyskytne něco málo přes 37 cyklon za rok (Campins et al. 2011). Cyklogeneze se tu odehrává po celý rok, ale významná maxima lze pozorovat především v březnu a dubnu. Cyklony pocházející z Janovského zálivu jsou zejména v zimě hluboké, avšak v letním období převažují mělké cyklony. Průměrná doba existence Janovských cyklon je 25 hodin, opět se sezónní variabilitou (Campins et al. 2011). V zimě urazí cyklony delší vzdálenost než v teplých měsících, což znamená, že v létě v této oblasti převažují stacionární cyklony a ty s krátkou dobou existence, zatímco v chladné části roku dominují mobilní cyklony, které dále postupují po určitých drahách (Wernli a Schwierz 2006).

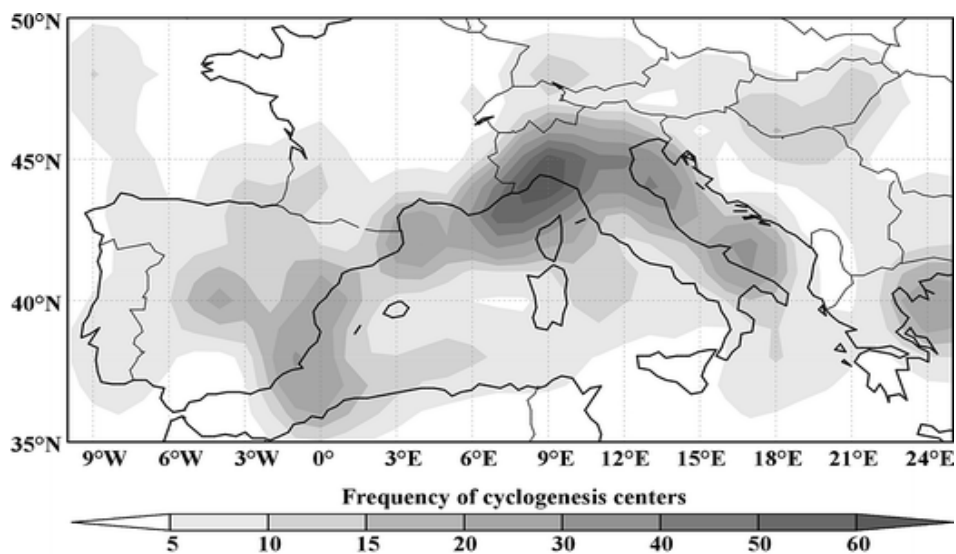
Oblast Kypru má podobné průměrné množství cyklonálních událostí za rok, konkrétně 36,8, ale cyklony se zde vyskytují hlavně mezi červnem a srpnem (Campins et al. 2011). Počet stacionárních cyklon za rok v této oblasti převyšuje počet v Janovském zálivu. Pokud se u Kypru vytvoří hlubší mobilní cyklona, tak z většiny případů míří nad území Turecka. Cyklonální systémy jsou tu často oproti jiným oblastem cyklogeneze spojovány s brázdou, která vzniká vlivem sezónní tlakové níže způsobující indický monzun. Počasí je tak ovlivňováno i na druhé, západní straně od této níže. Mezi další cyklogenetické oblasti, které stojí za zmínku, lze zařadit oblast Pyrenejského poloostrova, Egejského moře, Alžírského moře a severní Sahary (Alpert et al. 1990; Hoskins a Hodges 2002).

Na obr. 9 lze spatřit prostorové rozdělení ve Středomoří vzniklých cyklon a jejich průměrný počet za rok v období mezi lety 1957 až 2002 podle Homara et al. (2006). Na základě obrázku docházelo nejčastěji ke vzniku cyklon v oblasti Tyrhénského a Jaderského moře, kde za rok vzniklo i 40 tlakových níží. Další maxima vzniku cyklon pak lze vidět v oblasti Jónského moře a Sahary, která však už není zahrnuta do regionu Středomoří.

Obr. 10 pak ukazuje jasně zřetelné centrum vzniku cyklon v oblasti Janovského zálivu, kde podle Bartholyho et al. (2009) vzniklo až 50 cyklon za rok. Další maximum je viditelné nad východním pobřežím Pyrenejského poloostrova a v oblasti Egejského moře. Obr. 10 se pak shoduje s tím výše z hlediska počtu vzniklých cyklon v oblasti Jaderského moře. Není tu však zmíněné druhé maximum v oblasti Kypru. Rozdíly mezi obr. 9 a 10 jsou způsobeny použitím jiné metody pro sledování cyklon s různým nastavením citlivosti detekce. Homar et al. (2006) do své analýzy zahrnul pouze intenzivní cyklony, zatímco Bartholy et al. (2009) se zabýval i méně intenzivními systémy.



**Obr. 9:** Prostorové rozdělení středomořských cyklogenetických středů a roční průměrný počet vzniklých cyklon mezi lety 1957–2002. Převzato z: Homar et al. (2006)



**Obr. 10:** Frekvence vzniku cyklon v západním Středomoří a oblasti jejich vzniku mezi lety 1957–2002. Převzato z: Bartholy et al. (2009)

### 3.2.3 Dráhy středomořských cyklon

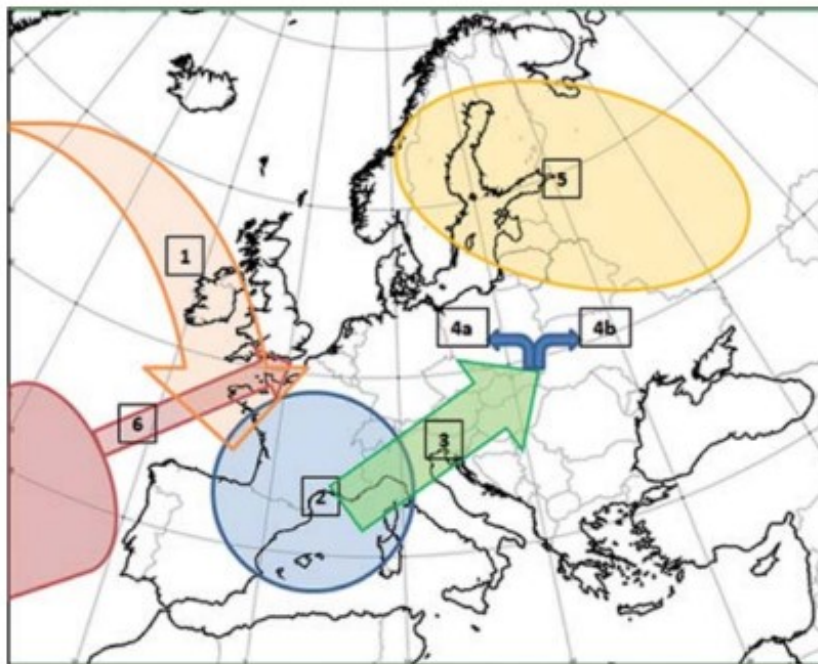
V kapitole 2.3 byly zmíněny dráhy MED, X-N, X-S a Vb, po kterých cyklony postupují ze Středomoří dále do Evropy. Cyklony postupující po drahách ze Středomoří směřují převážně k severovýchodu (Hanslian et al. 2000). Velké množství epizod se silným sněžením a s vydatnými srážkami je způsobeno právě těmito tlakovými nížemi, jejichž dráha začíná nebo vede přes oblast Středozemního moře, jelikož toto území je zpravidla zdrojem vlhkosti a energie.

Po drahách s pojmenováním X-N a X-S (sever Jaderského moře a Středozemní moře) postupují cyklony vzniklé v užším pásmu severního Středomoří. Ačkoliv mají dráhy X-S a MED stejný původ ve Středozemním moři, tak mezi nimi existuje podstatný rozdíl z hlediska velikosti oblasti, ve které jednotlivé cyklony pod označením jedné z drah vznikají. V případě X-N a X-S se jedná o menší oblasti než u drah MED, ale jsou velmi důležité v pojetí cyklogeneze v závětrí Alp (Buzzi a Tibaldi 1978). Navíc, cyklony na drahách X-N se v prvních 24 hodinách po vzniku pohybují směrem na sever (proto také písmeno N – north), zatímco cyklony na dráze X-S míří během své počáteční fáze na jih (S – south) (Hofstätter et al. 2016).

Nejvýznamnější ze středomořských drah je dráha s označením Vb. Ta byla meteorology převzata z práce Bebbera a Köppena (1895) a ztělesňuje cyklony postupující z regionu severní Itálie a oblasti Jaderského moře směrem na severovýchod, podél jihovýchodního okraje Alp a do východní části střední Evropy, k Polsku (Hanslian et al. 2000). V Itálii se cyklony Vb díky vlivu orografie nejdříve pohybují východním směrem a následně se na hranicích Rakouska a Maďarska stočí na sever (Messmer et al. 2015). Někdy se stává, že cyklona Vb zasáhne až oblasti na východ od Baltského moře (Grams et al. 2014).

V případě této dráhy dochází k přílivu teplého a vlhkého vzduchu z jihozápadu Evropy a tlakové níže, které po dráze Vb postupují při zemi, na hranici střední a východní Evropy, zasahují hlavně Moravu a západní Slovensko, aby pak pokračovaly dále směrem k severovýchodu (Brádka 1967). Existenci dráhy Vb a souvisejících drah tlakových níží ze Středomoří ostatně potvrzuje i tzv. souhrnný koridor vytvořený Sandevem (2017, s. 83).

Na obr. 11 lze spatřit mechanismus cirkulace nad Evropou v oblasti střední Evropy spojený s dráhou Vb. Důležitým faktorem jsou blokující tlakové útvary – Azorská tlaková výše (6, červeně) a tlaková výše nad východní až severovýchodní Evropou (5, žlutě). Tyto blokující tlakové útvary umožňují postup frontální poruchy nebo tlakové níže z Atlantiku přes Irsko a jihozápadní část Velké Británie do oblasti Biskajského zálivu (1, oranžově). V oblasti západního Středomoří (2, modře) následně dochází ke vzniku nové cyklony nebo regeneraci tlakové níže z Biskajského zálivu a vyvinutá cyklona se dává za předpokladu, že nad centrální částí Evropy není blokující tlaková výše, do pohybu směrem k severovýchodu (3, zeleně). Právě zde začíná pomyslná dráha Vb. V případě výrazné cyklonální vorticity a blokující oblasti vyššího tlaku vzduchu při cestě k severu až severovýchodu se střed níže začíná nad územím střední Evropy posouvat retrográdně k severozápadu nebo i západu a zpomaluje svůj postup (4a, modrá šipka). Pokud se blokující oblast vyššího tlaku vzduchu na východ od cyklony pohybuje východním směrem, tak cyklona zvolna pokračuje směrem na severovýchod (4b, modrá šipka).



**Obr. 11:** Mechanismus cirkulace nad Evropou a zpomalování postupu cyklon v oblasti střední Evropy spojené s dráhou Vb. Převzato z: Sandev (2017)



Retrográdní stáčení cyklon jsou ojedinělé jevy, které jsou spojovány s vysokým úhrnem srážek a např. i oboru letectví s nebezpečnými jevy nízké viditelnosti a namrzání. Nejvíce situací, kdy došlo k retrográdnímu postupu cyklon Vb ze Středomoří, lze sledovat v období června a července. Retrográdní cyklony se projevují zvýrazněným stříhem větru zejména v oblasti střední Evropy, proces je způsoben vlivem přílivu teplého vzduchu ve vyšších hladinách a studeného vzduchu v přízemních vrstvách. Dochází k zostření frontální poruchy ve výši této oblasti a tím i k zesílení výstupných pohybů a tvoření stříhových srážek, které významně přispívají k tvorbě povodní (Rudolf a Hudec 2000). Např. pro povodí Labe je jev retrográdnosti středomořských cyklon důležitý.

#### 3.2.4 Segmentace středomořských cyklon

Tlakové níže ze Středomoří se nepohybují ve velkých nadmořských výškách a pokud při svém postupu narazí na horský hřeben, tak jej musí překonat. Segmentace cyklony je v podstatě přechod cyklony přes horský hřeben a její rozdělení. V případě středomořských cyklon mířících z oblasti Janovského zálivu na sever až severovýchod, do střední a východní Evropy, dochází k tomuto procesu na jižních svazích Alp, tedy na území severní Itálie. Lapin a Štekl (1974) ve své studii nastínili, že výšková frontální zóna může jít kolmo na hřeben, v tom případě dochází k segmentaci, nebo jde frontální zóna paralelně s hlavním hřebenem pohoří a přízemní cyklona se následně dělí na dvě části. Severní část frontální zóny pak postupuje rychleji než jižní. Zjednodušeně, při postupu středomořských cyklon do střední a východní Evropy existují tři fáze situací:

1. Přízemní cyklona postupuje od jihu nebo jihozápadu směrem k Alpám. Výškové proudění nad Alpami postupně získává jižní složku. Na sever od Alp se začíná na přízemní mapě formovat uzavřená oblast nízkého tlaku vzduchu.
2. Segmentace cyklony.
3. Cyklona se odpoutává od Alp a postupuje v řízeném proudění na sever až severovýchod.



Při postupu cyklony k Alpám z jihu se na návětrné straně tvoří hřeben vyššího tlaku vzduchu, zatímco v závětrí se tvoří brázda nižšího tlaku vzduchu. S prohlubováním severní části segmentované cyklony, většinou v oblasti Bavorska, se zvětšuje barický gradient v prostoru severovýchodního Rakouska a Moravy. Po vzdálení cyklony od Alp postupuje studená fronta v jejím týle obvykle velkou rychlostí přes Bavorsko na východ.

### 3.2.5 Typizace povětrnostních situací u středomořských cyklon

Vliv cyklon na počasí v Evropě lze vyjádřit i pomocí povětrnostních situací. Pro účely zkoumání vlivu tlakových níží ze Středomoří je vhodné využít katalogu povětrnostních situací pro území ČSSR (HMÚ 1968). Ten vychází z typizace Brádky et al. (1961) a dodnes se dá využít pro určení povětrnostních situací, zejména ve střední Evropě. Na druhou stranu, výskyt synoptických typů je ale mnohokrát častější než výskyt samotných povodní, tudíž využití synoptických typů je vhodné brát pouze jako orientační znalost, kdy se značně zvyšuje potenciální nebezpečí vlivů středomořských cyklon (Koblihová 1989).

V případě severovýchodní (NEc) a východní cyklonální situace (Ec) se tlaková níže nachází v oblasti Středomoří a následně může dále postupovat do střední Evropy. V případě situací B a C se jedná o frontální poruchy vzniklé nebo zesílené ve středomořské oblasti, které následně též ovlivňují počasí ve střední Evropě. Při povětrnostní situaci B dochází k přílivu studeného vzduchu ze severozápadu do Středomoří. V oblasti severní Itálie se studený vzduch střetává s teplým z jihu až jihovýchodu a vzniká tak nová frontální zóna. U události stacionární cyklony ve střední Evropě postupují přízemní frontální poruchy kolem řídicí tlakové níže.

## 3.3 Četnost a vlastnosti středomořských cyklon

Ve Středozeří cyklony přispívají k organizaci přízemního proudění teplého a vlhkého vzduchu, které zásobuje srážkové systémy. Toto proudění často naráží do okolního horstva a dochází k jeho zdvihu do vyšších hladin. Jak již bylo zmíněno, oblast Středomoří se nachází mezi 30. a 45. stupněm severní zeměpisné šířky a je tak ovlivňována jak tropickými systémy z jihu, tak těmi středních zeměpisných šířek. K tomu všemu přispívá ohraničení oblasti komplexními formami orografie a Středozeří moře

tak lze téměř považovat za uzavřenou oblast fungující jako zásobárna vlhka a tepla s významnými rozdíly mezi pevninou a mořem.

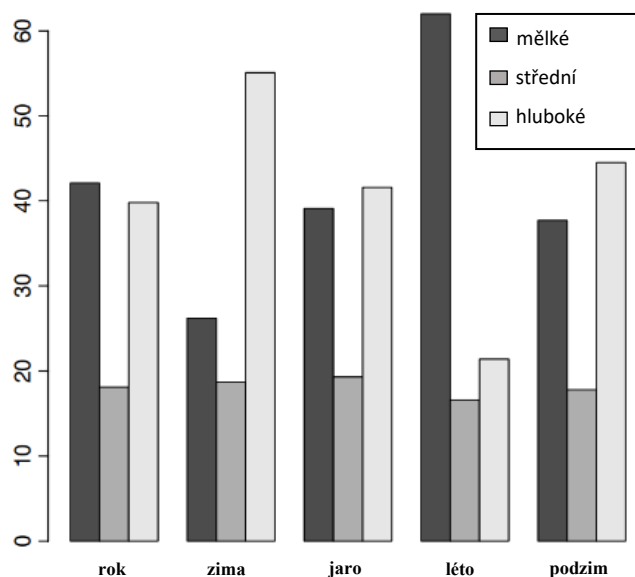
U cyklon se zkoumají vlastnosti jako její hloubka, délka existence, jak daleko cestují, jak rychle postupují, hodnoty tlaku vzduchu v jejich středu, diametrální horizontální rozměr nebo počty jejich výskytu v určité oblasti. Výsledky studie Campinse et al. (2011) sice ukazují, že většina středomořských cyklon jsou slabé, mělké, mnohdy stacionární a z hlediska doby existence i krátkodobé, ale některé níže se dokážou vyvinout do intenzivních, hlubokých, dlouhotrvajících a mobilních níží.

Studie Campinse et al. (2011) dále uvádí, že zaznamenané středomořské cyklony měly za období 1957–2002 na šířku v průměru 518 km. Co se průměrné doby existence cyklon ve středomořské oblasti týče, ta se pohybovala okolo hodnoty 14,2 hodiny. Podle Triga et al. (1999) nebyla v průběhu celého roku u více než 60% ze všech detekovaných cyklon doba existence delší než dvanáct hodin. Bartholy et al. (2009) pak tvrdí, že až tři čtvrtiny ze všech za rok detekovaných cyklon neexistovaly déle než 24 hodin. Průměrnou hodnotu doby existence snižují zejména velmi krátce působící cyklony lokálního charakteru.

Pokud se pominou cyklony s životností méně než 12 hodin, tak středomořské cyklony v průměru urazí po své trajektorii vzdálenost 350 km (Campins et al. 2011). Naproti tomu Picornell et al. (2001) zaznamenal průměrnou uraženou vzdálenost 207 km. Hodnoty vzdálenosti, které cyklony při svém pohybu dosáhnou, jsou často snižovány zejména stacionárními cyklonami. Ty lze identifikovat tak, že se porovnají místa cyklogeneze a zániku určité tlakové níže. Pokud se tato dvě místa v těsné blízkosti překrývají, lze cyklonu považovat za stacionární.

Slabé cyklony mají oproti silnějším relativně vysoké hodnoty tlaku vzduchu, nejčastěji hodnotu kolem 1006 hPa. Pohybují se pomalu, rychlostí kolem 24 km/h. Méně než desetina ze zkoumaných cyklon v období 1957–2002 se pohybovala rychlostí větší než 50 km/h. Silné cyklony mají na druhou stranu nejčastěji hodnotu tlaku v rozmezí 992 až 1000 hPa, přičemž 25% všech analyzovaných systémů mělo hodnotu pod 988 hPa. Silnější cyklony se i rychleji pohybují, v průměru rychlostí 34 km/h (Lionello et al. 2016).

Campins et al. (2011) ve své studii dále tvrdí, že prostorové rozložení středů cyklon ve Středomoří je z většiny řízeno právě orografií. Toto platí zejména v případech mělkých, slabých a závětrných cyklon, kterých ve Středomoří v průběhu roku figuruje nepatrně více než hlubokých a středně hlubokých cyklon, kde jejich procentuální zastoupení je zhruba 42% (obr. 12). Na obr. 12 je dále vidět, že v průběhu roku mají nejmenší relativní frekvenci výskytu středně hluboké cyklony (zhruba 18%).

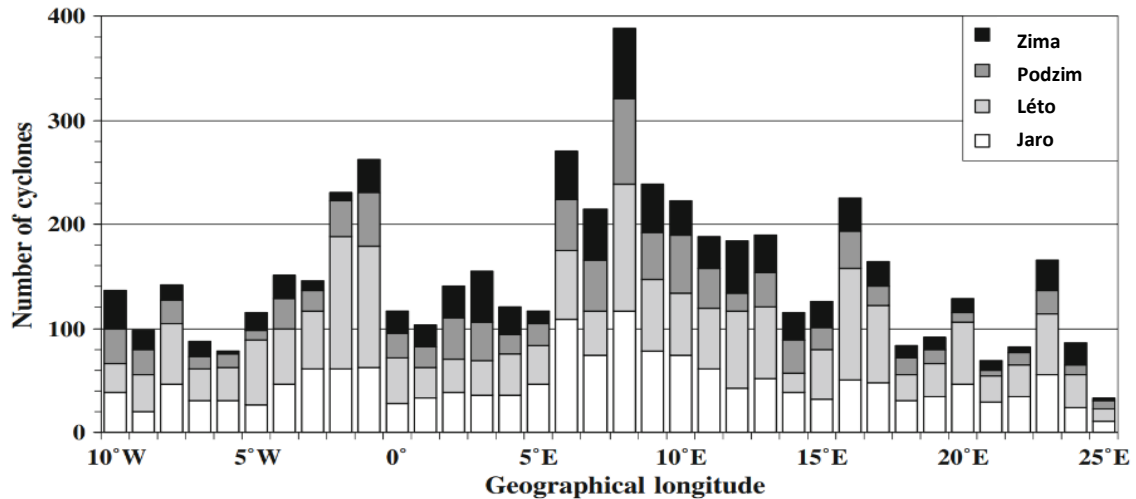


**Obr. 12:** Relativní frekvence výskytu cyklon s určitou hloubkou pro celý rok a jednotlivá roční období mezi roky 1957–2002. Převzato z: Campins et al. (2011)

V neposlední řadě se u cyklon určuje jejich celkový počet výskytu nad určitým územím. Na obr. 13 je představena frekvence výskytu cyklon a celkové počty v závislosti na zeměpisné délce a ročním období mezi roky 1957 až 2002. Na první pohled je vidět, že nejvyšší počet zaznamenaných cyklon, téměř 400, se objevil v pásu kolem osmého stupně východní zeměpisné délky. Geografický střed pro zmiňované místo intenzivní cyklogeneze – Janovský záliv – leží přibližně v pozici 44° 09' severní zeměpisné šířky a 8° 54' východní zeměpisné délky. Z toho plyne, že Janovský záliv se na výskytu cyklon ve Středomoří podílí opravdu významným způsobem.

Dále je z grafu pozorovatelný nárůst frekvence výskytu cyklon v pásch kolem prvního a druhého stupně západní zeměpisné délky, v oblasti východního pobřeží Pyrenejského poloostrova, a v pásu v okolí 16. stupně východní zeměpisné délky, což odpovídá prostoru Jónského a Jaderského moře. Stejnorodost většiny záznamů frekvence

výskytu cyklon v grafu značí, že kromě výše zmíněných maxim se cyklony vyskytují v podobných počtech, přibližně kolem sta cyklon na jednotlivé pásy, napříč celým Středomořím za celé zkoumané období.



**Obr. 13:** Meridionální celkové počty výskytu cyklon ve Středomoří v období mezi roky 1957–2002 za jednotlivá roční období. Převzato z: Bartholy et al. (2009)

Průměrný počet Vb cyklon, které postupují po dráze Vb do Evropy, je pouhých 2,3 událostí za rok s průměrnou dobou existence 3,1 dne. To značí, že se jedná o poměrně výjimečný a oproti např. déletrvajícím tropickým cyklonám krátkodobý fenomén (Messmer et al. 2015). Hofstätter a Chimani (2012) ve své studii uváděli výskyt v průměru 3,5 Vb cyklon za rok. Co se týče relativní frekvence cyklon postupujících ze Středomoří dále, tak Degirmendžić a Kozuchowski (2017) ve své studii, z období mezi lety 1958 až 2008, přisoudili dráze Vb 23% z 351 identifikovaných středomořských cyklon postupujících do střední a východní Evropy.

### 3.4 Sezónní variabilita středomořských cyklon

Vlastnosti cyklon jsou v průběhu roku proměnné. Prostorové rozložení cyklon také ukazuje silnou závislost na ročním obdobím. Zima a léto ve Středomoří jsou z hlediska výskytu a rozsahu cyklon rozdílné. Zatímco v létě a zimě jsou ve studii Campinse et al. (2011) zaznamenávána zcela odlišná místa výskytu cyklon, tak na jaře a na podzim se do rozložení přenáší pouze některé prvky z letních (červen, červenec, srpen) a zimních

(prosinec, leden, únor) případů. V letních měsících dominuje výrazné maximum výskytu cyklon v oblasti Kypru.

V obr. 12 je vyjádřena relativní frekvence výskytu cyklon s určitou hloubkou v průběhu celého roku. Je vidět, že hluboké tlakové níže (světlé sloupce) se nejvíce vyskytují v zimě, zatímco s mělkými (tmavé sloupce) se můžeme setkat nejvíce v létě. V letním období je většina níží mělká (62%) a pouze některé jsou hlubší (21,4%). Na podzim a jaře není rozdíl v relativní frekvenci výskytu hlubokých a mělkých cyklon nijak markantní. Procentuální zastoupení středně hlubokých níží je po celý rok téměř konstantní (šedé sloupce). Zajímavostí je, že ačkoliv obecně v průběhu roku dominují mělké cyklony nad hlubokými a rozlehlými, tak se tak děje jen díky letnímu období.

Počty vyskytujících se cyklon ve Středomoří v závislosti na zeměpisné délce a ročním období ukazuje obr. 13. Zprvu je vidět, že ve zmiňovaném maximu výskytu nad Janovským zálivem v pásu kolem osmého stupně východní zeměpisné délky jsou počty cyklon pro jednotlivá roční období téměř rovnoměrně rozloženy. V pásích prvního a druhého stupně západní zeměpisné délky dominují počty výskytu cyklon v létě. Nejmenší zastoupení napříč Středomořím mají cyklony v zimě.

Na základě údajů z tab. 2 bylo zjištěno, že průměrný diametrální horizontální rozsah cyklon ve Středomoří byl 518 km za rok. V období mezi prosincem a únorem jsou cyklony detekovány především nad mořem. Maxima v zimě jsou opět zaznamenávána nad Janovským zálivem, ale k výskytu cyklon během zimy přispívají i další významné oblasti jako Jaderské, Tyrhénské, Jónské a Egejské moře. Výskyt cyklon mezi prosincem a únorem souvisí s termálním efektem relativně teplého moře, které obklopuje relativně chladná pevnina. To však neznamená, že během chladné části roku nedochází k závětrnému efektu a podpoře vzniku cyklon. V zimě tak průměrný diametrální horizontální rozsah cyklon činil 565 km. Na podzim a na jaře byl podobný, tedy 519, respektive 521 km. Z hlediska stejné vlastnosti se nejmenší cyklony objevovaly mezi lety 1957 až 2002 v létě, kdy průměr činil 475 km.

**Tab. 2:** Průměrný diametrální horizontální rozsah cyklon ( $R$ , v km), průměrná doba existence ( $t$ , v hodinách), průměrná délka trajektorie pohybu ( $d$ , v km), relativní frekvence výskytu cyklon a jejich dob existence ( $t =$ , v %), relativní frekvence výskytu stacionárních a mobilních cyklon (v %) celoročně a v ročních obdobích ve Středomoří mezi lety 1957-2002. Data převzata z: Campins et al. (2011)

	<b>Rok</b>	<b>Zima</b>	<b>Jaro</b>	<b>Léto</b>	<b>Podzim</b>
<b><math>R</math></b>	518	565	521	475	519
<b><math>t</math></b>	14,2	16,6	14,5	12,2	14,3
<b><math>d</math></b>	350	451	387	230	354
<b><math>t = 6h</math></b>	49,5	42,6	48,7	54,1	50,8
<b><math>t \geq 12 h</math></b>	50,5	57,4	51,3	45,9	49,2
<b><math>t \geq 24 h</math></b>	18,0	25,1	19,1	11,8	18,5
<b><math>t \geq 48 h</math></b>	3,9	5,8	4,1	2,1	4,1
<b>Stacionární</b>	69,5	57,6	66,1	83,4	68,1
<b>Mobilní</b>	30,5	42,4	33,9	16,6	31,9

U velké části cyklon je doba existence nižší než 24 hodin, z čehož plyne, že se nejedná o mohutné a mobilní systémy. V případě cyklon s krátkodobou existencí se jedná o sekundární minima uvnitř komplexních systémů nebo velmi slabé brázdy, a tudíž nemají dostatečné rozměry na to se stát plně vyvinutými systémy. Na základě údajů z tab. 2 se pouze 11,8% cyklon „dožije“ v létě déle než 24 hodin, průměrná doba existence je pak v létě 12,2 hodin. Nejdelší dobu existence lze spatřit u cyklon vyskytujících se v zimě, kde necelých 6% přežívá déle než 48 hodin. Průměrná doba existence se pak v zimě pohybuje okolo 16,6 hodin, což je nejvyšší údaj ze všech ročních období. Na jaře a na podzim jsou údaje o době existence opět podobné, avšak cyklony mají tendenci v těchto dvou ročních obdobích přežít déle než cyklony v létě, kdy průměrná doba existence činí 14,5 a 14,3 hodin.

Cyklony v průběhu roku urazí v průměru 350 km, ale údaje se pro jednotlivé části roku významně liší. Zatímco v létě cyklony průměrně urazí 230 km, tak v zimě je to nadprůměrná hodnota 451 km. Obecně lze tvrdit, že v létě je většina cyklon stacionárních (relativní frekvence výskytu 83,4%) nebo postupují opravdu zvolna od místa svého vzniku, tudíž je silně ovlivněna celková uražená vzdálenost cyklon. Ačkoliv je v zimě relativní výskyt počtu stacionárních cyklon vyšší než těch mobilních, tak údaj o mobilních cyklonách v zimě značně převyšuje zastoupení mobilních cyklon v létě. Z tohoto důvodu cyklony v zimě urazí delší vzdálenost. Na jaře a na podzim je též pozorovatelné početné zastoupení cyklon nad mořem, avšak jaro je specifické i tvorbou systémů nad pevninou (Sahara, Turecko). V obou ročních obdobích urazí středomořské cyklony na základě tab. 2 podobné vzdálenosti blízké průměru za rok.

## 4. Vliv středomořských cyklon na počasí v Evropě

Cyklony ze západního Středomoří při svém postupu nejdříve zasahují oblasti jižní Evropy, zejména Itálii. Následně putují přes Panonskou pánev. Na druhou stranu, cyklony z východního Středomoří, jež ovlivňují počasí zejména v Turecku a oblasti Egejského moře, tuto oblast nezasahují (Bartholy et al. 2009).

Fenomén středomořských cyklon zasahuje poměrně rozlehlé území Evropy. S rostoucí vzdáleností od Středozevního moře počet postupujících středomořských cyklon klesá, avšak některé jsou schopny doputovat téměř přes celý kontinent. Většina studovaných cyklon vzniká v oblasti na jih od Alp, nad severní Itálií, severním Jadranem nebo Ligurským mořem a následně zanikají v severovýchodní Evropě (Hanslian et al. 2000). Oblast vlivu středomořských cyklon na západě Evropy je marginalizována tlakovými útvary s původem z Atlantiku. Převažující západní proudění a události spojené se západní cyklonální situací tak ovlivňují počasí v západní Evropě na úkor středomořských cyklon, jejichž vliv na počasí, zejména z hlediska srážek, lze pozorovat především v jižní a východní Evropě. Středomořské cyklony jsou pak v těchto oblastech významné i z hlediska vlivu na hydrologické poměry (Grazzini a Grijn 2002). Toto tvrzení platí především pro vnitrozemské státy, které jsou daleko od Atlantiku a od míst, kde obvykle probíhá cyklogeneze.

Příkladem vzdáleného státu je Rumunsko, které je, přestože jeho břehy neomývá západní či východní část Středozevního moře, ovlivňováno středomořskými cyklony a doprovázejícími silnými dešti cyklon postupujících po dráze Vc, vymezené podle Bebbera a Köppena (Catrina et al. 2018). Často se stává, že tento druh cyklon ovlivňuje také státy na východ až severovýchod od Rumunska, tedy Moldavsko, Ukrajinu a Bělorusko. Je však nutné podotknout, že z východu je, podobně jako v západní Evropě, přehlušen vliv středomořských cyklon dalšími cyklony vznikajícími nad mořskou plochou, v tomto případě Černým mořem (Apostol 2008).

Nelze opomenout i důležitý vliv středomořských cyklon na střední Evropu, kde od druhé poloviny jara do začátku podzimu způsobují povodně, ačkoliv se nejedná o tak častý projev jako třeba vydatné srážky ve Středozeví. Systémy cyklon, které do střední a následně východní Evropy migrují ze Středozeví se zde objevují cca 3x do roka (Degirmendžič a Kozuchowski 2017). Hanslian et al. (2000, s. 33) ve své studii zkoumali období mezi lety 1961–1995 a tvrdí, že „vysoké denní úhrny podmíněné trvalými

srážkami jsou nezdřídka spojeny s postupem cyklon z oblasti Středozevního moře, které ovlivňují častěji východní část České republiky, a to zejména oblast Moravskoslezských Beskyd. Naopak relativně méně se vliv středomořských cyklon projevuje v severozápadních Čechách.“

#### **4.1 Vliv středomořských cyklon na vítr**

Větrné bouře vznikají v rámci cyklon, avšak v souvislosti se středomořskými cyklonami se zmínky o větších škodách způsobené větrem neobjevují. Téměř veškeré extrémní větrné bouře, které působily hmotné škody i ztráty na životech, na základě katalogu extrémních větrných bouří v Evropě postupovaly z Atlantiku po drahách, které nebyly v blízkosti Středomoří (Roberts et al. 2014). Pouze u případů cyklon Martin z prosince 1999 a Klaus z ledna 2009 postupoval střed z Atlantiku dále přes jižní Francii a následně severní část Jaderského, respektive Středozevního moře. Výrazné nárazy větru byly ale zaznamenány už na západním pobřeží Francie a při pohybu regionem Středomoří cyklony zeslábly natolik, že se vítr nijak výrazně neprojevoval a nezpůsobil žádné významné hmotné škody. Vliv větru u středomořských cyklon tedy lze považovat za minimální.

Projevy větru v souvislosti se středomořskými cyklonami lze sledovat v jejich týlu, kde zpravidla dochází k proudění ze severu až severovýchodu. Nárazy větru tu ale nejsou oproti nárazům v cyklonách z Atlantiku nijak významné. Příkladem vlivu větru je ten z povodí Vltavy, kde se při povodňové události 2002 vyskytoval čerstvý vítr převážně ze severního kvadrantu. Proudnic větru se v horských oblastech stěsňují a dochází tak i k orografickému zesilování srážek.

#### **4.2 Vliv středomořských cyklon na úhrny srážek**

Trvalé a vydatné srážky v Evropě jsou často způsobeny teplotní asymetrií, při níž dochází k tzv. stříhovému charakteru počasí. Studený vzduch proudí ze severu až severozápadu v přízemní vrstvě, zatímco vlhký a teplý proudí z jihu ve vyšších vrstvách (Kobliňová 1989; Sandev 2017). Vydatné srážky trvalého charakteru postihují oproti přivalovým srážkám z konvektivních bouří větší území, jsou delšího trvání, ale mají menší intenzitu.



Nemalý vliv však mají cyklony ze Středomoří i na úhrny srážek na jihu Evropy, v oblastech severozápadní Itálie a jihovýchodního cípu Francie, kde hraje největší roli krátká vzdálenost od míst cyklogeneze nad Středozemním mořem. V tomto regionu se objevují maxima úhrnů srážek na podzim (Parajka et al. 2010).

V kompletní alpsko-karpatské oblasti, která se táhne od jižní hranice Itálie s Francií, přes většinu Rakouska až po Rumunsko, jsou srážkové režimy ovlivňovány nejen Středomořím, ale i západním prouděním z Atlantiku a kontinentálním klimatem na východ od oblasti. V karpatském oblouku a severní části Alp se roční maxima srážek objevují v červenci a srpnu. Na jihu Rakouska, v jižním Tyrolsku a v jihovýchodní části Švýcarska jsou maxima až ke konci léta a na začátku podzimu, mezi pozdním srpnem a začátkem listopadu. V oblasti středních Alp není sezónní rozložení srážek oproti jiným oblastem tak výrazné, jelikož zde dochází k vypadávání orograficky zesílených srážek po celý rok. Na jižní straně Alp však opět dominují středomořské cyklony s krátkou dobou existence a způsobují extrémní srážky v pohoří Cevenny ve Francii, Piedmont (italský severozápad), údolí Aosty a jižním Tyrolsku. Povodí v Cevennech a okolí zasahují bouře ze Středozeří díky advekci teplého a vlhkého vzduchu zejména na podzim (září až prosinec).

Cyklony jsou v mnoha případech málo pohyblivé a retrogradní, a proto mají vypadávající srážky trvalejší charakter (Hanslian et al. 2000). Když je však celková rychlost pohybu cyklony vyšší, tak často nedochází k hydrologické odezvě a srážky vypadávající z týlové části středomořské cyklony nemusí mít velký vliv. Pro vznik větších úhrnů srážek je nutná i dostatečná absolutní vlhkost vzduchových hmot, k jejichž střetu dochází na frontě. Tuto vlhkost však v létě vzduchové hmoty přicházející do střední Evropy od severozápadu až jihu zpravidla mají (Brádka 1967).

Společným rysem přes Evropu postupujících středomořských cyklon je skutečnost, že meteorologické stanice, na kterých byly zaznamenány vysoké denní úhrny srážek, ležely vždy v jejich studené týlové části. Cyklona se často na hranici střední a východní Evropy stává kvazi-stacionárním systémem, který nad určitým územím setrvává po delší dobu až do fáze, kdy se začne rozpadat. Srážky s touto situací spojené jsou tak dlouhotrvající a vytrvalé. Z důvodu stacionárnosti systému se stává, že dvou až pětidenní úhrny srážek v oblastech střední a východní Evropy často překračují hodnoty průměrných úhrnů za měsíc, zejména v létě. Tab. 3 ukazuje nejvyšší denní úhrny srážek zaznamenané na třech stanicích v Polsku mezi lety 1971 a 1977. Je vidět, že stanice při

zasažení území týlovou částí středomořské cyklony hlásí úhrny nad 140 mm (Degirmendžič a Kozuchowski 2017).

**Tab. 3:** Nejvyšší zaznamenané denní srážkové úhrny na meteorologických stanicích v Polsku v létě 1971 a 1977. Zdroj dat: Degirmendžič a Kozuchowski (2017)

Stanice	Datum	Srážkový úhrn (mm)
Bielsko-Biala	21. srpna 1971	147
Sněžka	30. července 1977	150
Hala Gasienicowa	8. července 1977	223

Ve vztahu k extrémním srážkám v Evropě je nebezpečným synoptickým typem povětrnostní situace spjatá s událostmi Vb (Kakos 1985). Severní proudění na západ od Vb cyklon spouští orografické zvýrazňování srážek podél horských hřbetů střední a východní Evropy, které jsou orientovány ve směru západ-východ (Grams et al. 2014).

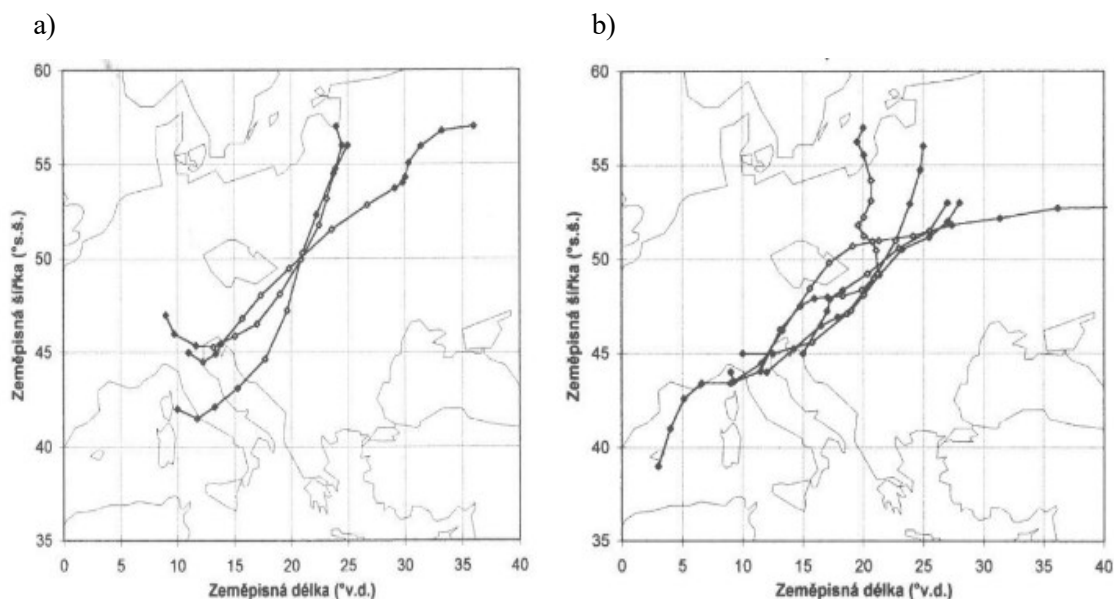
Z hlediska hydrometeorologických projevů jsou Vb události výjimečné, ale mají velký potenciál v tom vyvolat projevy počasí s katastrofálními následky hlavně na jaře a v létě. Jsou to právě Vb cyklony, které přepravují velké množství atmosférické vlhkosti na severní stranu Alp a do střední Evropy a vyvolávají tak extrémní srážky, které s vysokou pravděpodobností způsobí následné povodně v povodí významných evropských řek, v alpských regionech a přiléhajících rovinách a nízkých pohořích (Nied et al. 2014).

Srážkové události spjaté s Vb cyklonami lze dělit na události s vysokými úhrny srážek (HPE – high precipitation events) a události s nižšími úhrny srážek (LPE – low precipitation events) (Messmer et al. 2015). Nejvíce srážek při HPE událostech vypadává na severních svazích Alp a oblasti na severovýchod odtud až po povodí řeky Labe, zatímco nejvíce srážek při LPE událostech vypadává na východ od Alp. Navíc se u těchto „lehčích“ případů Vb cyklon vyskytují frontální systémy, tudíž se oblast srážek trochu liší od HPE svým prostorovým rozšířením. Události s vysokými úhrny srážek jsou doprovázeny procesem, kdy cyklona žene vítr proti Alpám, vítr je stáčen z jižního směru na severozápad a jakmile narazí na nižší horstva střední Evropy (Šumava, Krušné hory, Krkonoše, Jeseníky a Beskydy), tak dochází k orografickému zesilování srážek (Řezáčová et al. 2005). HPE dále disponují i silnou rotací, která přispívá k vypadávání srážek na zmiňované severní straně Alp.

Největší množství srážek z Vb cyklon v Polsku vypadává na jihozápadě země, ale významná část úhrnů srážek je zaznamenána i v oblasti Lublinu, což už značí podstatné odklonění od obecně chápaného konceptu dráhy Vb. Největší pravděpodobnost výskytu silných srážek ve spojení s postupem Vb cyklony v Polsku je oblast táhnoucí se od Moravskoslezských a Zywieckých Beskyd přes Krakovsko-Czestochowskou vysočinu a Lubelskou vysočinu až po řeku Bug (Degirmendžič a Kozuchowski 2017).

Stejně tak je za nezvyklé označováno, pokud byla dráha středomořské cyklony vzdálená od konceptu dráhy Vb na západ, tedy v oblasti Čech a východního Německa. Takové případy se ale vyskytují málokdy a většinou, s výjimkou povodní v srpnu 2002 v Česku a 2005 ve Švýcarsku, nejsou v literatuře zmiňovány jako události extrémních srážek nebo povodní s odklonem od standardní dráhy.

Středomořským cyklonám na dráze Vb se věnovali i Hanslian et al. (2000), kteří studovali vliv těchto cyklon na vysoké denní úhrny srážek na Lysé hoře a na Milešovce v období mezi roky 1961 až 1995 (obr. 14 a,b). Výběr míst, kde se analyzovaly denní úhrny srážek, nebyl náhodný, koncept dráhy Vb totiž přímo protíná českou část Beskyd, zatímco na Milešovce se zkoumalo, zda Vb cyklony na toto území nějaký vliv vůbec mají. Zjistilo se, že cyklony se od místa svého vzniku pohybují velmi pomalu a poté nad pevninou náhle zrychlí. V případě vysokých úhrnů srážek na Lysé hoře se některé cyklony i zastavily a směr pohybu se chaoticky měnil. Více srážek vypadávalo v cyklonách s výraznější teplotní asymetrií, s výraznějším jádrem studeného vzduchu a s větší mírou přetočení teplého a studeného vzduchu. Zatímco na Milešovce byla většina vysokých denních úhrnů srážek vázána na přechody brázd nízkého tlaku vzduchu a studených front od západu (Atlantiku), tak na Lysé hoře převládal vliv týlových částí cyklon (nejen středomořských) a mimořádné úhrny přicházely v momentě zpomalení nebo úplného zastavení postupu Vb cyklony.



**Obr. 14:** Trajektorie cyklon ze Středomoří, kterým byla přisouzena dráha Vb, a které způsobily vysoké úhrny srážek na Milešovice (a) a na Lysé hoře (b) mezi lety 1961-1995. Převzato z: Hanslian et al. (2000)

### 4.3 Vliv středomořských cyklon na povodně

Vliv středomořských cyklon na vysoké srážkové úhrny a následné povodně v Evropě je bezpochyby velký. Potvrzují to případy významných povodní posledních desetiletí v Rakousku, Německu, Česku a Polsku.

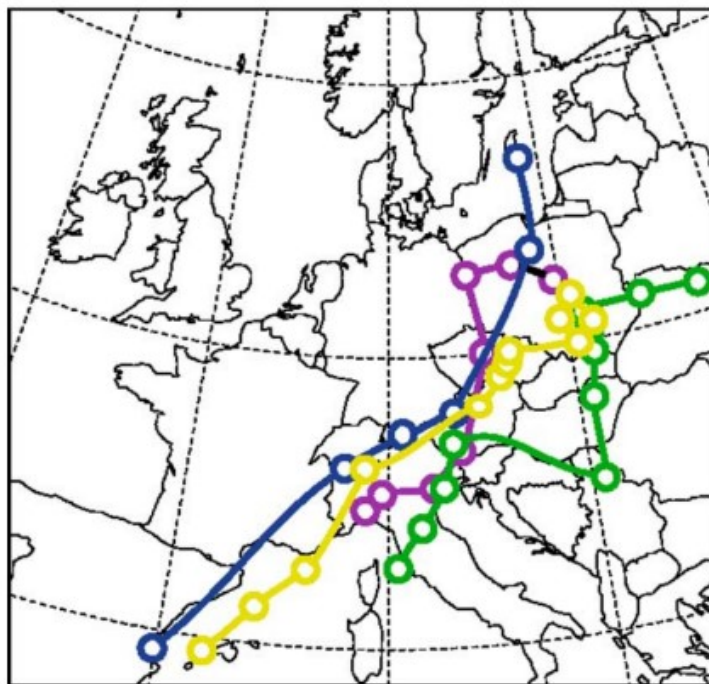
Povodně jsou jedny z hlavních přírodních katastrof ve střední a východní Evropě. Většina se odehrává na jaře a v létě a často je zasaženo vícero povodí evropských řek, jako například povodí Odry, Labe, Visly a Dunaje (Gvoždíková 2015; Klemen et al. 2016). Zatímco při povodních v chladné části roku hraje roli kombinace vypadávajícího deště a tání sněhu, v létě jde u povodní především o faktor předcházejících srážek, které nasytí půdu a druhotnou srážkovou událost, která způsobí povodně. Pro přehled se povodně dělí na tři typy: bleskové povodně způsobené na menších tocích konvektivními vydatnými srážkami, povodně na velkých tocích způsobené intenzivními dlouhotrvajícími rozsáhlými dešti a povodně z tání sněhu (Brádka 1967; Kašpar a Müller 2008). Druhý případ je způsoben výskytem pásů srážek, které jsou asociovány s mimotropickými cyklony, včetně středomořských cyklon, nebo atmosférickými frontami. Časově-prostorové rozložení srážek v podobě intenzivních

a déletrvajících dešťů však nikdy nezasahuje současně tak velká povodí, jako se v Evropě vyskytují, ale jen jeho dílčí části.

Z hlediska povodní ve střední a východní Evropě způsobených vlivem středomořských cyklon byly nejvýznamnější události v červenci 1997 a srpnu 2002. Rozhodující srážky v obou případech vypadávaly v oblasti silného proudění severních směrů na zadní straně tlakové níže, která vytvořila podmínky pro transport vlhkého vzduchu na naše území (Kašpar 2003; Řezáčová et al. 2005). Silné srážky, které zde vypadávaly v oblasti s podnormálními teplotami, byly vlivem tohoto proudění výrazně zesilovány v orograficky exponovaných oblastech, a to především v Novohradských horách, na Šumavě a Krušných horách (Müller a Kakos 2003). Např. na Cínovci zaznamenali intenzitu vypadávání srážek až 16 mm/h po několik hodin. V některých chvílích se dokonce ukázalo i maximum 50 mm/h (James et al. 2004).

Ze střeoevropských a východoevropských veletoků jsou na situace spojené s cyklonami Vb, což se extrémních srážek a následných povodní týče, nejvíce náchylné toky Labe, Odry, Visly, Vltavy a Dunaje. V případě, že se např. území Česka nachází na přední straně níže, mají srážky v teplém sektoru níže většinou konvektivní charakter s výskytem intenzivních bouřek. Pokud se nad území Česka dostane zadní strana tlakové níže, což se stalo při všech velkých povodňových událostech, převládají velkoprostorové srážky (Sandež 2017).

Na řece Odře, která pramení ve vojenském újezdu Libavá, ale většina jejího toku se nachází na území Polska nebo tvoří hranici této země s Německem, převládají letní případy povodní na horním toku, kde na základě studie od Koblihové (1998) tvoří až 74% z celkového počtu všech zaznamenaných povodní mezi lety 1895 až 1985. Právě v létě je největší pravděpodobnost postupu Vb cyklony přes povodí této řeky. Vliv návětrných efektů Beskyd přidává na výši úhrnů srážek. Zajímavostí je, že u sedmi největších povodní z tohoto období, s kulminační hodnotou větší než 10letý průtok, byl vždy zaznamenán retrográdní postup cyklony k severozápadu. Právě na řece Odře proběhla jedna z nejvýznamnějších povodní, a to v roce 1997. Avšak, povodně z let 2001 a 2002, jejichž nejvyšší vlny se odehrávaly na jiných tocích (Visle, respektive Labi), mají s tou z roku 1997 mnohé společné, jelikož se všechny tyto tři povodňové události odehrály v létě a byly způsobeny podobnými atmosférickými procesy – situací Vb (Kundzewicz et al. 2005). Trajektorie středů cyklon souvisejících se všemi třemi zmiňovanými povodňovými událostmi lze spatřit na obr. 15.



**Obr. 15:** Trajektorie středů cyklon z povodní v Evropě v letech 1997, 2001 a 2002, kde pozice středů cyklony byla zaznamenávána v intervalu dvanácti hodin. Zelená – červenec 1997 (první vlna), žlutá – červenec 1997 (druhá vlna), modrá – červenec 2001, fialová – srpen 2002. Převzato z: Kundzewicz et al. (2005)

Všechny čtyři cyklony z obr. 15 dostaly svůj název. V případě povodní v roce 1997 se jednalo o cyklonu Xolska, která mezi 4. až 9. červencem doputovala z oblasti Tyrhénského moře s východní odchylkou přes Bulharsko až na jihovýchod Polska. Druhá cyklona z období mezi 16. až 21. červencem nesla název Zoe, jejíž dráha byla přímočařejší, avšak na jejím samotném konci lze spatřit, že došlo k retrográdnímu pohybu téměř nad identickým územím, kudy prošla cyklona Xolska necelé dva týdny předtím. V případě povodní 2001 na Visle se cyklona jmenovala Axel a v roce 2002 na Vltavě a Labi nesla jméno Ilse. Tyto dva případy se liší od dvou předešlých především místem cyklogeneze, která se odehrávala západněji (na východním pobřeží Španělska).

Z předchozích informací lze odvodit, že nejvíce srážkových a následných povodňových událostí je spojováno s Vb cyklonami, které činí problémy primárně na řekách v Česku, Rakousku, Německu a Polsku. V Polsku je až 88% významných povodní spojeno s aktivitou níží právě na dráze Vb (Bogdanowicz a Stachý 2002). Vb cyklony však způsobily povodně i v roce 2005, kde se zasaženou oblastí stalo nejen povodí Dunaje, podobně jako pak v roce 2013, ale nezvykle i povodí řeky Aare ve Švýcarsku, která je jedním z hlavních přítoků řeky Rýn (Grams et al. 2014).

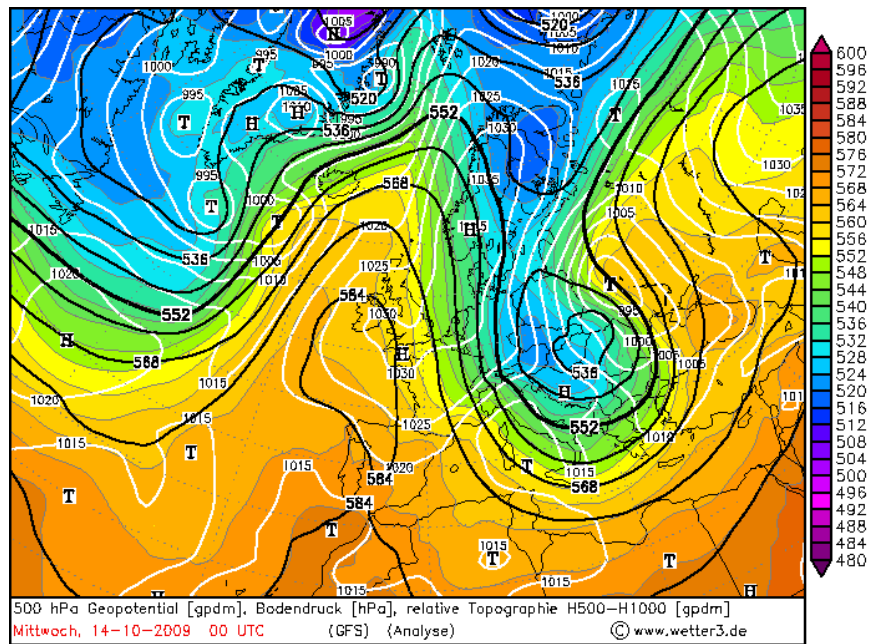
#### 4.4 Vliv středomořských cyklon na sněžení

U středomořských cyklon se kromě vlivu na dešťové srážky a povodně zkoumají vlivy na srážky sněhové. Důležitou roli v tomto případě hraje zasažení oblastí studeným týlovým sektorem cyklony, kde jsou teploty někdy i o více než 10°C nižší, než v teplém sektoru na východní straně cyklony. Další podmínkou pro výskyt sněžení v souvislosti se středomořskou cyklonou je samozřejmě i nadmořská výška. Vzhledem k tomu, že se velké množství stacionárních a méně pohyblivých středomořských cyklon vyskytuje v oblasti Janovského zálivu, tak nejčastěji k tomuto jevu dochází v pohoří Apenin a na jejich severozápadním okraji (Horvath et al. 2008). Nezřídka se však středomořská cyklona z Tyrhénského moře podílí na výskytu kalamitního sněžení ve středním pásu Apenin. U intenzivnějších případů cyklon se sněžení v Apeninách vyskytuje i v hraničním období mezi teplou a chladnou částí roku.

V případě mobilních středomořských cyklon, které postupují po drahách mimo oblast Středomoří, existují zmínky o vlivu na silné sněžení v severním kvadrantu Dinárského pohoří a ve východních Alpách (Nissen et al. 2014). Se středomořskými cyklonami postupujícími po dráze Vb souvisí i kalamitní sněžení na území České republiky, kterému se podrobně věnovali Květoň a Žák (2011; 2018). Ti se zaměřili na tlakové níže s často retrográdním postupem v chladné části roku od 11. října do 30. dubna a související dny se sněžením s oblastním průměrem výšky nového sněhu 8 cm a výše.

Kalamitní sněžení se však podle autorů vyskytuje ve spojení se středomořskými cyklonami z velké části v Beskydech a v Hrubém Jeseníku. Pro oblast Šumavy se kromě povětrnostní situace od Atlantiku velmi zřídka uplatňují i situace C a B. V Krkonoších se kalamitní sněžení vlivem tlakové níže ze Středomoří vyskytuje zejména při postupu středomořské cyklony po dráze Vb západněji než obvykle.

Na obr. 16 lze spatřit situaci z 14. října 2009, kdy na východ od České republiky postupovala středomořská cyklona. Tlaková níže nejdříve postupovala z oblastí Jaderského moře, přes Itálii, Rakousko a dále k Polsku. Do Česka v tu dobu proudil od severovýchodu studený vzduch a největší oblastní průměr výšky nového sněhu byl zaznamenán v oblasti Ostravska a v Beskydech. Např. na Lysé hoře napadlo v tento den 65cm nového sněhu.



**Obr. 16:** Přízemní tlakové pole (bílé čáry) a geopotenciál izobarické hladiny 500 hPa (barevně) ze dne 14. října 2009 v 00 UTC. Zdroj: Wetter3.de (2021)



## 5. Diskuze

Práce se zabývá středomořskými cyklonami, jejich vznikem, prostorovým rozšířením a jejich vlivem na počasí v Evropě. Konceptu středomořských cyklon se věnuje mnoho publikací z různých zemí Evropy, kde většina je pojata jako případové studie vztahující se na konkrétní území. Z tohoto důvodu bylo nutné pro tuto práci s rešeršním charakterem projít velké množství publikací, které často obsahovaly subjektivní názory na zkoumanou problematiku a kde představené metody byly často velmi specifické a unikátní.

Autoři v použité literatuře jednotně nestanovují mechanismus, kterým cyklona vzniká při procesech cyklogeneze ve Středomoří. Kromě typu A cyklogeneze, jež je nastíněna norským modelem a modelem Shapira a Keysera, související se vznikem cyklon na frontální vlně, se dále v této práci zmiňují i typy B a C. Typ B cyklogeneze se zaměřuje především na procesy ve vrchní troposféře a podle Pettersena a Smebye (1971) je jejím výsledkem termální struktura, zatímco cyklogeneze typu C je řízena existujícími anomáliemi potenciální vorticity (Plant et al. 2003). Ačkoliv je výsledkem všech typů cyklogeneze cyklona, která následně ovlivňuje počasí ve svém okolí podobně jako jiné, tak způsob, jakým je vnímán její vznik může ovlivnit související vlastnosti cyklon nebo jejich sledování.

Pro sledování trajektorií cyklon existuje hned několik způsobů. Ať už se jedná o sledování manuálním způsobem nebo automatizovaným, vždy se posuzují vlastnosti středu cyklony. Problém nastává, pokud se při postupu cyklony vyskytují na dráze určité formy horských hřebenů. V takovém případě je nevhodné použít metodu sledování za pomoci přepočtu tlaku vzduchu na hladinu moře. Navíc, přístupy sledující cyklony tímto způsobem často nadhodnocují hluboké a silně vyvinuté cyklony a mělké cyklony opomíjejí (Pinto et al. 2005). Pro účely sledování cyklon v oblastech pohoří je proto vhodné používat metodu geopotenciální výšky izobarických hladin, tak, jako to udělali Hofstätter a Chimani (2012) pro Alpy, kde použili hladinu 700 hPa.

Pro účely této práce byly využity návrhy drah, po kterých cyklony Evropou postupují, podle Bebbera a Köppena (1895) a Hofstättera et al. (2016). Většina publikací věnující se tématice drah středomořských cyklon vychází z práce Bebbera a Köppena (1895) a zmiňují zejména dráhu Vb, na jejímž průběhu se vesměs shodují. Ostatní dráhy jsou však subjektivně posuzovány a následně i odlišně pojmenovány a výběr pouze jednoho subjektivního pohledu od Hofstättera et al. (2016) má v této práci vliv na konečné

posuzování postupu cyklon napříč Evropou. Do budoucích odborných prací by bylo vhodné z tohoto hlediska zakomponovat více klasifikací drah.

Z hlediska četnosti výskytu středomořských cyklon ve Středozeří se výsledky z velké části shodují, že se cyklony vyskytují poměrně často v oblastech Janovského zálivu, Kypru a Tyrhénského moře (Homar et al. 2006; Bartholy et al. 2009). Výskyt putujících středomořských cyklon byl popsán na základě konkrétních případů souvisejících extrémních srážek či následných povodní. Práce nezohledňuje mobilní středomořské cyklony, které měly na hydrometeorologické prvky malý vliv, jelikož ani použitá literatura takovéto události nezmiňovala. Převažující výskyt mělkých a krátkodobých cyklon ovlivňuje výsledky práce v tom smyslu, že hodnoty u vlastností jako doba existence, uražená vzdálenost cyklony nebo její horizontální rozsah jsou snižovány na úkor hlubokých a dlouhotrvajících tlakových níží, které ovlivňují počasí v Evropě daleko větším způsobem. V tomto případě by bylo vhodné např. jednotlivé zaznamenané výskyty cyklon filtrovat a odstranit tak krátkodobé události, které počasí v Evropě nijak významně neovlivňují.

Z popisovaných vlivů středomořských cyklon na počasí v Evropě vyplývá, že největší vliv má tento druh cyklon na úhrny srážek a povodně. Je však důležité podotknout, že v případě postupu středomořské cyklony přes určité území a následné vypadávání srážek automaticky nenastává související povodňová událost. Ano, existují státy jako Polsko, kde se středomořské cyklony postupující po dráze Vb v posledních několika desetiletích podílely až na 80% ze všech zaznamenaných povodní, ale v případě extrémních srážek a povodní silně závisí na faktorech nasycení půdy, profilu toků a navazujících postupech druhotných cyklon (Kundzewicz et al. 2005). Povodňová událost ze srpna 2002, která postihla většinu střední Evropy, by nebyla tak významná, pokud by krátce po průchodu první cyklony nenastala druhá extrémní srážková epizoda.

Pro středomořské cyklony a jejich vliv na počasí v Evropě neexistuje ucelenější zdroj a výsledky jsou tudíž nejednoznačné na konkrétních jednotlivých případech cyklon. Co se však podařilo na základě výsledků dokázat je, že hluboké a mobilní středomořské cyklony se v Evropě sice vyskytují výjimečně, ale pokud už se vyskytnou, tak mají vliv na významné epizody počasí. Při postupu středomořských cyklon se tak zpravidla vydávají výstrahy před nebezpečnými hydrometeorologickými jevy, zatímco v případě cyklon atlantického původu, které se vyskytují častěji, se výstraha vždy nevydává a pokud by měla, tak bude většinou souviset s vlivem na vítr.

## 6. Závěr

Téma středomořských cyklon a jejich vlivu na počasí v Evropě je z hlediska ovlivněných území rozsáhlé, ale text této rešeršní práce se snažil alespoň stručně přiblížit, kde dochází k nejvýznamnějším událostem. Zprvu bylo objasněno, co jsou to mimotropické cyklony, jak se liší od těch tropických a kde se převážně vyskytují.

Následně byly představeny koncepty tvorby cyklon (cyklogeneze) a jejich drah v Evropě, na něž existuje napříč historií mnoho pohledů. V neposlední řadě byl v této obecně pojaté části práce zmíněn i způsob, kterým se nejen středomořské cyklony dají sledovat. Ve stěžejní části rešerše pak zaznělo několik názorů na prostorové rozšíření středomořských cyklon v Evropě, jejich sezónní variabilitu, a především jejich vliv na počasí v Evropě. Podrobně pak byla představena dráha Vb, její rozsah a vliv cyklon tuto dráhu sledující.

Rozsah území, které je středomořskými cyklony ovlivňováno, nelze explicitně na základě použitých studií definovat. Rozsah však lze nepřímou určit na základě použitých skupin cyklon MED, pod které spadají další cyklony ze Středomoří (X-N, X-S a Vb). Vliv středomořských cyklon na extrémní události napříč Evropou též není jasný, ale podařilo se určit extremity v oblastech, které jsou pro projevy středomořských cyklon známé.

Práce úspěšně shrnuje problematiku středomořských cyklon z hlediska jejich vývoje, pohybu, vlastností a sezónní variability. Navíc se povedlo charakterizovat oblasti, ve kterých se vliv středomořských cyklon na počasí projevuje. Do určité míry se také podařilo objasnit, že dynamika cyklon putujících Evropou umožňuje odklonění od idealizovaných drah západním, respektive východním směrem.

Pro účely vylepšení a rozšíření této práce by bylo vhodné do budoucna uvažovat nad detailní analýzou konkrétního regionu a jeho blízkosti, kde se vlivy středomořských cyklon projevují nebo je možné, že se v blízké budoucnosti projevovaly budou. Ačkoliv se do budoucna předpokládá, že dojde k poklesu četnosti středomořských cyklon v Evropě, tak jejich intenzita a vliv na extrémní události naopak zesílí. Plná odpověď na vliv středomořských cyklon na extrémní počasí napříč Evropou by se však musela zkoumat na základě primárních dat.

## Seznam literatury

AKPEROV, G. M., MOKHOV, I. I. (2010): A Comparative Analysis of the Method of Extratropical Cyclone Identification. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, 46, 5, 574-590.

ALPERT, P., NEEMAN, U. B., SHAY-EL, Y. (1990): Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 42, 1, 65-77.

APOSTOL, L. (2008): The Mediterranean cyclones – the role in ensuring water resources and their potential of climatic risk, in the east of Romania. *Present Environment and Sustainable Development*, 2, 1, 143-163.

BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R., ÁBRAHÁM-PATTANTYÚS, M. (2009): Analyzing the genesis, intensity, and tracks of western Mediterranean cyclones. *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 1-2, 133-144.

BEBBER, W. J. (1891): Die Zugstrassen der barometrischen Minima nach den Bahnenkarten der Deutschen Seewarte für den Zeitraum 1875–1890. *Meteorologische Zeitschrift*, 8, 361-366.

BEBBER, W. J., KÖPPEN, W. (1895): Die Isobaren-typen des Nordatlantischen Ozeans und Westeuropas, ihre Beziehung zur Lage und Bewegung der barometrischen Maxima und Minima. *Archiv der Deutschen Seewarte*, 18, 27S., 23 Tafeln.

BLENDER, R., FRAEDRICH, K., LUNKEIT, F. (1997): Identification of cyclone-track regimes in the North Atlantic. *Q. J. R. Meteorological Society*, 123, 539, 727-741.

BLENDER, R., SCHUBERT, M. (2000): Cyclone Tracking in Different Spatial and Temporal Resolutions. *Monthly Weather Review*, 128, 2, 377-384.

BOGDANOWICZ, E., STACHÝ, J. (2002): Maximum rainfall in Poland – a design approach. The extremes of the extremes: Extraordinary floods, 227, 15-18.

BRÁDKA, J., DŘEVIKOVSKÝ, A., GREGOR, Z., KOLESÁM, J. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. *Hydrometeorologický ústav, Praha*, 126 s.

BRÁDKA, J. (1967): Meteorologické příčiny povodní ve Slezsku. *Meteorologické zprávy*, 20, 1, 3-9.

BUZZI, A., TIBALDI, S. (1978): Cyclogenesis in the lee of the Alps: A case study. *Q. J. R. Meteorological Society*, 104, 440, 271-287.

CAMPINS, J., GENOVÉS, A., PICORNELL, A. M., JANSÁ, A. (2011): Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-40 dataset. *International Journal of Climatology*, 21, 11, 1596-1614.

CATRINA, O., STEFAN, S., CRACIUN, C. (2018) Objective identification of Mediterranean cyclones and their trajectories towards Romania. *Meteorological Applications*, 26, 3, 429-441.

DEGIRMENDŽIČ, J., KOZUCHOWSKI, K. (2017): Mediterranean cyclones, the atmospheric moisture content and precipitation in Poland. *Gographica Polonica*, 90, 1, 5-20.

DUNN, G. E. (1951): Tropical Cyclones. In: *Compendium of Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, 887-901.

- GRAF, A. M., WERNLI, H., SPRENGER, M. (2016): Objective classification of extratropical cyclogenesis. *Q. J. R. Meteorological Society*, 143, 703, 1047-1061.
- GRAMS, M. C., BINDER, H., PFAHL, S., PIAGET, N., WERNLI, H. (2014): Atmospheric processes triggering the central European floods in June 2013. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 7, 1691-1702.
- GRAZZINI, F., VAN DER GRIJN, G. (2002): Central European Floods during summer 2002. *ECMWF Newsletter*, 96, 18-28.
- GVOŽDÍKOVÁ, B. (2015): Extremita povodní na pomezí západní a střední Evropy. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- HANSLIAN, D., BRÁZDIL, R., ŠTEKL, J., KAKOS, V. (2000): Vliv cyklon Středomořského původu na vysoké denní úhrny srážek na Milešovce a Lysé hoře v období 1961-1995. *Meteorologické zprávy*, 53, 2, 33-41.
- HODGES, I. K. (1994): A General Method for Tracking Analysis and Its Application to Meteorological Data. *Monthly Weather Review*, 122, 11, 2573-2586.
- HOFSTÄTTER, M., CHIMANI, B. (2012): Van Bebber's cyclone tracks at 700 hPa in the Eastern Alps for 1961-2002 and their comparison to Circulation Type Classifications. *Meteorologische Zeitschrift*, 21, 5, 459-473.
- HOFSTÄTTER, M., CHIMANI, B., LEXER, A., BLÖSCHL, G. (2016): A new classification scheme of European cyclone tracks with relevance to precipitation. *Water Resources Research*, 52, 9, 7086-7104.
- HOMAR, V., JANSA, A., CAMPINS, J., RAMIS, C. (2006): Towards a climatology of sensitivities of Mediterranean high impact weather – first approach. *Advances in Geosciences*, 7, 259-267.
- HORVATH, K., LIN, L. Y., IVANČAN-PICEK, B. (2008): Classification of Cyclone Tracks over the Appennines and the Adriatic Sea. *Monthly Weather Review*, 136, 6, 2210-2227.
- HOSKINS, J. B., HODGES, I. K. (2002): New Perspectives on the Northern Hemisphere Winter Storm Tracks. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59, 6, 1041-1061.
- JAMES, P., SPICHTINGER, N., ECKHARDT, S., FORSTER, C. (2004): Climatological aspects of the extreme European rainfall of August 2002 and a trajectory method for estimating the associated evaporative source regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 5/6, 733-746.
- KAKOS, V. (1985): Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Labe. *Meteorologické zprávy*, 38, 5, 148-151.
- KAŠPAR, M. (2003): Porovnání extrémnosti synoptických podmínek během povodní v České republice v srpnu 2002 a v červenci 1997. *Meteorologické zprávy*, 56, 6, 166-177.
- KAŠPAR, M., MÜLLER, M. (2008): Selection of historic heavy large-scale rainfall events in the Czech Republic. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 6, 1359-1367.
- KLEMEN, D. F., LUDWIG, P., REYERS, M., ULBRICH, S., PINTO, G. J. (2016): Evaluation of moisture sources for the Central European summer flood of May/June 2013 based on regional climate model simulations. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 68, 1, 1-16.

KOBLIHOVÁ, E. (1989) Možnosti využití hydrosynoptických vztahů pro předpověď povodní na Odře v Bohumině. *Meteorologické zprávy*, 42, 168-172.

KÖNIG, W., SAUSEN, R., SIELMANN, F. (1993): Objective Identification of Cyclones in GCM Simulations. *Journal of Climate*, 6, 12, 2217-2231.

KUNDZEWICZ, W. Z., ULBIRCH, U., BRÜCHER, T., GRACZYK, D., KRÜGER, A., LECKEBUSCH, C. G., MENZEL, L., PINSKWAR, I., RADZIEJEWSKI, M., SZWED, M. (2005): Summer Floods in central Europe – Climate Change Track? *Natural Hazards*, 36, 1, 165-189.

KVĚTOŇ, V., ŽÁK, M. (2011): Vliv středomořských tlakových níží na kalamitní sněžení v České republice. *Meteorologické zprávy*, 64, 5, 129-136.

KVĚTOŇ, V., ŽÁK, M. (2018): Vliv středomořských tlakových níží na četnost výskytu vydatných srážek a kalamitních sněžení v České republice. *Meteorologické zprávy*, 71, 2, 45-58.

LAPIN, M., ŠTEKL, J. (1974): Niektoré poznatky z orografického vplyvu Álp na počasie při dráhach cyklón zo západného Stredomoria cez Alpy do strednej Európy. *Meteorologické zprávy*, 27, 1, 19-24.

LIONELLO, P., TRIGO, F. I., GIL, V., LIBERATO, R. L. M., NISSEN, M. K., PINTO, G. J., RAIBLE, C. C., REALE, M., TANZARELLA, A., TRIGO, M. R., ULBRICH, S., ULBIRCH, U. (2016): Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region: a consensus view among methods with different system identification and tracking criteria. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 68, 1, 1-18.

MESSMER, M., GÓMEZ-NAVARRO, J. J., RAIBLE, C. C. (2015): Climatology of Vb cyclones, physical mechanisms and their impact on extreme precipitation over Central Europe. *Earth Syst. Dynam.*, 6, 2, 541-553.

MURRAY, J. R., SIMMONDS, I. (1991): A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: development and operation of the scheme. *Australian Meteorological Magazine*, 39, 3, 155-166.

MUSKULUS, M., JACOB, D. (2005): Tracking cyclones in regional model data: the future of Mediterranean storms. *Advances in Geosciences*, 2, 2, 13-19.

MÜLLER, M., KAKOS, V. (2003): Hydrometeorologické srovnání povodní v srpnu 2002 s vybranými historickými případy dešťových povodní na Vltavě v Praze. *Meteorologické zprávy*, 56, 5, 129-136.

NIED, M., PARDOWITZ, T., NISSEN, K., ULBIRCH, U., HUNDECHA, Y., MERZ, B. (2014): On the relationship between hydro-meteorological patterns and flood types. *Journal of Hydrology*, 519, D, 3249-3262.

NISSEN, M. K., LECKEBUSCH, C. G., PINTO, G. J., ULBRICH, U. (2014): Mediterranean cyclones and windstorms in a changing climate. *Regional Environmental Change*, 14, 5, 1873-1890.

NUGENT, A., DECOU, D., RUSSELL, S., KARAMPERIDOU, C. (2019): Atmospheric Processes and Phenomenon. *Univeristy of Hawaii, Manoa*.

- PARAJKA, J., KOHNOVÁ, S., BÁLINT, G., BARBUC, M., BORGA, M., CLAPS, P., CHEVAL, S., DUMITRESCU, A., GAUME, E., HLAVČOVÁ, K., MERZ, R., PFAUNDLER, M., STANCALIE, G., SZOLGAY, J., BLÖSCHL, G. (2010): Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine-Carpathian range. *Journal of Hydrology*, 394, 1-2, 78-89.
- PETTERSSSEN, S., SMEBYE, J. S. (1971): On the development of extratropical cyclones. *Q. J. R. Meteorological Society*, 97, 414, 457-482
- PICORNELL, A. M., JANSÁ, A., GENOVÉS, A., CAMPINS, J. (2001): Automated database of mesocyclones from the HIRLAM(INM)-0.5° analyses in the western Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 21, 3, 335-354.
- PINTO, G. J., SPANGEHL, T., ULBRICH, U., SPETH, P. (2005): Sensitivities of a cyclone detection and tracking algorithm: individual tracks and climatology. *Meteorologische Zeitschrift*, 14, 6, 823-838.
- PLANT, S. R., CRAIG, C. G., GRAY, L. S. (2003): On a threefold classification of extratropical cyclogenesis. *Q. J. R. Meteorological Society*, 129, 594, 2989-3012.
- RAIBLE, C. C., DELLA-MARTA, M. P., SCHWIERZ, C., WERNLI, H., BLENDER, R. (2008): Northern Hemisphere Extratropical Cyclones: A Comparison of Detection and Tracking Methods and Different Reanalyses. *Monthly Weather Review*, 136, 3, 880-897.
- ROBERTS, F. J., CHAMPION, J. A., DAWKINS, C. L., HODGES, I. K., SHAFFREY, C. L., STEPHENSON, B. D., STRINGER, A. M., THORNTON, E. M., YOUNGMAN, D. B. (2014): The XWS open access catalogue of extreme European windstorms from 1979 to 2012. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 9, 2487-2501.
- RUDARI, R., ENTEKHABI, D., ROTH, G. (2004): Terrain and multiple-scale interactions as factors in generating extreme precipitation events. *Journal of Hydrometeorology*, 5, 3, 390-404
- RUDOLF, Z., HUDEC, F. (2000): Vliv retrográdních cyklon na průběh počasí nad územím České republiky. *Meteorologické zprávy*, 53, 2, 42-45.
- ŘEZÁČOVÁ, D., KAŠPAR, M., MÜLLER, M., SOKOL, Z., KAKOS, V., HANSLIAN, D., PEŠICE, P. (2005): A comparison of the flood precipitation episode in August 2002 with historic extreme precipitation events on the Czech territory. *Atmospheric Research*, 77, 1-4, 354-366.
- ŘEZÁČOVÁ, D., NOVÁK, P., KAŠPAR, M., SETVÁK, M. (2007): Fyzika oblaků a srážek. Academia, Praha.
- SANDEV, M. (2017): Mechanismus povětrnostní cirkulace vedoucí k vydatným srážkám a povodním ve střední Evropě. *Meteorologické zprávy*, 70, 3, 78-86.
- SCHZULTZ, M. D., KEYSER, D., BOSART, F. L. (1998): The effect of Large-Scale Flow on Low-Level Structure and Evolution in Midlatitude Cyclones. *Monthly Weather Review*, 126, 7, 1767-1791.
- SHAPIRO, A. M., KEYSER, D. (1990): Fronts, Jet Streams and the Tropopause. In: Newton, W. CH. Holopainen, O. E. (ed.): *Extratropical Cyclones (The Erik Palmén Memorial Volume)*. American Meteorological Society, Boston, 167-191.
- SINCLAIR, R. M. (1994): An Objective Cyclone Climatology for the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 122, 10, 2239-2256.

SOBÍŠEK, B., KRŠKA, K., MUNZAR, J. (1993): Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.

TRIGO, F., DAVIES, D. T., BIGG, R. G. (1999): Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region. *Journal of Climate*, 12, 6, 1685-1696.

TRIGO, F. I., BIGG, R. G., TREVOR, D. D. (2002): Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review*, 130, 3, 549-569.

ULBRICH, U., LECKEBUSCH, C. G., PINTO, G. J. (2009): Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review. *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 1-2, 117-131.

WERNLI, H., SCHWIERZ, C. (2006): Surface Cyclones in the ERA-40 Dataset (1958-2001). Part I: Novel Identification Method and Global Climatology. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 63, 10, 2486-2507.

#### Internetové zdroje:

CLAY, C. (2019): What Is the Difference Between Tropical Cyclones & Extratropical Cyclones? <https://www.alabamawx.com/?p=195936> (cit 5. 2. 2021).

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA (2020): Extratropical cyclone, <https://www.britannica.com/science/extratropical-cyclone> (cit 5. 2. 2021).

GABA, E. (2007): Map in English of the Mediterranean Sea, with the borders and the names of the States following the ISO 3166-1 Alpha-3 code, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mediterranean\\_Sea\\_political\\_map-en.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mediterranean_Sea_political_map-en.svg) (cit. 7. 4. 2021).

HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (1968): Typizace povětrnostních situací pro území ČSSR, <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/typizace-povetrnostnich-situaci> (cit. 23. 3. 2021).

METEOROLOGICKÝ SLOVNÍK (2015): Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický, <http://slovník.cmes.cz/> (cit. 11. 2. 2021).

RÝVA, D. (2015): Zajímavosti z meteorologie I: Hurikán, tajfun, cyklon. O co jde? <https://www.matfyz.cz/clanky/zajimavosti-z-meteorologie-i-hurikan-tajfun-cyklon-o-co-jde> (cit. 4. 2. 2021).

WETTER3 (2021): Standard Charts Archive (GFS), [http://www1.wetter3.de/archiv\\_gfs\\_en.html](http://www1.wetter3.de/archiv_gfs_en.html) (cit. 30. 4. 2021).