

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydrauliky a hydrologie



Vliv změny klimatu na teplotní stratifikaci vodních nádrží

Josefův Důl a Souš

**Climate change impact on thermal stratification of
reservoirs Josefův Důl and Souš**

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef Křeček, CSc.

Bc. Karolína Bejčková

Praha 2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bejčková Jméno: Karolina Osobní číslo: 423104

Zadávací katedra: Katedra hydrauliky a hydrologie

Studijní program: (N3607) Stavební inženýrství

Studijní obor: (3904T007) Inženýrství životního prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vliv změny klimatu na teplotní stratifikaci vodních nádrží Josefův Důl a Souš

Název diplomové práce anglicky: Climate change impact on thermal stratification of reservoirs Josefův Důl and Souš

Pokyny pro vypracování:

Tato studie by měla zahrnovat:

- Rozbor problematiky teplotní stratifikace vodních nádrží v podmínkách ČR.
- Rešerši dosavadních poznatků vlivu klimatu na stratifikaci nádrží.
- Posouzení vlivu klimatické změny na stratifikaci vodárenských nádrží Josefův Důl a Souš v období 2071-2100.
- Hodnocení environmentálních dopadů uvažovaných změn teplotní stratifikace.

Seznam doporučené literatury:

IPCC (2013). Climate change 2013: The physical science basis. The fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO, Geneva.

Schonborn, W., Risse-Buhl, V. (2013): Lehrbuch der Limnologie. Schweitzbart, Stuttgart, 669 pp.

Shaw, E.M. (2011): Hydrology in practice. 4th edition, Span Press, London, 560 pp.

Stuchlík, E., Hořická Z., Prechalová, M., Křeček, J., Barica J. (1997): Hydrobiological investigation of three acidified reservoirs in the Jizera Mountains, the Czech Republic, during the summer stratification. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2155: 56-64.

WHO (2004): Guidelines for drinking water quality. Third Edition, World Health Organization, Geneva, 623 pp.

Jméno vedoucího diplomové práce: Doc. Ing. Josef Křeček, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

3.10.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

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

V Praze dne

.....

Bc. Karolína Bejčková

Poděkování

Děkuji vedoucímu této diplomové práce doc. Ing. Josefu Křečkovi, CSc. za odborné vedení, rady a čas, který mi věnoval. Svě rodině děkuji za podporu při tvorbě této diplomové práce i během celého studia.

V této studii byly využity infrastruktury pořízené v rámci projektu "OPVWV –ERDF CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_017/0002626 Modernizace a doplnění infrastruktur výzkumně zaměřených programů v oblasti vodního hospodářství a environmentálního inženýrství".

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vlivem změny klimatu na vývoj teplotní stratifikace vodních nádrží Josefův důl a Souš v Jizerských horách v období 2071 - 2100. Cílem studie je popsat dosavadní vývoj stratifikace řešených nádrží na základě analýzy dat naměřených za období 1995 - 2018 a predikovat parametry stratifikace pro období klimatického normálu 2071 - 2100. Odhad budoucího vývoje stratifikace byl proveden pro dva klimatické scénáře (A2 a B2). Diplomová práce zahrnuje teoretický přehled problematiky teplotní stratifikace nádrží, environmentálních aspektů stratifikace, klimatické změny, modelování změny klimatu a stratifikace a popis zájmového území. V závěru jsou popsány možné dopady uvažované změny klimatu na stratifikaci řešených nádrží.

Abstract

This diploma thesis deals with the climate change impact on the thermal stratification development of water reservoirs Josefův Důl and Souš in the Jizera Mountains in 2071 - 2100. The aim of the study is to describe recent stratification development of solved water reservoirs by analyzing the data measured between 1995 and 2018 and to predict the stratification parameters for the climatic normal period 2071-2100. Estimation of the future stratification development was done for two climatic scenarios (A2 and B2). The diploma thesis includes a theoretical overview of thermal stratification of lakes, environmental aspects of stratification, climate change, climate change and stratification models and description of the area of interest. At the end of the thesis, the impacts of the proposed climate change on the thermal stratification of solved reservoirs are described.

Klíčová slova

teplotní stratifikace vodních nádrží, klimatická změna, vliv změny klimatu, emisní scénáře, projekce změny klimatu v regionálním měřítku, vodárenské nádrže Souš a Josefův důl v Jizerských horách

Key Words

Lake Thermal Stratification, Climate Change, Climate Change Impact, Emission Scenarios, Projections of Regional Climate Change, Drinking Water Reservoirs Josefův Důl and Souš in Jizera Mountains

Obsah

1. Úvod	6
2. Teplotní stratifikace vodních nádrží	7
2.1. Tepelný režim vodních nádrží.....	7
2.2. Teplotní stratifikace vodních nádrží v podmínkách ČR.....	11
3. Environmentální aspekty stratifikace nádrží.....	12
3.1. Fyzikální aspekty související s teplotou vody.....	12
3.1.1. Hustota.....	12
3.1.2. Povrchové napětí.....	12
3.1.3. Rozpustnost.....	12
3.1.4. Viskozita	13
3.1.5. Elektrolytická konduktivita	13
3.1.6. Reakce vody (pH)	13
3.1.7. Oxidačně – redukční potenciál.....	14
3.1.8. Organoleptické vlastnosti vody.....	14
3.2. Chemické aspekty související s teplotou vody.....	14
3.2.1. Obsah kyslíku.....	15
3.2.2. Obsah oxidu uhličitého.....	19
3.2.3. Obsah dusíku	22
3.2.4. Obsah fosforu	23
3.3. Další aspekty související s teplotou vody.....	25
3.3.1. Vertikální stratifikace organismů	25
3.3.2. Vliv na ekosystém	26
3.3.3. Kvalita vody a vodárenské využití	26
4. Vodárenské nádrže Josefův Důl a Souš v Jizerských horách.....	27
4.1. Oblast Jizerských hor.....	27
4.1.1. Popis území	27
4.1.2. Acidifikace v Jizerských horách	31
4.1.3. Ochrana přírody a krajiny Jizerských hor.....	34
4.1.4. Vodárenské nádrže Josefův důl a Souš.....	37
4.2. Vodní nádrž Souš	38
4.2.1. Základní údaje.....	38
4.2.2. Historie.....	39
4.2.3. Současné využití.....	40
4.3. Vodní nádrž Josefův Důl	41
4.3.1. Základní údaje.....	41
4.3.2. Historie.....	42
4.3.3. Současné využití.....	42
5. Posouzení vlivu klimatické změny na stratifikaci vodárenských nádrží Josefův důl a Souš.....	44
5.1. Globální změna klimatu.....	44
5.2. Modelování změn klimatu, klimatické scénáře.....	47
5.3. Projekt PRUDENCE	48
5.4. Modelování stratifikace.....	49
5.5. Metodika	50
5.6. Dosavadní změny.....	51
5.6.1. Josefův důl.....	57
5.6.2. Souš.....	65
5.7. Predikce změn v letech 2071-2100	74
5.7.1. Predikce Josefův důl.....	76
5.7.2. Predikce Souš.....	79
5.7.3. Predikce změny evapotranspirace vlivem klimatické změny v letech 2071-2100	81
6. Hodnocení environmentálních dopadů uvažovaných změn teplotní stratifikace.	83
7. Závěr a doporučení.....	86
8. Seznam použité literatury.....	89
9. Seznam příloh.....	92

1. Úvod

Oblast Jizerských hor je charakteristická svým vlhkým chladným klimatem, je nejdeštivější oblastí v celé České republice. [1] Kvůli opakovaným ničivým povodním na konci 19. století započala v prvním desetiletí 20.století výstavba soustavy přehrad, které měly zajistit protipovodňovou ochranu níže položených území. [2] V současné době jsou vodárenské nádrže Josefův důl a Souš důležitým zdrojem pitné vody pro severní Čechy. [3] Jizerské hory díky své poloze výrazně ovlivňují lokální klima ve svém okolí. [4] Na území Jizerských hor se nachází cenné přírodní prostředí, zároveň se však jedná o jednu z prvních a nejvíce postižených oblastí antropogenní acidifikací na světě. [5] V souvislosti se změnou klimatu je pro jizerskohorskou přírodu možné opakování přírodní katastrofy ze 20. století vážnou hrozbou do budoucnosti.

Cílem této studie je popis vývoje stratifikace vodních nádrží Josefův důl a Souš za období 1995 - 2018 a zároveň predikce parametrů stratifikace pro období 2071 - 2100. Diplomová práce je zaměřena na teplotní stratifikaci, která zásadně ovlivňuje fyzikální, chemické i biologické vlastnosti vody. Tepelná stratifikace determinuje stratifikaci fyzikálních a chemických parametrů i distribuci vodní bioty ve vertikálním profilu nádrže. Teplota vody má vliv na celé vodní prostředí - koloběh látek ve vodě, koncentraci a formu výskytu látek, rychlost procesů, kvalitu vody a podobu a stav vodních společenstev.

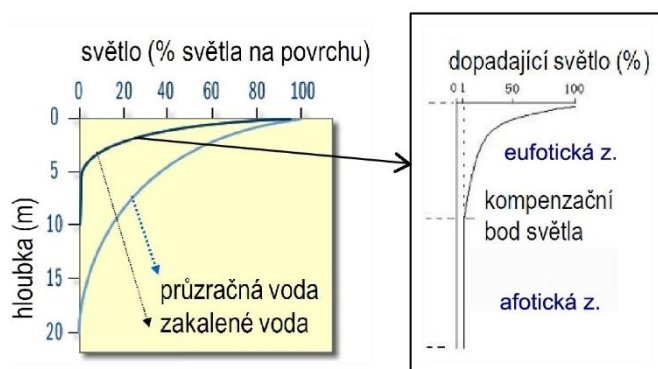
2. Teplotní stratifikace vodních nádrží

V první části této kapitoly je popsána problematika tepelného režimu vodních nádrží, faktory podmiňující teplotní stratifikaci, sezónní cyklus stratifikace a cirkulace vody a druhy nádrží podle ročního cyklu. Druhá část je věnována teplotní stratifikaci v České republice, včetně vodních nádrží Josefův důl a Souš.

2.1. Tepelný režim vodních nádrží

Teplotní stratifikace je jednou z vlastností vody, která se podílí na utváření tepelného režimu ve vodních nádržích. Dalšími podstatnými fyzikálními vlastnostmi jsou tepelná vodivost, tepelná kapacita, spotřeba tepelné energie při výparu z hladiny a průnik slunečního záření vodním sloupcem. Teplotní stratifikace závisí na velikosti, morfologii a hloubce vodní nádrže, klimatických podmínkách, nadmořské výšce a na promíchávání větrem. [6]

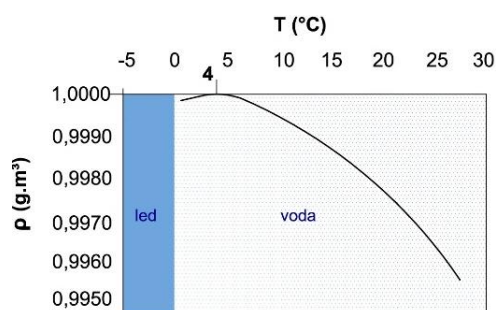
Hlavním zdrojem tepelné energie vody je sluneční záření. Část dopadajícího záření je odražena, část absorbována a část proniká dále vodním sloupcem. Útlum světla je dán čistotou vody (mírou zakalení). Vytváří se vertikální světelný profil – dle útlumu dopadajícího světla se dělí vrstvy vodního sloupce na eufotickou (dobře prosvětlená vrstva, probíhá zde fotosyntéza i respirace) a afotickou (beze světla, probíhá zde pouze respirace). Zakalené vody se ohřívají rychleji než vody čiré - zakalení sice brání průniku světla do větších hloubek, ale částice tvořící kal mají velkou schopnost pohlcovat teplo. Prohřívání vody je dáno též tvarem a hloubkou vodní nádrže. U mělkých nádrží se ohřívá nejprve dno, které poté ohřívá vodu. Mělké nádrže se také vyznačují větším kolísáním teploty než nádrže hluboké. Průběh teploty vody v nádržích má denní i roční cyklus. V hlubokých nádržích se denní průběh teploty projeví až do hloubky 20 m, změny teploty během roku i do hloubek přes 200 m. [6] [7] Obrázek 1 znázorňuje průnik světelných paprsků průzračnou a zakalenou vodou a rozdělení vodního sloupce na eufotickou a afotickou zónu (je zde znázorněn i kompenzační bod světla – vrstva, ve které se fotosyntéza rovná respiraci).



Obrázek 1 – Průnik světla vodním profilem (upraveno podle [8])

Obecně lze říci, že stratifikaci podporují určité parametry vodní nádrže – hloubka přesahující 10 m (dostatečná pro vytvoření afotické zóny), šířka nádrže menší než třicetinásobek její hloubky (mělká nádrž s velkou vodní plochou), malý poměr přítoku k objemu nádrže a klima (v tropických oblastech trvá stratifikace déle). [8]

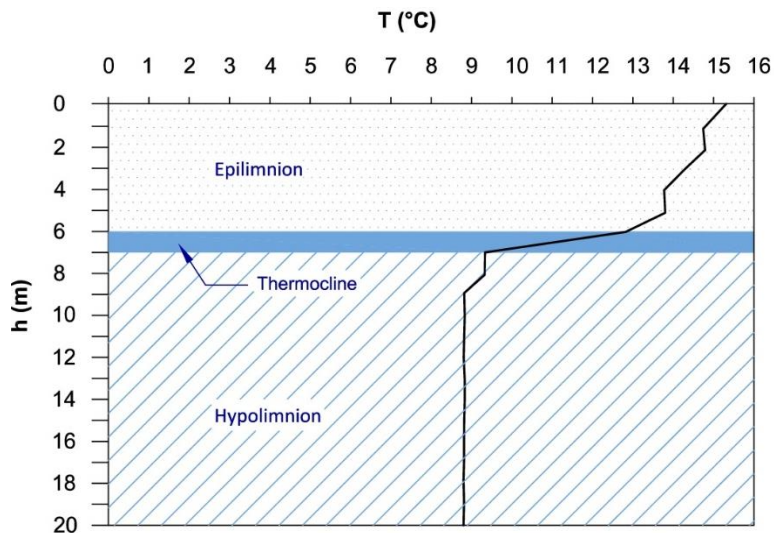
Teplotní profil vodní nádrže ale není určován pouze denním a ročním průběhem teploty. Zásadním faktorem je proudění větru, který působí horizontálně na hladinu a promíchává vodní vrstvy. Pro existenci sezónní stratifikace je zásadní vztah mezi teplotou vody a její hustotou. [8] Tento vztah není lineární (anomálie vody). Hustota vody roste od teploty 0 °C do 4 °C, kde nabývá maxima, poté hustota s teplotou klesá. Díky tomuto jevu je chladnější led s menší hustotou na povrchu, zatímco zbytek objemu vodní nádrže má teplotu okolo 4°C, což umožňuje přežití vodních organismů v zimním období. [9]. Graf závislosti teploty vody na hustotě je na obrázku 2.



Obrázek 2 – Závislost hustoty vody na teplotě (předloha: [8])

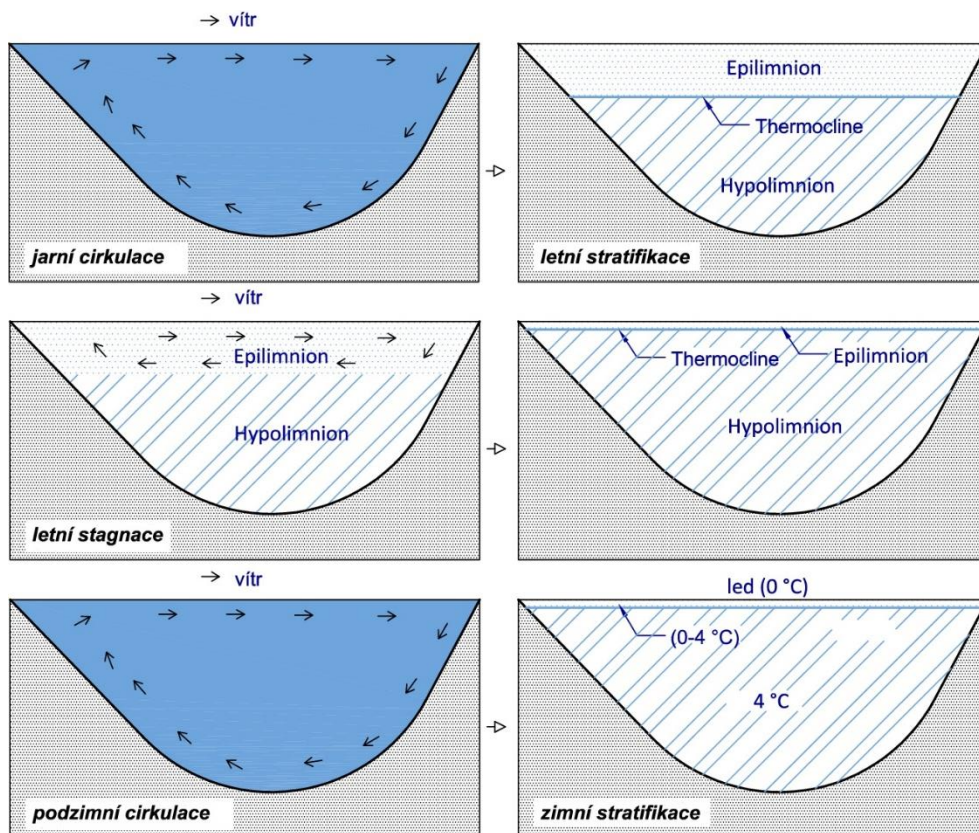
Stratifikací vznikají v profilu nádrže tři vrstvy – vrchní epilimnion (nejteplejší a nejlehčí) a spodní hypolimnion (chladná těžká voda), které jsou odděleny skočnou vrstvou (metalimnion, thermocline). Skočná vrstva je identifikovatelná prudkým poklesem teploty (několik °C) na malý pokles hloubky. [10] Schéma vrstev ve vodní nádrži během letního období je na obrázku 3.

Stratifikace vodních nádrží má sezónní cyklus, ve kterém se střídají cirkulace a stratifikace. Počátkem jara po roztátí ledu má voda v celé nádrži shodnou teplotu (homotermie) a dochází k úplnému promíchání objemu díky proudění větru (jarní cirkulace). Voda má díky tomu v celé nádrži shodné vlastnosti. Koncem jara dochází k prohřívání vrstvy pod hladinou slunečním zářením. Dojde k vytvoření teplé povrchové vrstvy (epilimnion) a studené vrstvy, kam už sluneční paprsky nepronikají (hypolimnion). Tyto dvě vrstvy jsou odděleny skočnou vrstvou, která funguje jako bariéra a zamezuje kontaktu obou vrstev (letní stratifikace). Během léta dochází k promíchávání epilimnia (působením větru a denním kolísáním teplot), zatímco promíchání hypolimnia stále brání skočná vrstva (letní stagnace). Na začátku podzimu se ochlazuje povrchová vrstva a epilimnion spolu s hustotní bariérou postupně mizí. Ochlazovaná voda stále klesá ke dnu, dokud není v celé nádrži promícháním dosažena teplota okolo 4 °C (podzimní cirkulace).



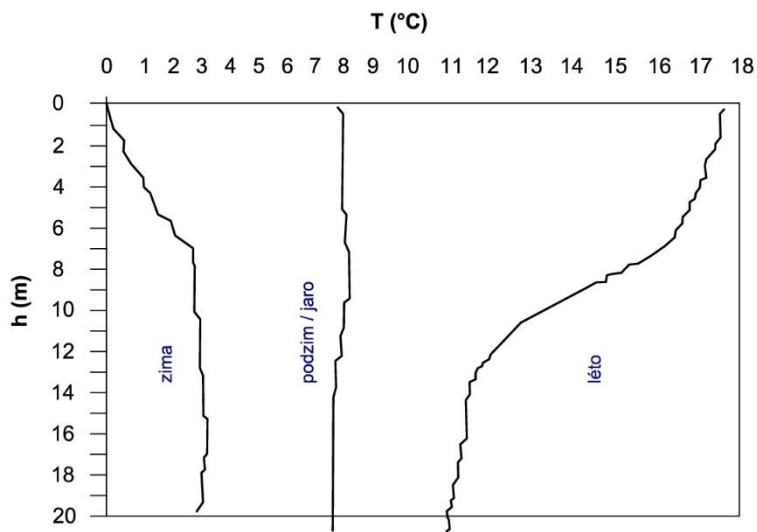
Obrázek 3 – Schéma teplotního profilu vodní nádrže (předloha: [10])

V zimním období dochází opět k rozdělení nádrže na vrstvy. Povrchová vrstva je tvořena ledem s nejnižší hustotou, který brání promíchávání nádrže větrem. Pod ledem se nachází tenká vrstva vody s teplotou v rozmezí 0 – 4 °C. Většina objemu nádrže je tvořena vodou o teplotě 4 °C, která je díky své hustotě pod těžším ledem (zimní (inverzní) stratifikace). [8] [9] Schéma cyklu stratifikací a cirkulací je zobrazeno na obrázku 4.



Obrázek 4 – Schéma sezónního cyklu stratifikace vodních nádrží (předloha: [8])

Pro tento typ sezónního cyklu stratifikace (dimiktické nádrže) jsou průběhy teplot vody v závislosti na hloubce znázorněny na obrázku 5.



Obrázek 5 – Teplotní profil vodní nádrže v ročních obdobích (předloha: [10])

Toto schéma sezónního cyklu podle ročních období je typické pro jezera dimiktická. Dle režimu míchání vody v nádržích lze zařadit jezera do kategorií. První skupinou jsou jezera holomiktická, u kterých dochází na určitou dobu v roce k alespoň jednomu úplnému promíchání celého objemu vodní nádrže. Mezi holomiktická jezera se řadí jezera monomiktická (teplá a studená), dimiktická, polymiktická a oligomiktická. [10]

Jak již bylo popsáno, jezera dimiktická se vyznačují dvěma cirkulacemi v průběhu roku. Jedná se o hluboké vodní nádrže typické pro mírný pás severních šířek (Evropa, Severní Amerika, Asie) [10]

Dalším typem jsou jezera monomiktická. Do této skupiny jsou zařazována hluboká jezera v tropických a subtropických oblastech, či naopak jezera v polárních oblastech s teplotou nepřekračující 4 °C. K promíchávání celé vodní nádrže dochází jednou v roce, v období teplotního maxima (polární oblasti, po roztátí ledu, který brání stratifikaci) nebo teplotního minima (tropy, subtropy, po ochlazení povrchové vrstvy v zimě). Mezi monomiktické vodní nádrže patří například Blue Lake (Austrálie), Titicaca (Jižní Amerika), či Galilejské jezero (Izrael). [11] [10]

Polymiktická jezera jsou mělká, stratifikace se u nich objevuje a zase mizí mnohokrát v průběhu roku, zejména vlivem proudění větru a denním kolísáním teplot. Dělí se na studené (v zimě pokryté ledem, v létě bez ledu) a teplé (v zimě se nevytváří vrstva ledu). Příkladem může být Viktoriino jezero (Afrika) nebo Limboto Lake (Gorontalo) [12] [13]

Pro jezera oligomiktická platí, že se vyskytují v tropických oblastech s vodou o teplotě 20 až 30 °C a nikdy nejsou pokryta ledem. Jejich cyklus se vyznačuje značnou nepravidelností, stratifikace se objevuje každý rok v jinou dobu (nebo ne každý rok), má krátké trvání a nemusí být úplná.

Tato nepravidelnost je způsobena zejména počasím – kolísáním teplot v průběhu dne (ochlazení v noci či studeným deštěm). Do této kategorie se řadí sopečná jezera, např. Rawa Danau, Rawa Pening a Saguling (Jáva). [12]

Opakem jezer holomiktických jsou jezera meromiktická. V těchto jezerech se objevují vrstvy, které se neúčastní promíchání a výměny látek po dobu několika let, desetiletí až století. Tento typ jezer je poměrně ojedinělý. Profil meromiktické nádrže je tvořen čtyřmi vrstvami – opět jsou to epilimnion, metalimnion a hypolimnion, které dohromady tvoří mixolimnion (vrstvu, jenž se alespoň jednou za rok plně promísí). Nejspodnější vrstvou je monimolimnion, která je oddělená od mixolimnia chemismem rozpuštěných látek vysokých koncentrací (chemocline). Tato vrstva vody je stagnující a anaerobní. Meromiktická jezera jsou malá rozlohou, ale hluboká, většinou umístěna v kotlině, která je chrání před větrem. Příklady meromiktických jezer jsou Malawi (Afrika), Jezero medúz (Palau), Alatsee (Německo) nebo Velké Solné jezero (Utah). [9] [10] [14]

Zvláštním typem jezer jsou jezera amiktická, která jsou stále pokryta ledem. Led brání promíchávání vodního objemu větrem a teplotou okolního vzduchu. To ovšem neznamená, že je voda stagnující - dochází k pohybu vody vlivem kolísání teploty v rozmezí 0 – 4 °C, promíchání ale nebývá úplné a pod ledem jsou často anoxické podmínky. Amiktická jezera lze nalézt v Arktidě, Antarktidě a ve vysokohorských oblastech. Zástupci amiktických jezer jsou například Lake Vanda (Antarktida) a Lake Bonney (Victoria Land). [15]

2.2. Teplotní stratifikace vodních nádrží v podmínkách ČR

Pro podmínky České republiky jakož i ostatních zemí mírného pásu jsou typické vodní nádrže dimiktického typu. Sezónní cyklus se vyskytuje u hlubokých vodních nádrží (především přírodních jezer, ale i uměle vytvořených vodních nádrží s dostatečnou hloubkou). Mělké vodní nádrže České republiky (například rybníky) lze zařadit do kategorie vodních nádrží polymiktických, nebo jsou nestratifikované. [9]

Sledované nádrže (Souš a Josefův Důl) jsou dimiktické, s typickou letní stratifikací teploty a pH, následovanou méně výraznou inverzní stratifikací rozpuštěného kyslíku. [16]

3. Environmentální aspekty stratifikace nádrží

Teplota vody má zásadní vliv na koloběh látek ve vodním prostředí, ovlivňuje rozpustnost plynů, rychlost chemických reakcí, rozkladné procesy, samočistící schopnost a kvalitu vody v nádrži. Tepelná stratifikace je doprovázena stratifikací jiných podstatných parametrů – pH, rozpuštěného kyslíku, dusíku, apod. Malá změna teploty způsobuje změny v ekosystému (sukcese, biodiverzita). Teplota přímo ovlivňuje život vodních organismů (životní pochody, rozmnožování, respirace apod.). Cílem této kapitoly je souhrn environmentálních aspektů, které jsou ovlivněny teplotou vody a její stratifikací.

3.1. Fyzikální aspekty související s teplotou vody

3.1.1. Hustota

Hustota vody je závislá na teplotě, množství rozpuštěných látek a tlaku. Vztah mezi teplotou vody a její hustotou je popsán v kapitole 2.1. S rostoucím obsahem minerálních látek roste téměř lineárně i hustota. Hustota vody má vliv na koloběh a stratifikaci látek i na stratifikaci fyzických a chemických parametrů ve vertikálním profilu nádrže. Ovlivňuje také teplotní stratifikaci (led je díky vyšší hustotě nad vodou větší teploty), čímž umožňuje přežití vodních organismů během zimy. Dále ovlivňuje stavbu těla vodních organismů - hustota těla rostlin i živočichů téměř odpovídá hustotě vody. Díky tomu nepotřebují velkou mechanickou odolnost (pevnou stavbu těla). [7]

3.1.2. Povrchové napětí

Na kontaktu vodní hladiny s atmosférou vzniká povrchové napětí (povrchová blanka) způsobené zvýšenou soudržností vodních molekul. Je závislé na teplotě vody a obsahu v ní rozpuštěných látek. Pevnost a nosnost povrchové blanky umožňuje život neustonných organismů (vázaných na vodní blanku, např. řasy *Chromulina*, *Euglena*, *Characium*). Na vodní hladinu jsou vázány organismy pleustonní (znakoplavka (*Notonecta glauca*), okřehek (*Lemna*)). [7] S poklesem teploty klesá i povrchové napětí, což způsobuje pění při turbulenci. Pění má negativní vliv na organismy i na přestup kyslíku do vody. [17]

3.1.3. Rozpustnost

Rozpustnost látek ve vodě je dána mineralizací a teplotou vody. Pro většinu chemických látek platí, že jejich rozpustnost se zvyšuje s rostoucí teplotou (endotermicky). Některé látky jsou s rostoucí teplotou méně rozpustné (exotermicky, např. vodní kámen). [17]

3.1.4. Viskozita

Odpor, který klade voda vůči vlastnímu pohybu je též výrazně ovlivněn teplotou. S rostoucí teplotou viskozita klesá, což ovlivňuje výskyt vodních organismů. Ve vodě s vyšší teplotou má organismus menší nároky na potřebnou energii, ale díky menší hustotě rychleji klesá ke dnu. V teplejších vodách se proto vyskytují pohyblivější druhy planktonu. [7]

3.1.5. Elektrolytická konduktivita

Obsah rozpuštěných látek ve vodě závisí na koncentraci iontů, nábojovém čísle, pohyblivosti a zejména na teplotě (při zvýšení teploty o 1 °C vzroste konduktivita o 2 %). Konduktivita se používá k odhadu mineralizace (změn v koncentraci anorganických látek v čase) a jakosti vody. Zvýšením obsahu solí (Cl^- , SO_4^{2-} , K^+ , Na^+) ve vodě dochází k růstu povrchového napětí. Přítomnost solí iontů ve vodě snižuje rychlost fotosyntézy. Po několika hodinách je působení iontů ireverzibilní, způsobuje otravu fotosyntezitujících organismů. Organismy se dělí dle snášenlivosti obsahu solí na halofóbní (nesou velké koncentrace solí, např. obrněnky) a halofilní (odolnější, například vířníci (*Keratella*), makrovegetace (*Potamogeton*) a zelené řasy (*Pediastrum*, *Scenedesmus*)). [7] [17]

3.1.6. Reakce vody (pH)

Hodnota pH (záporně vzatý dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů H^+) určuje, zda roztok reaguje kyselé nebo zásaditě. Stupnice pH nabývá hodnot od 0 do 14, hodnota 7 značí pH neutrální (množství iontů H^+ se rovná množství iontů OH^-), hodnoty pH větší než 7 znamenají zásaditost roztoku (převažují ionty H^+), kyselé pH značí hodnoty menší než 7 (přebytek iontů OH^-). Reakce vody ovlivňuje přímo či nepřímo oživení vodního prostředí i fotosyntézu. Přímo působí změna pH na vodní organismy (ohrožení zdraví i života, například podráždění a leptání žaber u ryb), nepřímo změna pH způsobuje vznik chemických reakcí, při kterých jsou do vody uvolňovány toxické látky jinak vázané do podloží a sedimentů. Při kyselém pH vody se uvolňuje Fe^{2+} , Al, a další těžké kovy, v zásaditém prostředí naopak dochází k uvolňování amoniaku z amonických solí. Reakce vody má proto přímý vliv na koloběh látek ve vodě. V přírodních vodách existuje neutralizační kapacita (schopnost vázat vodíkové a hydroxidové ionty, vyrovnávat výkyvy pH a udržovat uhličitanovou rovnováhu). Příčiny a důsledky acidifikace vodního prostředí jsou popsány v kapitole 4.1.2. Ke zvyšování pH vody dochází při silném rozvoji fotosyntézy. Přirozené pH srážkové vody je v našich podmínkách 5,6 (mírně kyselá vlivem přítomnosti CO_2 v atmosféře). Kyselé deště mají pH nižší než 5,6 (u nás zhruba 4,4 – 4,6) a snižují celkové pH vodního prostředí. Vodní organismy se dělí na euryiontní, které snesou velké rozpětí pH (např. vířník *Brachionus urceolaris* snese pH v rozpětí

4,5– 11), a stenoiontní, které vyžadují určité rozpětí a snesou pouze malé výkyvy pH (např. nálevník *Spirostomum ambiguum* potřebuje pH 7,4–7,6). [7] [17] [18]

3.1.7. Oxidačně – redukční potenciál

Redox potenciál charakterizuje oxidačně–redukční procesy a závisí na hodnotě pH a množství rozpuštěného kyslíku (tedy také na teplotě). Dle převažující reakce mohou ve vodě nastat různé podmínky– aerobní (ORP je kladný), anaerobní (ORP je záporný) či anoxické (ORP kolísá kolem nuly, kyslík není dostupný v rozpuštěné formě, ale je vázaný ve sloučeninách, aerobní organismy jsou ho schopny využít). [17]

3.1.8. Organoleptické vlastnosti vody

Změna teploty vody ovlivňuje také organoleptické vlastnosti. Zákal vody se zvyšuje vlivem jarní cirkulace, táním sněhu a srážkami (zvyšuje se koncentrace suspendovaných látek) a snižuje tak průhlednost (hloubka průniku světla). Barvu vody ovlivňuje obsah rozpuštěných látek, množství řas a sinic ve vodě, ale i rozvoj neustonných organismů na vodní hladině. Chuť vypovídá o obsahu látek obsažených ve vodě (soli, železo, kyseliny). Pachem se projeví rozkladné procesy, přítomnost mikroorganismů či H₂S. [17]

3.2. Chemické aspekty související s teplotou vody

Obsah chemických látek ve vodách má značný vliv na podobu ekosystému i kvalitu vody. Voda je rozpouštědlo organických i minerálních látek, které jsou poté využity jako živiny pro autotrofní organismy (zelené fotosyntetizující rostliny). Primární produkce vyžaduje dostatečné množství živin a slunečního svitu. Produkovaná biomasa je poté využívána sekundární produkcí (heterotrofními organismy – konzumenty a destruenty). Ve stratifikovaných nádržích lze vymezit dvě vrstvy podle toho, zda v nich probíhá primární či sekundární produkce. Horní trofogení (úživná) vrstva v podstatě odpovídá epilimniu a je pro ni charakteristická primární produkce (organismy schopné fotosyntézy). Ve spodní trofolytické (odbourávací) vrstvě probíhá sekundární produkce. Destruenti navracejí do vodního prostředí živiny rozkladem odumřelého organického materiálu. Živiny se ukládají do sedimentů a během cirkulace jsou distribuovány do celé vodní nádrže, čímž je koloběh látek uzavřen. [7]

Obsah chemických látek ve vodní nádrži se v průběhu času mění. Přirozeným procesem je biologické stárnutí vodních nádrží (postupné obohacování vodního biotopu o živiny, zvyšování trofie). Počátečním stadiem sukcese je hluboké jezero s výrazným hypolimniem, nízkým obsahem živin (N, P), nízkou organickou produktivitou, malou bakteriální dekompozicí a kratší břehovou linií

(jezero oligotrofní). Následuje zanášení dna nádrže bahnem (směs půdní frakce 0,02 - 0,002 mm a organického materiálu). Vodní nádrž se postupně stává mělkou, její břehová linie je členitější a delší, organická produktivita je vysoká (velký počet živin i živočichů), stejně jako bakteriální dekompozice (mohou nastat až anaerobní podmínky vyčerpáním kyslíku potřebného k rozkladu). Toto stadium vývoje jezera se nazývá eutrofní. Jezera mohou být klasifikována dle trofie do pěti kategorií. Kategorie jsou seřazeny od nejmenšího obsahu živin a počtu živočichů po nejúživnější:

- *Ultraoligotrofní* (neúživné až slabě úživné vody)
- *Oligotrofní* (slabě úživné)
- *Mezotrofní* (středně úživné)
- *Eutrofní* (silně úživné)
- *Polytrofní* (velmi silně úživné)
- *Hypertrofní* (vysoce úživné)

Finální fází sukcese jezera je za přirozených podmínek přeměna na mokřad. [10]

Základní biogenní prvky vodního prostředí jsou uhlík, kyslík a vodík, které jsou součástí téměř všech organických sloučenin. Uhlík je základním stavebním prvkem všech organismů. Další prvky které se vyskytují v prostředí ve větším množství jsou makroelementy (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe). Mikroelementy (stopové prvky) se vyskytují v organismech v malých množstvích, ale jsou potřebné k jejich existenci (Cu, Zn, Mo, Mn, B, Cl). Hlavními živinami jsou dusík, fosfor a draslík. Biogenní prvky jsou různě rozloženy ve vertikálním profilu nádrže. [7] [10]

3.2.1. Obsah kyslíku

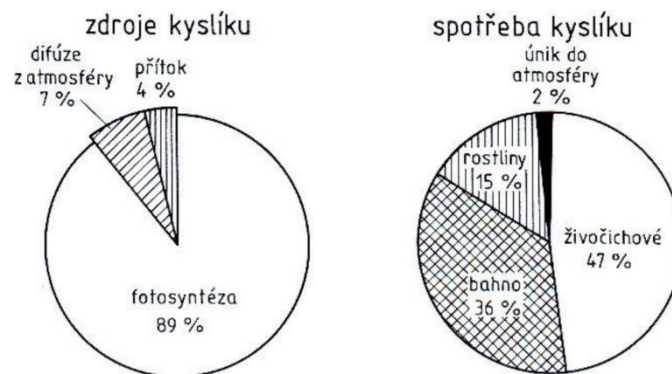
Kyslík do vodního prostředí vstupuje třemi cestami – difuzí přes vodní hladinu (kyslík je vstřebáván vodní hladinou při kontaktu s atmosférou), při fotosyntéze rostlin a přítokem. Na obsah kyslíku ve vodní nádrži má nezanedbatelný vliv přítok. Tekoucí vody mají konstantní obsah kyslíku během dne i noci díky neustálému promíchávání (kvalita přitékající vody, její znečištění a obsah živin ale může způsobit kyslíkové problémy ve vodní nádrži), pokud do nádrže ve větší míře prosakují podzemní vody, může to mít taktéž negativní vliv (obsahují málo kyslíku). Množství kyslíku ve vodě ovlivňuje několik parametrů:

- *Teplota*. S rostoucí teplotou klesá rozpustnost kyslíku ve vodě a tím i jeho koncentrace. Rostoucí teplota ovšem také podporuje růst rostlin a populace ryb. Zdánlivě nepodstatná změna teploty má velký vliv na koncentraci ostatních prvků ve vodě, mění se podmínky v ekosystému, sukcesí jsou původní druhy vytlačovány

teplomilnějšími a méně náročnými na obsah kyslíku. Celkovým důsledkem je snížení biodiverzity a zjednodušení trofického řetězce.

- *Tlak.* S rostoucím tlakem se zvyšuje rozpustnost kyslíku ve vodě.
- *Velikost styčné plochy s ovzduším*
- *Pohyb vodních vrstev, turbulence*
- *Salinita, konduktivita.* Zvýšením teploty se zvyšuje konduktivita (obsah rozpuštěných látek ve vodě), s rostoucí salinitou (koncentrace rozpuštěných minerálních látek) roste hustota vody téměř lineárně.

Kyslík je z vody odčerpáván živočichy a rostlinami dýcháním, bakteriemi pro rozklad organické hmoty, je unášen ostatními plyny při jejich průchodu vodním sloupcem a ubývá přes vodní hladinu při zvýšení teploty nebo poklesem tlaku. Podíl, kterým se podílí jednotlivé zdroje na vstupu O₂ do vody, a poměr způsobů spotřeby O₂ je znázorněn na obrázku 6.



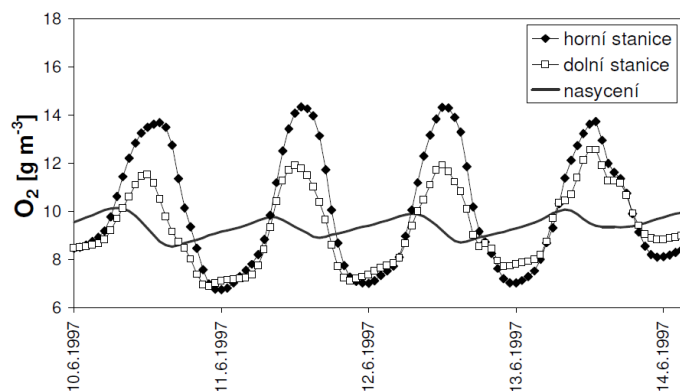
Obrázek 6 – Podíl jednotlivých vstupů a výstupů O₂ do vodního prostředí [19]

Rozpustnost kyslíku ve vodě (nasyčení(%)) závisí na teplotě a tlaku a řídí se Henryho zákonem, koncentrace kyslíku ve vodě je ovlivněna biologickými procesy (poměr fotosyntézy a respirace, (mg/l)). Závislost rozpustnosti O₂ na teplotě vody je uvedena v tabulce 1.

Tabulka 1 - Rozpustnost O₂ jako funkce teploty [20]

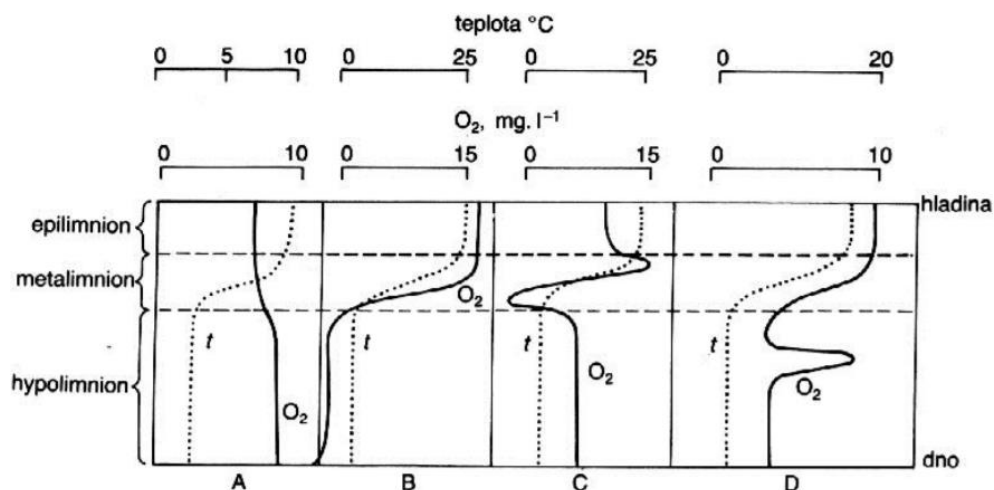
<i>T</i> (°C)	0	15	30
<i>O</i> ₂ (mg/l)	14,2	9,8	7,5

Obsah kyslíku ve vodě kolísá v průběhu dne i během roku. Denní průběh obsahu rozpuštěného kyslíku ve stojatých vodách je ovlivněn počasím (slunečno/zataženo), fotosyntézou a dýcháním vodních organismů, což způsobuje rozdílné nasycení ve výškovém profilu nádrže (stratifikace množství rozpuštěného O₂ ve vodě). Denní průběh obsahu O₂ ve vodě znázorňuje obrázek 7.



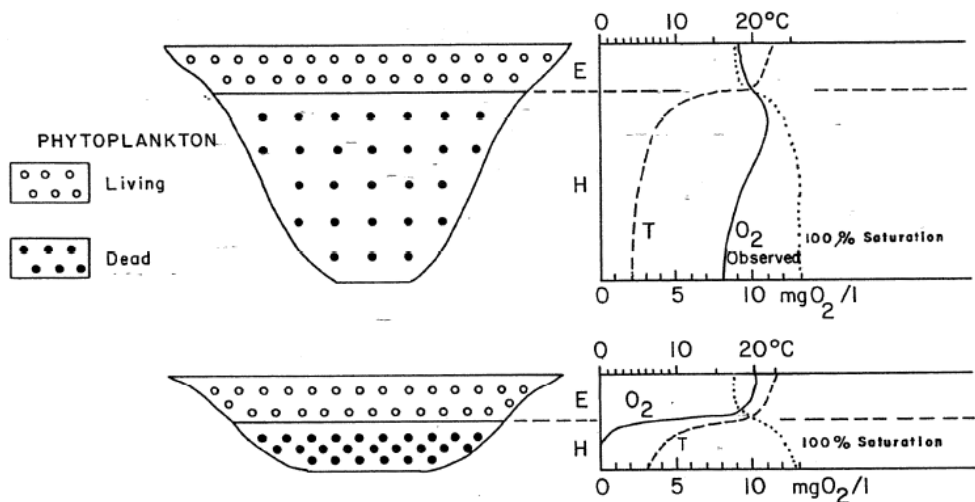
Obrázek 7 – Denní průběh obsahu rozpuštěného O₂ ve vodě [20]

Existuje několik možností stratifikace rozpuštěného kyslíku, čtyři příklady jsou znázorněny na obrázku 8.

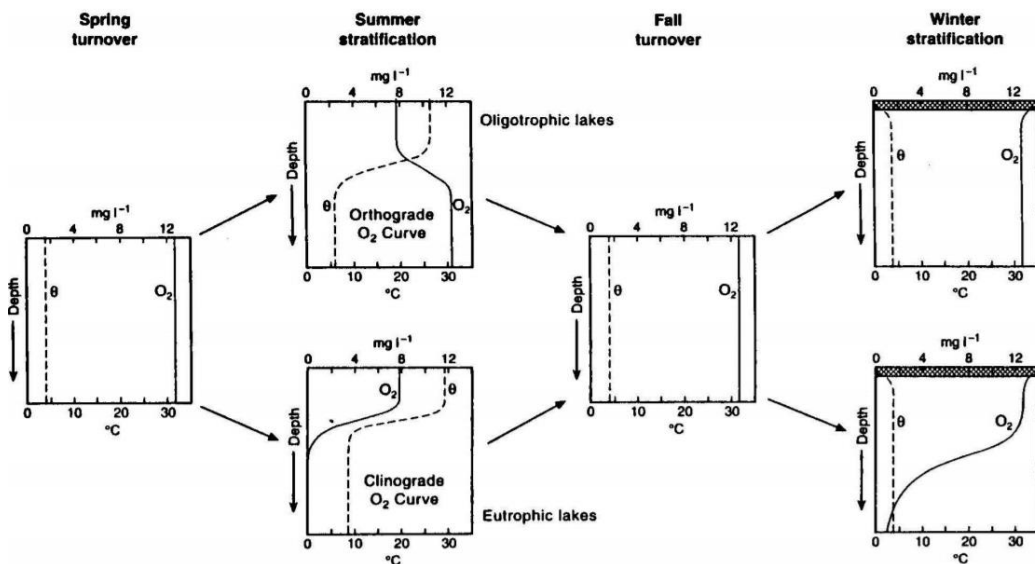


Obrázek 8 – Možnosti stratifikace O₂ ve vertikálním profilu vodní nádrže [19]

Stratifikace A (ortográdní křivka) je typická pro málo produktivní jezero (oligotrofní), kdy je v epilimniu menší obsah rozpuštěného kyslíku (méně fotosyntetizujících organismů) a v hypolimniu menší pokles koncentrace kyslíku (málo odpadu a tím i rozkladných procesů), stejně tak pokud je objem epilimnia výrazně menší než objem hypolimnia (viz obrázek 9). Stratifikace B (klinográdní křivka) je charakteristická pro produktivní nádrž (eutrofní) během produkčního období. V epilimniu je produkováno větší množství kyslíku fotosyntézou, u spodní hranice metalimnia dochází k rozkladu velkého množství organické hmoty (spotřeba O₂), mohou nastat i anaerobní podmínky. Stratifikace C (pozitivně i negativně heterográdní křivka) vypovídá o přítomnosti velkého množství fototrofních organismů u horní hranice metalimnia a intenzivním rozkladu materiálu u hranice metalimnia a hypolimnia. Stratifikace D (anomální křivka) značí zaústění přítoku vody bohatého na kyslík do hypolimnia (navýšení koncentrace O₂). [7] Na obrázku 10 je roční průběh koncentrace O₂ v oligotrofním a eutrofním jezeře.



Obrázek 9 – Vliv hloubky nádrže na vertikální průběh O₂ [8]



Obrázek 10 – Roční průběh teploty a rozpuštěného O₂ v oligotrofní (nahore) a eutrofní (dole) nádrži [19]

Ve vodním prostředí je běžná koncentrace rozpuštěného kyslíku v rozmezí 6 – 14 mg/l. Různé rybí druhy vyžadují různé rozmezí rozpuštěného kyslíku. Studenomilné druhy (losos, pstruh) jsou nejnáchylnější ke změnám podmínek a hynou již při malém poklesu kyslíku (minimální obsah rozpuštěného kyslíku je 8 mg/l). Teplomilné ryby (karas, lín) jsou přizpůsobivější a jsou schopné přežít do poklesu obsahu rozpuštěného kyslíku až na 4,5 mg/l. [19]

Obsah rozpuštěného kyslíku může poklesnout na kritickou hodnotu při náhlém masovém odumření vodního květu, při rozkladu vodních rostlin po posekání nebo aplikaci herbicidu, při velké koncentraci znečištění z odpadních vod, dále v nádržích s nadměrným množstvím ryb a zooplanktonu, nebo v eutrofních nádržích během léta v ranních hodinách. Kyslíkový deficit může

způsobit náhlý úhyn ryb. Zimní úmrtnost ryb nedostatkem O_2 (Winter Kill) bývá častým jevem, který je způsobený vrstvou ledu na hladině. Led zabraňuje doplňování kyslíku difuzí přes vodní hladinu a pokud je navíc pokrytý sněhem, blokuje i sluneční záření, čímž je snížena fotosyntéza. Preventivním opatřením je vyřezávání děr do ledu a instalace provzdušňovacího zařízení. Letní nedostatek kyslíku (Summer Kill) způsobuje náhlou úmrtnost ryb v letním období, kdy je v epilimniu dostatek kyslíku, v hypolimniu nedostatek a ryby se proto drží blíže u hladiny. Problém s kyslíkem může nastat po přivalovém dešti o nízké teplotě (u hladiny vznikne chladnější vrstva, snížení teploty vede ke snížení obsahu rozpuštěného kyslíku), při vysoké oblačnosti, vlivem letního nárůstu vegetace či intenzivní aplikací herbicidů. Náchylnost ke kyslíkovým problémům mají zejména malé hluboké nádrže. Preventivním opatřením je mírnější sklon břehů (alespoň 1:3) a instalace aeračního systému. Nedostatek kyslíku může způsobit také pouhé zvýšení teploty. S rostoucí teplotou jsou vodní organismy aktivnější a mají větší spotřebu kyslíku, jehož množství se ale zvýšením teploty snižuje. [10] [19]

Obsah kyslíku je jedním ze základních parametrů určujících kvalitu vody. Dalšími ukazateli kyslíkového režimu jsou BSK a CHSK. Hodnota BSK (pětidenní biochemická spotřeba kyslíku (mg/l)) značí množství kyslíku spotřebovaného na mikrobiální rozklad biologicky rozložitelných organických látek ve vodě během pěti dnů. $CHSK_{Mn/Cr}$ (chemická spotřeba kyslíku (mg/l)) je množství kyslíku spotřebované na rozklad všech organických látek pomocí chemických činidel. Obsah kyslíku ve vodě tedy nepřímo vypovídá o znečištění vody. [20]

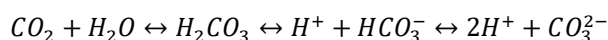
Povrchové vody disponují samočisticí schopností, která přímo souvisí s množstvím kyslíku ve vodě a je závislá na míře znečištění. Procesy samočištění zahrnují sedimentaci, asimilaci organických látek faunou a flórou, zkonsumování detritovory, aerobní rozklad bakteriemi a fotosyntézu. Při nedostatku kyslíku ve vodě dochází k rozkladu anaerobnímu, při němž dochází ke hnití a uvolňování H_2S , CO_2 a CH_4 . Vztah mezi spotřebou (deoxygenací) a doplněním (aerací) rozpuštěného kyslíku ve vodním prostředí lze vyjádřit křivkou kyslíkového průhybu. [21]

3.2.2. Obsah oxidu uhličitého

Obsah rozpuštěného oxidu uhličitého ve vodě je důležitý pro fototrofní organismy (producenty), které z něj fotosyntézou získávají uhlík. Organický uhlík je poté využit heterotrofními organismy (konzumenty). CO_2 se uvolňuje do vody při dýchání organismů. Po odumření všech organismů dochází k rozkladu organického CO_2 destruenty a ukládání do sedimentů. Tyto procesy tvoří koloběh CO_2 ve vodě. [7]

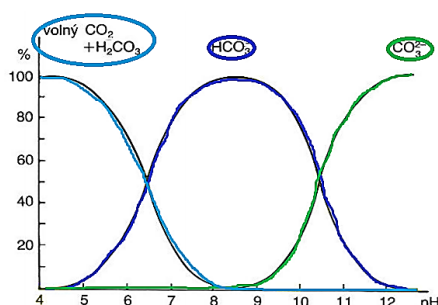
Zdrojem CO_2 ve vodě je difuze z atmosféry přes vodní hladinu, bakteriální rozklad organické hmoty, dýchání vodních organismů, hydrogenuhličitany a přítok. Uhlík se ve vodě vyskytuje

v několika formách – plynný (agresivní CO_2), rozpuštěný ve vodě (H_2CO_3) a vázaný (hydrogenuhličitan $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, uhličitan CaCO_3 , a hydrogenuhličitanové a uhličitanové ionty (HCO_3^- , CO_3^{2-}). [20] Vznik rozpuštěné a vázané formy popisuje rovnice 1.



Rovnice 1 - **Chemické rovnice popisující vznik rozpuštěné a vázané formy uhlíku ve vodě** [20]

Hydrogenuhličitan ve vodě způsobují uhličitanovou (přechodnou) tvrdost vody, která je odstranitelná varem. Výskyt hydrogenuhličitanů ve vodě má význam pro neutralizační (hydrogenuhličitanový) pufrovací systém vody. Forma výskytu uhlíku ve vodním prostředí má vztah s pH vody. Voda s velkým obsahem hydrogenuhličitanů má větší pufrovací schopnost, hydrogenuhličitan vyrovnávají výkyvy pH. Velký vliv na pH mají biochemické procesy. Pokud voda obsahuje velké množství rozpuštěného CO_2 (velká produkce), dochází k poklesu pH. Pokud je množství rozpuštěného CO_2 ve vodě vyčerpáno intenzivní fotosyntézou, fototrofní organismy využívají jako zdroj uhlíku hydrogenuhličitan. Chemickou reakcí vznikají nerozpustné uhličitanové povlaky na povrchu rostlin (dekalifikace). Úbytkem CO_2 dochází k růstu pH (až na hodnotu 10 – 11). [7] [20] Souvislost pH s formou výskytu uhlíku ve vodě je zobrazena na obrázku 11.



Obrázek 11 – **Souvislost pH s formami výskytu uhlíku ve vodě** [20] (upraveno)

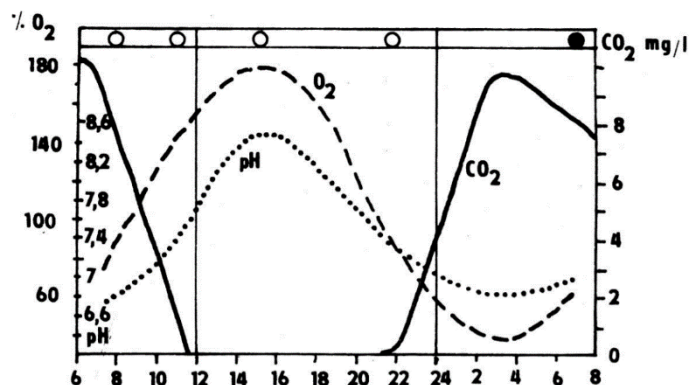
Oxid uhličitý je dobře rozpustný ve vodě, ačkoliv méně než kyslík. Rozpustnost CO_2 závisí na teplotě a tlaku. Vztah mezi teplotou rozpustností CO_2 ve vodě je patrný z tabulky 2.

Tabulka 2 – **Rozpustnost CO_2 jako funkce teploty** [20]

$T (^{\circ}\text{C})$	0	15	30
$\text{CO}_2 (\text{mg/l})$	1,1	0,6	0,4

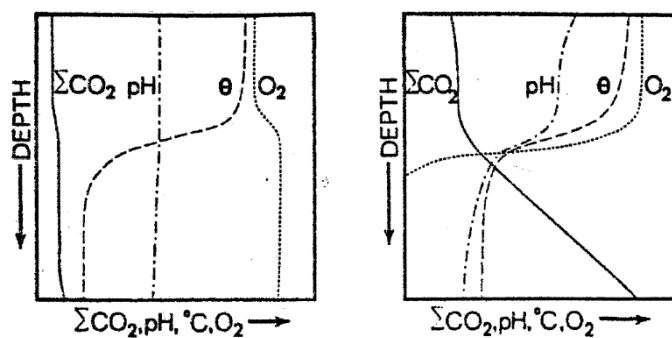
Množství oxidu uhličitého kolísá v průběhu dne i roku a má inverzní charakter k průběhu kyslíku. [7] Pokles množství CO_2 vlivem intenzivní fotosyntézy během dne způsobuje nárůst pH, během noci množství CO_2 roste díky respiraci a pH klesá (velikost výkyvů pH závisí na

hydrogenuhlíčitánové puřrovací schopnosti). Možný průběh všech tří parametrů za slunečného dne je zobrazen na obrázku 12.



Obrázek 12 – Denní průběh O₂, CO₂ a pH (za slunečného dne) [19]

Ve vertikálním profilu vodní nádrže dochází taktěž ke stratifikaci rozpuštěného CO₂. Množství rozpuštěného oxidu uhličitého v jednotlivých vrstvách závisí na trofii nádrže. V eutrofní nádrži roste koncentrace CO₂ s hloubkou. Je to způsobeno přítomností fototrofních organismů v epilimniu (spotřebujících CO₂ na dýchání) a rozkladem organického materiálu s následnou sedimentací v hypolimniu nebo ve vrstvě těsně nade dnem nádrže, kde nabývá koncentrace CO₂ maximální. V oligotrofních nádržích je rozdíl v koncentracích CO₂ vlivem nízké produktivity i intenzity rozkladu malý. Pro koloběh CO₂ ve vodní nádrži je důležité promíchávání během cirkulace, které navrácí uhlík do celého vodního objemu. [7] Z obrázku 13 je patrné, že se stratifikací kyslíku a uhlíku dochází rovněž ke stratifikaci pH.



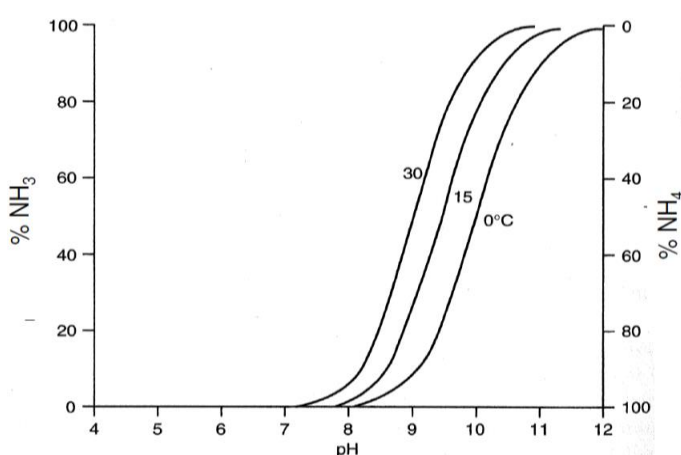
Obrázek 13 – Stratifikace pH, T, O₂ a CO₂ ve vertikálním profilu nádrže dle trofie – oligotrofní nádrž (vlevo), eutrofní nádrž (vpravo) [8]

Množství CO₂ ve vodě přímo ovlivňuje metabolickou aktivitu a růst vodních živočichů. Při velké koncentraci CO₂ ve vodě dochází k ovlivnění pH krve ryb (omezení vazby hemoglobinu) a může vést až k jejich úhynu. [21]

3.2.3. Obsah dusíku

Dusík je jedním z biogenních prvků, na rozdíl od kyslíku však není biologicky důležitý (nebývá limitující). Dusík se do vody dostává z atmosféry (dešťová voda – fixace N_2 z blesků) a po rozkladu organického materiálu (fixace bakteriemi na kořenech rostlin) je součástí humusu, do vodního prostředí je také uvolňován jako produkt metabolismu organismů. Antropogenní zvyšování množství živin ve vodě je způsobeno aplikací dusíkatých hnojiv na zemědělské plochy, atmosférickou depozicí (kyselé deště, spaliny z dopravy) a vypouštěním splaškových odpadních vod. Ve vodě se dusík vyskytuje v několika formách – atmosférický dusík (N_2), rozpuštěný anorganický dusík (NO_3^- , NO_2^- , NH_3 , NH_4^+), rozpuštěný organický dusík (močovina, aminokyseliny, kyselina močová) a nerozpuštěný organický dusík (asimilovaný řasami). Koloběh dusíku zahrnuje složitou kombinaci chemických procesů (nitrifikace, denitrifikace, amonifikace a biologická fixace). [20] [7]

Při rozkladných procesech vzniká amoniakální dusík NH_4^+ , který je ale v aerobních podmínkách okamžitě oxidován na dusičnany NH_3^- (nitrifikace – nejprve oxidace amoniaku na dusitany (nitrace bakterií *Nitrosomonas*), poté oxidace dusitanů na dusičnany (nitratace bakterií *Nitrobacter*)). V anaerobním prostředí dochází k redukční procesům dusičnanů na plyný dusík (denitrifikace bakterií *Pseudomonas*), zůstávají zde vyšší koncentrace NH_4^+ . Forma výskytu dusíku ve vodním prostředí souvisí s obsahem kyslíku (tedy na teplotě), ale také na pH, které rozhoduje o poměru NH_3 a NH_4^+ . Forma výskytu má zásadní význam pro život vodních organismů - NH_3 je toxický (chronická i akutní toxicita, proniká tkáně organismů, zabraňuje vylučování NH_3 a může způsobit autotoxicitu), NH_4^+ tkáně neproniká a proto je výrazně méně nebezpečný. [7] Poměr výskytu forem dusíku a jejich závislost na pH a teplotě znázorňuje graf na obrázku 14.



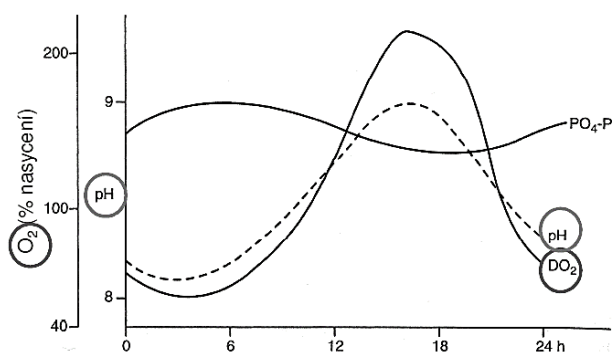
Obrázek 14 – Koncentrace dusičnanů a amoniaku v závislosti na pH a teplotě [18]

3.2.4. Obsah fosforu

Fosfor je biogenní prvek, který má ve vodě zpravidla malou koncentraci a proto je limitujícím prvkem (zejména pro primární produkci). Do vody se přirozeně dostává zvětráváním hornin. Antropogenními zdroji jsou fosfátová hnojiva a splaškové vody (prací prostředky a prostředky do myček). Fosfor se vyskytuje v anorganické rozpuštěné formě (PO_4^{3-} , který je přijímán rostlinami), organické rozpuštěné formě (živočišný odpad, rozklad odumřelých vodních organismů), anorganické nerozpuštěné formě (absorbovaný na jílové částice, sedimenty) a organický nerozpuštěný (asimilovaný řasami). Po odumření organismů se uvolňuje do vody. Při nízké koncentraci fosforu ve vodě dochází k adsorpci na dnový sediment, při vysokých koncentracích se tvoří špatně rozpustné sloučeniny s Fe^{3+} , Ca^{2+} a Al^{3+} (ortofosforečnany). To má za následek nedostupnost fosforu pro zelené organismy. Během letní stratifikace dochází ke značnému rozvoji fytoplanktonu a vyčerpání rozpuštěné formy dusíku, tzv. období deprese fytoplanktonu („clear water“, odumření fytoplanktonu vede ke zvýšení obsahu dusíku, po kterém dochází k opětovnému rozvoji primární produkce). [20] [7]

Koloběh fosforu závisí na trofii nádrže. V oligotrofní nádrži je v celém vertikálním profilu aerobní prostředí, fosfor se ve formě fosforečnanu železitého ukládá do sedimentů. V eutrofní nádrži může u dna docházet k vyčerpání kyslíku, v nastalých anaerobních podmínkách (s nízkým pH) dochází k redukci nerozpustného Fe^{3+} na rozpustné Fe^{2+} a desorpci fosforu a jeho navrácení do vody během cirkulace. Nejnižší koncentrace fosforu ve vodě nastává v období letní stratifikace (vlivem intenzivního rozvoje fototrofních organismů), během podzimní cirkulace koncentrace fosforu narůstá a v zimě je jeho obsah největší. [7]

Rostoucí koncentrace fosforu z antropogenních zdrojů způsobuje zvýšený přísun živin a tím podporu abnormálního rozvoje primární produkce (eutrofizace). Ve sladkých vodách je limitujícím prvkem eutrofizace fosfor (ve slaných naopak dusík). Eutrofizace výrazně ovlivňuje kyslíkový režim, během dne dochází k velkému kolísání obsahu kyslíku i pH (viz obrázek 15). [8]



Obrázek 15 – Denní průběh O_2 a pH vlivem eutrofizace [8]

Důsledky eutrofizace pro vodní ekosystém i využití vody pro další účely jsou:

- *Ovlivnění kyslíkového režimu*, které může vést k úhynu ryb díky vzniku anoxických a anaerobních podmínek u dna nádrže (za vzniku H_2S , uvolňování P a Fe^{2+}).
- *Snížení světelné prostupnosti vody*, které má za následek odumírání rostlin ve spodních vrstvách, produkci dalšího organického materiálu, úbytek citlivějších organismů, změnu (sukcesi) druhů a celkové snížení biodiverzity.
- *Sekundární znečištění vody organickými látkami* (odumřelými organismy)
- *Toxické látky produkované sinicemi (cyanotoxiny)* ohrožují vodní ekosystémy (toxicita pro ryby, ohrožení reprodukce ryb a obojživelníků, bioakumulace v organismech, biomagnificence toxických látek v potravních řetězci), způsobují zdravotní problémy člověka (alergie, podráždění, astma, akutní otravu)
- *Vodohospodářské problémy* – zhoršení organoleptických vlastností vody (estetika, chuť, pach), problémy při úpravě surové vody na pitnou (vyšší pH, větší nároky na chemikálie pro dosažení potřebné jakosti)
- *Omezení rekreačního a komerčního využití vodních nádrží*

Z obrázků 14 a 15 je možné učinit závěr, že k eutrofizaci nedochází při nízkých hodnotách pH (pod pH 7) a za nízkých teplot. Obecně podmínky vzniku eutrofizace jsou teplota, pH a sluneční záření. K eutrofizaci jsou náchylnější vodní nádrže s průměrnou roční teplotou nad 10 °C a malou hloubkou (pod 15 m). Další přírodní faktory podporující eutrofizaci jsou nadmořská výška (pod 500 m n. m.), vysoké srážky, podloží, velikost povodí, morfologie i velikost vodní nádrže a přítok (doba zdržení vody větší než míra proplachu). [8] Následující tabulka 3 uvádí klasifikaci nádrží dle obsahu fosforu a hodnoty základních parametrů každé kategorie.

Tabulka 3 – **Stupně trofie nádrží dle obsahu fosforu a typické hodnoty parametrů (OECD, 1982) [8]**

stupeň trofie	$P_{celk.}$	chlorofyl <i>a</i>		průhlednost		kyslík	dominantní rybí druhy
	prům.	prům.	max.	prům.	min.	min.	
	($mg \cdot m^{-3}$)	(mg·m ⁻³)		(m)		(%)	
ultra-oligotrofní	<4	<1	<2,5	>12	>6	<90	pstruh, bělice
oligotrofní	<10	<2,5	<8	>6	>3	<80	pstruh, bělice
mezotrofní	10–35	2,5–8	8–25	6–3	3–1,5	40–89	bělice, okoun
eutrofní	35–100	8–25	25–75	3–1,5	1,5–0,7	40–0	okoun, plotice
hypereutrofní	>100	>25	>75	<1,5	<0,7	10–0	plotice, cejn
dystrofní	zvýšený obsah huminových látek způsobuje nízkou primární produkci						

3.3. Další aspekty související s teplotou vody

Teplota vody a její stratifikace ovlivňuje celý ekosystém, ale například i kvalitu vody a její vodárenské využití. Popis některých dalších aspektů, souvisejících s teplotou vody je náplní této kapitoly.

3.3.1. Vertikální stratifikace organismů

Vertikální stratifikace fyzikálních i chemických parametrů ve vodních nádržích je zásadní pro utváření a podobu vodních společenstev (biocenóz). V nádržích se sezónní stratifikací lze pozorovat periodické vertikální i horizontální migrace organismů, reprodukční cykly a cyklomorfózy planktonu (změny vnějšího tvaru těla podle změn vnějšího prostředí, např. *Daphnia cucullata*). [7]

Biocenóza vodních nádrží je ve vertikálním profilu rozčleněna na zóny dle světelných a kyslíkových podmínek, kterým odpovídají určité organismy. Prostor volné vody (pelagiál) je oživen planktonem a nektonem. Plankton zahrnuje fytoplankton (zelení bičíkovci (*Chlorophyceae*), skrytěnky (*Cryptophyceae*), obrněnky (*Dinophyceae*), sinice (*Cyanophyceae*)) a zooplankton (prvoci (*Protozoa*), korýši (*Crustacea*) a vířníci (*Rotatoria*)). Planktonní organismy migrují vertikálně v závislosti na intenzitě světla (v období letní stratifikace proniká sluneční záření pouze do vrstvy epilimnia, což určuje výskyt na světlo vázaných druhů). Nekton zahrnuje vyšší živočichy, ryby a obojživelníky, kteří spolu se zooplanktonem migrují v závislosti na dostupnosti potravy. [7]

Oblast dna nádrže (bentál) je osídlen bentosem (dělí se na fytobentos a zoobentos) a lze dále dělit na litorál (příbřežní prosvětlené pásmo) a profundál (pásmo dna). V litorálu lze vyčlenit několik oblastí, které jsou dle podmínek osídleny různými organismy (proměnlivé podmínky na přechodu vody a souše (epilitorál), příležitostné omývání vlnami (supralitorál), trvale zatopená část (eulitorál) a infralitorál). V posledním příbřežní pásmu (infralitorálu) se vyskytují makrofytní druhy vnořené (emerzní, např. rákos (*Phragmites*) a orobinec (*Typha*)), ponořené (submerzní, např. stolístek (*Myriophyllum*) nebo vodní mor (*Elodea*)) a plovoucí (natantní, např. lekníny (*Nymphaea*)). Do litorálu se zahrnuje společenstvo nárostových sinic a řas (perifyton), které má souvislost s výskytem vodních živočichů. Vyvinutý perifyton slouží jako útočiště a zdroj potravy a podporuje tak vodní faunu. [7]

V profundálu se vyskytují organismy přizpůsobené malé intenzitě světla a anoxickým až anaerobním podmínkám (konzumenti a destruenti). Podmínky v profundálu se liší v závislosti na trofii nádrže (ovlivňuje sedimentující materiál a kyslíkové podmínky), vyskytují se zde larvy komárů a pakomárů (*Tanytarsus*, *Chironomus*, *Chaoborus*). [7]

Větší riziko vzniku anoxických podmínek v hypolimniu je v mezotrofních a eutrofních jezerech. Při anoxických podmínkách je biologická produktivita bentických organismů minimální,

nerecyklují odumřelý materiál, v nádrži může být nedostatek živin v epilimniu a odumřelý materiál se hromadí na dně bez rozkladu. Při cirkulaci dochází k redistribuci živin, rozpuštěného kyslíku a planktonu v celém vodním sloupci. [7]

3.3.2. Vliv na ekosystém

Změny teplotního režimu vedoucí ke změně abiotických faktorů a jejich rozložení ve vertikálním profilu nádrže mohou vést k zásadnímu ovlivnění biocenóz, potravních řetězců, a celého ekosystému. Důsledkem je vymizení citlivých druhů, jejich nahrazení druhy přizpůsobivými nastalým podmínkám (sukcese), změny biodiverzity (snížení diverzity druhů, masový výskyt několika málo rezistentních druhů). [21]

Teplota vody je důležitým parametrem ovlivňujícím život vodních organismů (životní pochody, rozmnožování (různé teploty pro tření a líhnutí jiker rybích druhů), růst, příjem potravy, respirace, digesce, svalová aktivita, vývoj vajíček a larev). [21] Teplota vody souvisí s migrací rybích druhů a do značné míry ovlivňuje také migrační výkonnost ryb (schopnost překonat migrační bariéru). Přehradu vybudovanou na vodních tocích výrazně mění teplotní, průtokový a živinový režim a jsou velmi často nepřekonatelnou migrační bariérou. Původní druhy nemají v toku pod nádrží potřebné podmínky k rozmnožování a jsou nahrazovány nepůvodními druhy. [22]

3.3.3. Kvalita vody a vodárenské využití

Teplota vody má přímý i nepřímý vliv na kvalitu vody a její vodárenské využití. Tepelná stratifikace spolu s mírou eutrofizace určují kvalitu vody v nádrži.

Vyšší teplota vody podporuje nadměrný rozvoj fytoplanktonu i zooplanktonu, který způsobuje hygienické a technické problémy při úpravě vody. Výskyt pikoplanktonních sinic způsobuje velké problémy při úpravě vody – díky svým malým rozměrům jsou prakticky neseparovatelné. Organismy utvářejí nárosty v přívodních potrubích, česlích, usazovacích nádržích i mikrosítech, které poté umožňují rozmnožování nežádoucích bakterií, plísní a mikromycet. Zejména ve vegetačním období způsobuje masový rozvoj fytoplanktonu problémy při koagulaci a filtraci (ucpávání, průchod filtrem, snížení životnosti filtru), zvýšený přísun organického materiálu vede k rostoucí spotřebě chloru k úpravě vody, navíc ovlivňuje chuťové a pachové vlastnosti upravené vody. [7]

Teplotní stratifikace vody ve vodárenské nádrži je využívána při odběru vody věžovým jímácím objektem. Etážový odběr vody umožňuje jímání z vrstvy s aktuálně nejlepší kvalitou. V zimním období je voda odebírána z vrstvy pod hladinou, v létě naopak ode dna. Při jarní i podzimní cirkulaci je odběr vody nejvíce problematický, protože je kvalita v celém objemu stejná. [23]

4. Vodárenské nádrže Josefův Důl a Souš v Jizerských horách

Obsahem této kapitoly je popis přírodních a historických charakteristik zájmové oblasti Jizerských hor.

4.1. Oblast Jizerských hor

4.1.1. Popis území

Oblast Jizerských hor s rozlohou zhruba 350 km² se nachází v severní části České republiky (50°40' až 50°52' severní šířky a 15°08' až 15°24' východní délky). [16] Část Jizerských hor zasahuje do Polska, kde je rovněž nejvyšší hora celého pohoří Wysoka Kopa (1126 m n.m.). Nejvyšší horou na české straně je Smrk (1124 m n.m.), na jejímž úpatí pramení řeka Jizera, podle které dostalo pohoří svůj název. [3]

4.1.1.1 Geomorfologie

Geomorfologie Jizerských hor má svůj původ v třetihorách a byla formována zejména zvětráváním. Centrální část oblasti tvoří náhorní plošiny, rozkládající se zhruba na ploše 200 km². Tyto plošiny s mírnými svahy se vyskytují v nadmořských výškách přes 800 m n.m. a bývají téměř zcela zalesněné. Hřebeny na náhorních plošinách mají převládající směr SZ – JV. Jih a západ území se liší od typického rázu oblasti, lze zde nalézt samostatné nižší kopce a hřbety. Zatímco jižní svahy jsou velmi pozvolné, severní svahy padají velmi prudce do oblasti Frýdlantu a tvoří hluboké srázy. [16], [24]

4.1.1.2 Geologické a půdní poměry

Převážná část pohoří je tvořena krkonošsko-jizerským žulovým plutonem, který se skládá z různých druhů granitu. To ovlivňuje geomorfologii, složení půd i vegetace a tvoří tak typický charakter Jizerských hor. [24]

Na několika místech vystupují třetihorní čedičové vyvřeliny, okraj plutonu lemují metamorfované horniny. Masiv Smrku je tvořen krystalickými břidlicemi a staršími žulami. V údolích lze nalézt vrstvy čtvrtohorních glacigenních a glacifluviálních sedimentů. Z říčky Jizerky a ze Safírového potoka se dříve získávaly rýžováním drahé kameny (safíry, rubíny, zirkony). Zvětráváním vznikly speciální útvary (kamenná moře, skupiny balvanů či skalní města). [24]

Jizerské hory jsou tvořeny převážně kyselým žulovým podložím, na němž se vyvinuly mělké půdy chudé na živiny (kambizemní podzoly, kambizemě dystrické, v polohách nad 1000 m n.m. dominují podzoly) Kvůli extrémně drsnému (chladnému i mokrému) klimatu se na náhorních plošinách rozvinula rozsáhlá rašeliniště. V rašeliništích se vyvinuly organozemě a organozemní gleje. Severní skalnaté svahy jsou pokryty rankery a litozeměmi. [4]

V oblastech s vysokými srážkami dochází k vymývání bazických kationtů z půdního profilu. Půdy jsou chudé a vlhké, ale mají vhodné podmínky pro tvorbu huminových a fulvokyselin, které jsou přirozeným zdrojem kyselosti zejména lesních půd. [25]

4.1.1.3 Klimatické poměry

Jizerské hory jsou nejzápadnější částí Krkonoško-jesenické soustavy. Díky své poloze zásadně ovlivňují počasí i podnebí svého okolí, zejména srážkové a teplotní poměry a proudění vzduchu. Lokální klima je určováno členitostí reliéfu, expozicí a sklonem svahů, horninovým podložím i vegetačním krytem. Většina území nacházejícího se v České republice leží na návětrné straně pohoří, s výjimkou jihozápadních svahů Ještědu, které jsou ovlivněny sušší a teplejší oblastí středních Čech. [4]

Podnebí Jizerských hor lze obecně označit jako velmi vlhké a chladné. Na území Jizerských hor zasahuje několik klimatických oblastí. Dle Guitta patří vrcholy Jizerských hor do oblasti CH 4, tedy nejchladnější, kterou je možné v ČR nalézt. Plošiny leží v oblasti CH 6, vyšší části spadají do chladné oblasti CH 7 (sem patří nádrže Josefův Důl i Souš) a nižší části území jsou v mírně teplých oblastech MT 4 a MT 7. [1]

Expozice svahů má velký vliv na distribuci srážek. Roční úhrny srážek se pohybují v rozmezí 800 - 1700 mm. Nižší srážkové úhrny náleží k jižní části území a okolí Ještědu, pohybují se okolo 800 - 1000 mm, v centrální oblasti jsou zaznamenávány nejvyšší hodnoty přesahující 1400 mm. Jizerské hory jsou nejdeštivější oblastí České republiky a většina extrémních hodnot týkajících se srážek byly naměřeny právě zde (viz tabulka 4). [1], [16]

Tabulka 4 – **Rekordy srážkových úhrnů ČR** [26]

	Lokalita	Rok	Srážkový úhrn (mm)
<i>Největší naměřený roční úhrn srážek</i>	Kořenov-Jizerka, okres Jablonec n. Nisou	1926	2201
<i>Největší průměrný roční úhrn srážek</i>	Bílý Potok, okres Liberec		1705
<i>Největší naměřené denní srážky</i>	Bedřichov-Nová Louka	29.7.1897	345

Průměrné roční teploty se odvíjejí od nadmořské výšky. Jelikož převýšení území dosahuje i 900 m, jsou i hodnoty teplot poměrně rozdílné. Průměrná roční teplota se pohybuje v rozmezí 4 °C až 7 °C. Průměrné lednové teploty mají hodnotu -7 °C až -3 °C, průměrné červencové teploty dosahují 12 °C až 16 °C. Sněhová pokrývka trvá zpravidla od začátku listopadu do konce dubna. Průměrná hloubka sněhové pokrývky je v rozmezí 120-150 cm, může ale nabývat až 300 cm. Vegetační období trvá zhruba 180-120 dní v závislosti na nadmořské výšce. Během vegetační doby spadne asi 60 % ročního srážkového úhrnu. [1] [16]

Ve sníženinách jsou časté teplotní inverze, ke kterým dochází nejčastěji v ranních hodinách stékáním chladného vzduchu a jeho hromaděním v kotlinách. Jizerské hory jsou po Šumavě druhou oblastí s největším výskytem mrazů v České republice. Jsou zde zaznamenávány extrémně nízké teploty, často i během léta. [1]

4.1.1.4 Hydrologické poměry

Jizerské hory jsou velmi bohaté na přírodní zdroje vody, zejména povrchové. Říční síť je velmi hustá. Pohořím prochází rozvodí mezi Severním a Baltským mořem. Řeka Jizera je nejvodnatějším tokem oblasti, odvádí vodu z východu a jihovýchodu oblasti do Labe a dále do Severního moře. [4] Povrchový odtok zcela převažuje, útvary podzemních vod se vyskytují pouze mělko pod povrchem. [16] Podoba říční sítě je určena geologickým vývojem. Toky směřující na sever jsou prudké, zahlubují se do severních svahů formou roklí a vyskytují se na nich kaskády a vodopády. Toky směřující na jih jsou naopak pozvolné, stupňovité, jejich údolí se nezařezávají tak hluboko a jsou méně strmá. Horní úseky toků mají zpravidla malé sklony, jelikož pramení na náhorních plošinách. Ve středních úsecích jsou sklony podstatně vyšší, s výskytem zpětné eroze. [4]

Přirozenými vodními plochami Jizerských hor jsou jezírka a tůně v rašeliništích. Na konci 19. století byly v povodí Černé a Bílé Desné, Kamenice a horní Jizery četné povodně, provázené ztrátami na životech a hospodářskými škodami. Povodeň v roce 1897, kdy na Souši spadlo během jediného dne 310 mm srážek, měla katastrofální následky. Tyto události vedly k plánu vytvoření systému protipovodňových opatření. [2] [3]

Byl vytvořen projekt soustavy přehrad chránících oblasti pod horami proti povodním. Prvních pět přehrad navržených inženýrem Otto Intzem (Bedřichovská, Mníšecká, Mlýnická, Jablonecká a Harcovská přehrada) bylo vybudováno v letech 1902 - 1909. Projekt byl provázen velkými obavami, neboť se jednalo o první údolní tížné zděné přehradu realizované na území Čech. V roce 1905 byly dokončeny další dvě sypané přehrady na řekách Bílá a Černá Desná (přehrada Souš). [27]

Přehrada na Bílé Desné se však deset měsíců po kolaudaci protrhla, což mělo tragické následky. [3] Tato událost je považována za jednu z nejhorších katastrof přehradního stavitelství na světě a na dlouho dobu zastavila výstavbu sypaných hrází v celém světě. [27]

Od 60. let 20. století slouží nádrže též jako zásobárna pitné vody pro široké okolí. Nejprve byla za tímto účelem modernizována nádrž Souš a v letech 1976 - 1982 byla postavena vodní nádrž Josefův Důl. V Jizerských horách lze nalézt minerální prameny, které jsou ale poměrně málo mineralizované (Lázně Libverda, Nové Město pod Smrkem). [3]

4.1.1.5 Flóra a fauna

Příroda Jizerských hor je poměrně chudá a nemá příliš velkou biodiverzitu, což je dáno především kyselými půdami chudými na živiny spolu s drsným klimatem a antropogenními zásahy v minulém století. [16]

Povrch Jizerských hor je z 83 % tvořen lesy. V minulém století byly dominantní smrkové monokultury, které pokrývaly až 90 % plochy lesů. Potenciální přirozenou vegetací náhorních plošin jsou vrchoviště, podmáčené smrčiny a květnaté bučiny. V jižní a západní části oblasti dominují bukové porosty. Hlavním vegetačním typem je les, ve kterém jsou zastoupeny některé původní druhy – buk lesní (*Fagus sylvatica*), smrk ztepilý (*Picea abies*), či jedle bělokora (*Abies alba*), ve smíšených porostech lze nalézt také javor klen (*Acer pseudoplatanus*), jilm horský (*Ulmus glabra*) nebo jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*). V bylinném patře se vyskytuje měsíčnice vytrvalá (*Lunaria rediviva*), lýkovec jedovatý (*Daphne mezereum*), mléčivec alpský (*Cicerbita alpina*), vzácně i lilie zlatohlavá (*Lilium martagon*). [4]

Zachovalá unikátní společenstva se nacházejí na rašeliništích – původní porosty borovice kleče (*Pinus mugo*), doprovázené borůvkou bažinnou (*Vaccinium uliginosum*), klikvou bahenní (*Vaccinium oxycoccos*), kyhankou sivolistou (*Andromeda polifolia*) a šichou černou (*Empetrum nigrum*). V blízkosti rašelinišť rostou některé vzácné rostliny, například blatnice bahenní (*Scheuchzeria palustris*), suchopýrek trsnatý (*Trichophorum cespitosum*), ostřice mokřadní (*Carex limosa*) a ostřice chudokvětá (*Carex limosa*). [4]

V luční vegetaci se uplatňují mokřadní společenstva prstnatce májového a (*Dactylorhiza majalis*) prstnatce listenatého (*Dactylorhiza longibracteata*). Dalšími lučními rostlinami jsou vemeník zelenavý (*Platanthera chlorantha*), pětiprstka žežulník (*Gymnadenia conopsea*), vachta trojlistá (*Menyanthes trifoliata*) a prha arnika (*Arnica montana*). [4]

Pro faunu horských lesů jsou typickými živočichy bezobratlí (střevlíci, tesaříci, kovaříci), obojživelníci (mlok skvrnitý (*Salamandra salamandra*), čolek horský (*Ichthyosaura alpestris*)), plazi (slepýš křehký (*Anguis fragilis*) či zmiže obecná (*Vipera berus*)), pro vodní prostředí ryby (pstruh obecný (*Salmo trutta fario*), střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*)), ptáci (např. včelojed lesní (*Pernis apivorus*), holub doupňák (*Columba oenas*), lejsek malý (*Ficedula parva*), linduška luční (*Anthus pratensis*), krkavec velký (*Corvus corax*), puštík obecný (*Strix aluco*), tetřívka obecná (*Lyrurus tetrix*)) a savci (rejsek horský (*Sorex alpinus*), hrabošík podzemní (*Microtus subterraneus*), netopýři, spárkatá zvěř – jelení a srnčí). [4]

4.1.2. Acidifikace v Jizerských horách

Pojem acidifikace označuje okyselování přírodního prostředí, které je způsobeno emisemi do atmosféry. Znečišťující látky koloběhem pronikají do vody a půdy a ovlivňují celé životní prostředí. Rozlišuje se acidifikace přirozená a antropogenní. [28]

Přirozená acidifikace může být způsobena půdotvornými procesy (zvětráváním kyselých půd mohou vznikat kyseliny) nebo rozkladem opadaného jehličí a listí na lesních půdách (podzolech) zejména v humidních podmínkách. [25] Antropogenní acidifikace je způsobena hlavně znečištěním ovzduší. Znečišťujícími látkami jsou především SO_2 a NO_x vznikající při spalovacích procesech. SO_2 vzniká při spalování málo kvalitního uhlí (lignitu) v tepelných elektrárnách, za produkci NO_x stojí v dnešní době zejména doprava. Po reakci těchto látek s vodou a vodní párou v atmosféře vznikají vedle suché depozice také kyselá deště (mokrá depozice). Dalšími příčinami jsou nevhodné obhospodařování lesů a zemědělských půd (intenzivní zemědělská výroba, vyčerpání Ca z půdy, hnojení nevhodnými průmyslovými hnojivy s kyselou reakcí (kejda), intenzivní závlahy), nevhodná volba druhů zemědělských plodin (obiloviny na úkor víceletých píceňin), nevhodná druhová skladba vegetace lesních porostů (monokultury smrku) nebo nedostatečné vápnění. [25], [29]

Intenzitu acidifikace ovlivňuje množství škodlivých emisí a pufrovací schopnost půdy (množství kationtů Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). K acidifikaci jsou proto odolnější bazické horniny, naopak podloží tvořené žulami a rulami je velmi náchylné k acidifikaci. [28] Náchylnější jsou též pramenné oblasti toků (nedostatečně pufrované měkké vody). [18] Acidita také souvisí se změnami klimatu. S rostoucí průměrnou roční teplotou se zvyšuje intenzita zvětrávání, tedy přísun živin do půdy (kationty Ca, Mg, Na, K). [25] Snížení pH vody a půdy má vážné důsledky. Základní přehled je uveden v tabulce 5.

Tabulka 5 – **Důsledky acidifikace** [18], [25], [28]

<i>Vodní prostředí</i>	<ul style="list-style-type: none"> – uvolňování toxických látek do podzemní vody (Al, Cd, Hg) – zvýšení propustnosti vodního sloupce pro škodlivé UV záření
<i>Půdní prostředí</i>	<ul style="list-style-type: none"> – vyčerpání neutralizační kapacity (úbytek bazických iontů) s následným poklesem pH půdy – vymývání živin (Ca, Mg) do nižších půdních horizontů, kde jsou nevyužitelné pro rostliny – snížená odolnost, zvýšená propustnost rizikových prvků, příjem rostlinou, vstup do potravního řetězce – uvolňování toxických látek (Al, Mn) – poškození půdní struktury, snížení úrodnosti – vyšší náchylnost k erozi, aciditě, zhutňování, chorobám
<i>Organismy</i>	<ul style="list-style-type: none"> – poškození vegetace – disproporce ve výživě stromu (rychlé přírůstky, řídké dřevo) – úhyn vegetace (zejména lesních jehličnatých porostů) – úhyn rybí obsádky a vodí bioty – snížení biodiverzity, zjednodušení trofického řetězce – narušení mikrobiálních rozkladných procesů, kumulace nerozloženého org. materiálu – narušení ekosystémů a jejich nahrazení jinými, změny druhů a trofické struktury
<i>Dopady na člověka</i>	<ul style="list-style-type: none"> – ohrožení zdraví (zánět průdušek, rozedma plic, selhání srdeční činnosti) – poškození budov a kulturních památek

Následky antropogenní acidifikace je možné poměrně úspěšně omezit. Nápravná opatření spočívají v omezení emisí, vhodné druhové skladbě vegetace (pravidelné střídání plodin, větší podíl víceletých píceň, nahrazení smrkových monokultur bučinami, smíšenými lesy), omezení používání nevhodných průmyslových hnojiv a pravidelné vápnění. [25]

4.1.2.1 Průběh acidifikace v Jizerských horách

Celé území Jizerských hor je součástí takzvaného Černého trojúhelníku („Black Triangle“). Jedná se o oblast na hranicích Německa, České republiky a Polska, která byla v minulosti epicentrem atmosférické depozice Evropy. Oblast Jizerských hor byla jednou z prvních a zároveň nejvážněji postižených atmosférickou depozicí na světě. [5]

Území bylo po staletí známé pro velké přírodní zdroje a ložiska nerostných surovin (rudy stříbra, zinku, cínu, kobaltu, niklu, ...). Mezi tradiční odvětví patřilo sklářství, keramický a textilní průmysl. Během 20. století došlo k extrémnímu nárůstu těžby. Po 2. světové válce byla oblast pod sovětským velením použita k průmyslovému rozvoji severních Čech. Vznikly chemické závody, ocelárny a rafinérie, které měly obrovské nároky na energii. Energie se získávala spalováním hnědého uhlí nízké kvality (lignitu) pocházejícího z okolních dolů. V dolech se těžil také antracit a uran. [5]

Acidifikace přírodního prostředí je pro oblast Jizerských hor do jisté míry přirozená. Povrchové vody přirozeně obsahují velký podíl huminových kyselin. [30] Antropogenní acidifikace zásadně ovlivňovala povrchové vody i horní úseky povodí na náhorních plošinách prokazatelně od 40. let 20. století, nicméně doly a průmyslové objekty negativně ovlivňují území minimálně posledních 200 let. [31]

Extrémní zatížení Jizerských hor emisemi spolu s dalšími faktory (zamezení mísení vzduchu a rozptýlení emisí díky ohraničení celého území Černého trojúhelníku horami, umístění v centru kyselé depozice, minerálně chudé podloží, mělké podzolové půdy s malou neutralizační kapacitou, drsné humidní klima, nevhodná druhová skladba lesních porostů, podíl rašelinišť v povodích, nevhodné lesní hospodaření) měly tragický dopad na přírodu, krajinu a její obyvatele, který bývá popisován jako ekologická katastrofa. [32]

V 80. letech 20. století byly důsledkem kyselé depozice zdevastovány smrkové lesy a musely být kompletně odtěženy. Další dopady acidifikace na přírodu Jizerských hor jsou shodné s již zmíněnými důsledky v kapitole 4.1.2. V kyselých čirých vodách nádrží došlo k úplnému vyhynutí ryb a velké redukci vodní bioty. Zooplankton vymizel téměř úplně (s výjimkou vířníků (*Brachionus sericus*, *Keratella valga*) a koryšů (*Ceriodaphnia quadrangula*, *Cyclopidae*). Druhové složení fytoplanktonu odpovídalo kyselému prostředí (převažovaly řasy z rodu *Peridinium*). [16]

K pozitivnímu obratu došlo po revoluci v roce 1989 v průběhu 90. let 20. století. Depozice síranů se snížila na 40 % v porovnání s rokem 1987. Pokles zatížení kyselinou sírovou spolu se snížením a depozic dusíku a síry vedly k úspěšnému zlepšení chemického i biologického stavu vod. Stav povrchových vod se začal zlepšovat již v průběhu 80. let díky redukci listové plochy (škodlivých látek zachycených na jehličí, které dopadalo na vodní povrch) vykácením smrkových lesů.

Ke zlepšení jakosti vody v nádržích se využívá vápnění, které dodává bazický vápenec a zvyšuje tak nízké pH. Tím se vytvářejí podmínky pro život většího spektra živočichů. Vápnění je však nemalý zásah do chemismu vod, pH v důsledku toho v průběhu roku kolísá, což může nepředvídatelně ovlivnit ekosystémy. V roce 1991 byl první pokus o reintrodukci rybí obsádky v nádrži Bedřichov. Vysazen byl siven americký (*Salvelinus fontinalis*), který snese ze všech rybích druhů nejnižší pH, a pstruh obecný potoční (*Salmo trutta morpha fario*). Populace sivena amerického se úspěšně rozvíjela, pstruh strádal a neměl vhodné podmínky k reprodukci. Postupně byl siven americký úspěšně nasazen i do dalších nádrží (Souš, Josefův Důl). Ačkoliv je rybí populace obnovena, je velmi náchylná k poklesu pH a souvisejícímu uvolňování toxického hliníku. V rybách je pozorován velký obsah toxických látek, které se v nich akumulují díky potravnímu řetězci. [16]

Do budoucnosti má zásadní význam druhové složení vegetace. Upřednostňování přírodě blízkých bukových lesů, které jsou odolnější vůči acidifikaci (kyselá depozice ze spadaného listí je ve srovnání s jehličím asi třetinová), může snížit riziko obdobné devastace krajiny. [16] Vliv kyselé depozice na jizerskohorské lesy charakterizuje obrázek 16.



Obrázek 16 – Působení acidifikace na Jizerskohorské lesy (Povodí vodárenské nádrže Souš, 1990, foto Josef Křeček) [16]

4.1.3. Ochrana přírody a krajiny Jizerských hor

Na území Jizerských hor se nachází řada chráněných území – chráněná krajinná oblast Jizerské hory, národní přírodní rezervace (NPR Jizerskohorské bučiny, NPR Rašeliniště Jizery, NPR Rašeliniště Jizerky), přírodní rezervace (PR Bukovec, PR Černá hora, PR Černá jezírka, PR Jedlový důl, PR Klečové louky, PR Klikvová louka, PR Malá strana, PR Na Čihadle, PR Nová Louka, PR Prales Jizera, PR Ptačí kupy, PR Rybí Loučky a PR Vápenný vrch) a přírodní památky (PP Černá Desná, PP Fojtecký mokřad, PP Jindřichovský mokřad, PP Klečoviště na Smrku, PP Na Kneipě, PP Pod Dračí skálou, PP Pod Smrkem, PP Quarré, PP Tichá říčka, PP Tesařov, PP U Posedu a PP Vlčí louka) [33]

Chráněná krajinná oblast Jizerské hory byla vyhlášena 1. 1. 1968 vyhláškou Ministerstva kultury a informací k ochraně unikátních krajinných znaků (dochovaného přírodního prostředí a kulturní krajiny s typickým rázem a lidovou architekturou). [34] CHKO Jizerské hory má v současné době 4 zóny odstupňované ochrany přírody. V roce 1978 byla také v území CHKO Jizerské hory vyhlášena Chráněná oblast přirozené akumulace vod (CHOPAV), s hlavní úlohou podpořit ochranu vody a půdy. Plánované ekologicky orientované řízení povodí, jehož součástí byly například limity kácení dřevin, však nakonec nebylo v praxi realizováno. [16]

Zásadní změny přírodního prostředí se odehrály v průběhu 20. století. Již od 16. století se zvyšovaly nároky na těžbu dřeva a následné zalesňování pro zajištění zdrojů rostoucí průmyslové

výroby, zejména sklářství. V 19. století již přirozená obnova lesních porostů nebyla dostatečná a přistoupilo se k plošnému zalesňování. Zaváděny byly především monokultury smrku (nepůvodní smrk pichlavý (*Picea pungens*), což vedlo k téměř úplnému vymizení jedle. K vysazování nebyly použity místní autochtonní druhy sazenic. Porosty nebyly přizpůsobené místním podmínkám, neměly vybudovanou imunitu vůči hmyzím škůdcům, navíc byly všechny stromy stejného stáří. Důsledkem toho byla rozsáhlá devastace monokultur větrnými, hmyzími i sněhovými kalamitami. Dále na porosty negativně působily mrazy a jiné výkyvy počasí i vysoké stavy zvěře. V 80. letech 20. století došlo k výraznému poškození vrcholových částí povodí pokrytých smrkovými monokulturami vlivem extrémní imisní zátěže a státem řízeného komerčního lesního hospodářství (smrkové plantáže s nízkou stabilitou, rozsáhlá těžba s pomocí těžké mechanizace, neúspěšné zalesňování a neefektivní kontrola epidemií napadení škůdci). Kvůli následné erozi obnažených povrchů a konkurenci invazivního druhu trávy (třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*)) bylo znovuzalesnění velmi obtížné. [16], [31]

Následkem toho došlo k poškození tvorby odtoku a kvality vody v tocích i vodních nádržích. V povrchových vodách byly pozorovány nízké hodnoty pH (4 – 5), vysoký obsah toxických kovů (zejména hliníku, 1 – 2 mg/l), úplné vyhynutí ryb a drastický úbytek zooplanktonu, fytoplanktonu a bentické fauny. Intenzivní eroze půdy (zvýšena z 0,01 na 1,34 mm/rok) a odnos sedimentů (téměř 30 % erodovaného půdního objemu) byly následkem zvětšení lesní dopravní sítě a s tím související vzrůstající délky občasných (periodických) vodních toků (z 1,3 na 4,7 km/ m²). Infiltrační kapacita půdy se snížila ze 150 na 40 mm/h. Odtok se zvýšil o 108 mm a přímý rychlý povrchový odtok z 50 na 70 % celkového ročního odtoku. [16], [31]

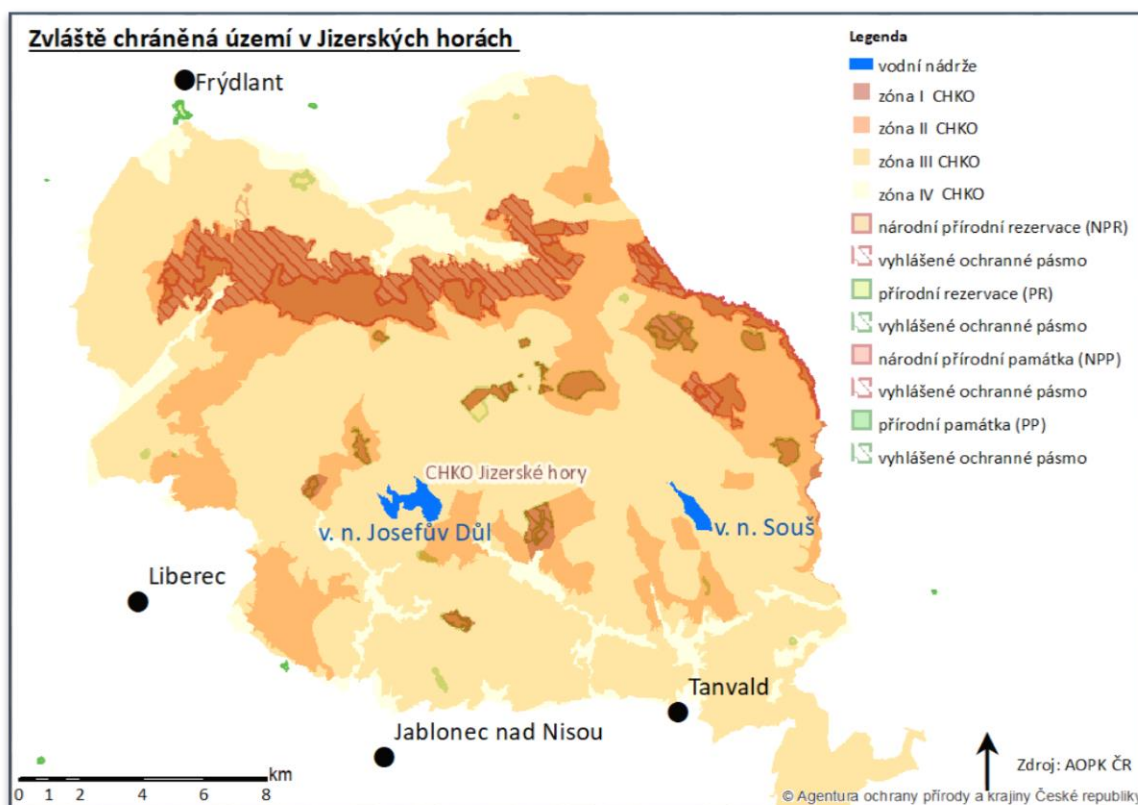
V 90. letech 20. století s nastalými politickými změnami započaly snahy o obnovu jizerskohorských povodí. Zásadním opatřením bylo snížení atmosférické depozice, vysazování původních druhů s podílem listnatých dřevin (zejména buku), výrazná redukce listové plochy kácením smrkových porostů (snížení indexu listové plochy z 18 na 3,5), částečně také vápnění vodních ploch i celých povodí. Ke stabilizaci povodí přispělo praktikování tradičních metod lesního hospodářství (odtahování klád pomocí koní nebo lan, respektování břehových zón, sezónní stahování dřeva, ruční zalesňování). Výsledkem těchto opatření bylo zvýšení průměrných ročních hodnot pH na 5 – 6, pokles koncentrace hliníku na 0,2 – 0,5 mg/l a úspěšná reintrodukce populace sivena amerického (*Salvelinus fontinalis*). [16]

Vodní stavby i opatření na tocích byly v minulosti projektovány jako tvrdá technická opatření bez ohledu na krajinný ráz a zachování přírodě blízkého stavu (zkapacitňování a opevňování koryt toků, výstavba retenčních a konsolidačních přehrážek, budování suchých polderů na úpatí hor). Cílem současné ochrany krajiny je proto podpora přírodě blízkých opatření k nápravě narušeného

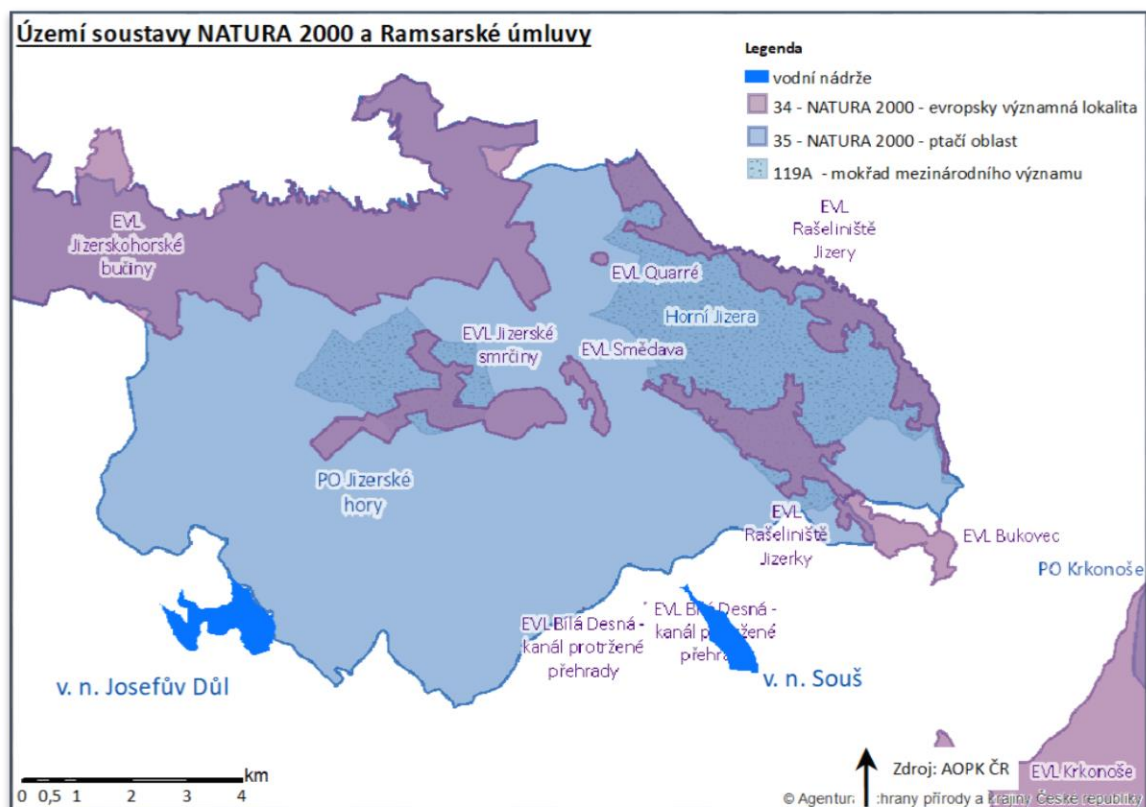
vodního režimu pomocí revitalizací toků a pramenných oblastí, zprůchodňování migračních bariér či podpora vzniku nových tůní a vodních nádrží. [34] Pro další zlepšení do budoucna je důležitá podpora výsadby smíšených lesů původních druhů, udržitelné lesní hospodaření a rovnováha mezi ochranou přírody a veřejnými zájmy (volnočasové a sportovní aktivity obyvatel okolních měst, turismus) [16], [31], [35]

V Jizerských horách lze nalézt také chráněná území evropského významu soustavy Natura 2000. V zájmovém území se nachází Ptačí oblast Jizerské hory, jejímž předmětem ochrany je zejména tetřívka obecná (*Tetrao tetrix*) a sýc rousný (*Aegolius funereus*). Evropsky významné lokality v rámci CHKO Jizerské hory jsou Bílá Desná - kanál protržené přehrady, Bukovec, Jizerské smrčiny, Jizerskohorské bučiny, Quarré, Rašeliniště Jizerky, Rašeliniště Jizery, Smědava). [33]

Nejvýznamnější rašeliniště Jizerských hor jsou na seznamu mokřadů mezinárodního významu chráněných Ramsarskou úmluvou. Jedná se rašeliniště na území NPR Rašeliniště Jizery, PR Rybí loučky, PR Černá jezírka a NPR Rašeliniště Jizerky. [33] Mapa umístění zvláště chráněných území je na obrázku 17, obrázek 18 zobrazuje polohu území soustavy Natura 2000 a rašeliniště chráněná Ramsarskou úmluvou.



Obrázek 17 – Zvláště chráněná území v Jizerských horách (zdroj: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR) [36]



Obrázek 18 – Území soustavy Natura 2000 a Ramsarské úmluvy v Jizerských horách (zdroj: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR) [36]

4.1.4. Vodárenské nádrže Josefův důl a Souš

Obě vodní nádrže se nacházejí na náhorní plošině Jizerských hor, (Liberecký kraj, okres Jablonec nad Nisou). Umístění obou vodních nádrží je patrné z obrázku 17.

4.2. Vodní nádrž Souš

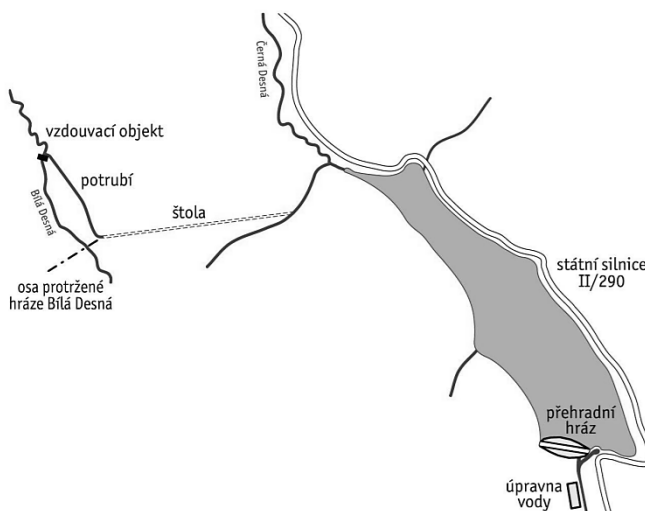
Přehrada Souš ležící na řece Černá Desná byla postavena před první světovou válkou jako součást systému retenčních nádrží, která měla chránit oblasti pod Jizerskými horami před povodněmi. [37]

4.2.1. Základní údaje

Přehrada na toku Černá Desná je umístěna v říčním kilometru 7,25. Celkový objem nádrže je 7,56 milionů m³, z čehož 2,45 milionů m³ tvoří objem ochranný. [2] Vodní plocha má rozlohu 102 ha, maximální hloubka v nádrži je 20,5 m. [38]

Přehradní hráz je přímá, zemní, sypaná, s celkovou délkou 364 m a výškou 21 m nad terénem. Hráz má na návodním svahu těsnící jílovou vrstvu a betonovou zeď v patě hráze. Koruna hráze je široká 7,1 m, celková šíře hráze v patě dosahuje 108 m. Stabilizační část hráze je tvořena hlinitými písky a štěrkem. Součástí hráze je kruhová betonová manipulační věž, na jejímž dvě jsou šoupátka k ovládní dvou trubních spodních výpustí o průměrech 1 m. Pro provádění povodňových průtoků slouží boční bezpečnostní přeliv u levého závězu hráze, za kterým následuje osm stupňů kaskády odvádějící vodu do údolí. [2], [39]

Pro odběr surové vody slouží vodárenský objekt vysoký 17,5 m, vzdálený asi 80 m od hráze který umožňuje jímání vody ze dvou výškových úrovní. [39] Součástí vodního díla je rovněž 573 m dlouhé potrubí, které se napojuje na 1145 m dlouhou původní štolu mezi nádrží Souš a nádrží na Bílé Desné. V případě potřeby je možné převedení části průtoku z Bílé Desné. K odběru vody slouží odběrný objekt umístěný na břehu betonového jez. [2], [39] Schéma vodního díla Souš znázorňuje obrázek 19.



Obrázek 19 - Schéma nádrže Souš [2]

Plocha povodí Černé Desné k profilu hráze činí 13,96 km². Průměrná dlouhodobá výška ročních srážek dosahuje 1457 mm, průměrný dlouhodobý roční průtok činí 0,51 m³/s. Hodnota stoletého návrhového průtoku je 89,8 m³/s. [2], [40]

Z hlediska obecné bezpečnosti je vodní dílo ve smyslu vyhlášky č. 471/2001 Sb. zařazeno do II. kategorie.¹ Vodní nádrž Souš je pod správou Povodí Labe s.p., sídlícího v Hradci Králové, provoz vodního díla je zajišťován závodem Jablonec na Nisou. [40]

4.2.2. Historie

Vodní nádrž Souš byla vybudována v letech 1911 – 1915 jako součást systému retenčních nádrží, které měly zajišťovat protipovodňovou ochranu povodí pod Jizerskými horami. Návrh přehrad byl dílem pražského civilního inženýra Wilhelma Planknera. Pro Vodní družstvo pro regulaci toku a stavbu přehrad na Černé Desné, Bílé Desné a Kamenici v Dolním Polubném Plankner původně plánoval dva páry přehrad. Dvě sousední přehrady měly být vždy mezi sebou vzájemně propojeny štolou. Vodnímu družstvu se v roce 1908 podařilo prosadit výstavbu pouze první plánované části soustavy, tedy dvou přehrad na Černé a Bílé Desné. [2]

Dne 18. září 1916 došlo k tragickému protržení přehrad na Bílé Desné. Přehrada byla navržena stejným způsobem jako ostatní přehrady v Jizerských horách, ale nebyly uvažovány konkrétní geologické podmínky. Došlo k erozi a průsaku vody z podloží do tělesa hráze. Povodňová vlna si vyžádala 62 obětí, zničila 29 obytných domů, 11 brusíren skla, poškodila dalších 62 staveb a zdevastovala okolní krajinu. [27]

Soušská přehrada prošla mnohými rekonstrukcemi a modernizacemi. První z nich proběhla již v letech 1924–1927, kdy po protržení sousední přehrad na Bílé Desné byly značné obavy z možného opakování katastrofy. Přehrada byla proto již krátce po svém dokončení vypuštěna a prošla rozsáhlou rekonstrukcí, jejímž hlavním cílem bylo zvýšení stability. Tato rekonstrukce zahrnovala zesílení tělesa hráze zemním přísypem širokým v patě až 20 metrů, zvýšení hráze i bezpečnostního přelivu o 1 metr, zlepšení těsnící funkce návodního svahu i podloží nádrže. Celková stabilita byla zvýšena, stejně jako objem nádrže, což mělo zajistit účinnější zachycení povodňových průtoků. [2]

¹ Dle vyhlášky č. 471/2001 Sb. (Vyhláška Ministerstva zemědělství o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly) jsou vodní díla v této kategorii v pořadí druhá z celkem čtyř možných kategorií, řazených podle potenciálu škod. Potenciál je určován z velikosti případných škod způsobených poruchou stability a bezpečnosti, vedoucí ke vzniku povodňové vlny. [41]

Druhou rekonstrukcí prošla přehrada v letech 1953 – 1954. Obsahem byly rozsáhlé injekční práce pro utěsnění stěn šachty uzávěru spodních výpustí a skalního masivu v jejím okolí a oprava šoupátkových uzávěrů výpustí. [2]

V letech 1969 - 1974 proběhla modernizace nádrže. Nově bylo účelem vodního díla i vodárenské využití. Byl vybudován odběrný objekt, štola spojující potrubím nádrž s úpravnou vody pod hrází a odvodňovací systém u vzdušní paty hráze. V těchto letech byl také postaven betonový pevný jez na Bílé Desné s trubním přivaděčem k původní štole z bývalé nádrže Bílá Desná. [2]

V roce 2001 a 2002 byly rekonstruovány šoupátkové uzávěry obou spodních výpustí. Součástí rekonstrukce bylo též vybudování podzemní strojovny nových regulačních uzávěrů a nového turbosoustrojí malé vodní elektrárny na odbočce pravé výpusti, obnovení obezdívky části obtokové štoly od podzemní strojovny do vývaru a instalace nového monitorovacího a řídicího systému. V letech 2005 – 2007 proběhla výstavba nového provozního objektu. [2]

Od roku 1996 je vodní nádrž Souš každé jaro pravidelně alkalizována. Toto opatření bylo nutné pro zajištění kvality vody akumulované v nádrži pro následné vodárenské využití. Jakost vody se značně zhoršila v důsledku odlesnění většiny povodí Černé Desné v průběhu osmdesátých let dvacátého století. Odlesnění vedlo ke zvýšení transportu organických látek do nádrže a zvýšení koncentrace hliníku. Zejména v obdobích jarního tání byl problém dosáhnout požadované kvality pitné vody úpravou kyselých sněhových vod z nádrže. Jarní vápnění se provádí na celé vodní ploše pomocí speciálně upraveného letadla, které nad hladinou rozptyluje jemně mletý vápenec. Díky tomuto zásahu jsou zlepšeny podmínky v nádrži vždy na několik měsíců. Surová voda z nádrže má poté menší nároky na následnou úpravu a snížením alkality jsou vytvořeny podmínky pro život některých živočichů. V nádrži byla postupně obnovena populace sivena amerického a podél vodní plochy se též vyskytují některé druhy obojživelníků, například čolek horský, skokan hnědý nebo ropucha obecná. [2]

4.2.3. Současné využití

Vodní nádrž Souš v současné době i nadále plní svou původní funkci – má částečný podíl na ochraně níže položených částí povodí před povodněmi. Má také funkci vodárenskou – slouží jako zásobárna pitné vody pro oblasti Jablonecka, Tanvaldska a Železnobrodská. Dalším účelem je zajištění minimálního zůstatkového průtoku na Černé Desné pod nádrží. Ve spolupráci s Josefodolskou přehradou je možné nadlepšování průtoku v profilu Plavy na Kamenici za účelem dodržení minimálního průtoku. Nádrž může též zajišťovat nadlepšení průtoku při havarijním znečištění vody v toku pod nádrží. Díky malé vodní elektrárně má navíc vodní dílo i funkci energetickou. [2] Kvůli vodárenskému využití nádrže Souš je zde zakázáno koupání a rybaření. [42]

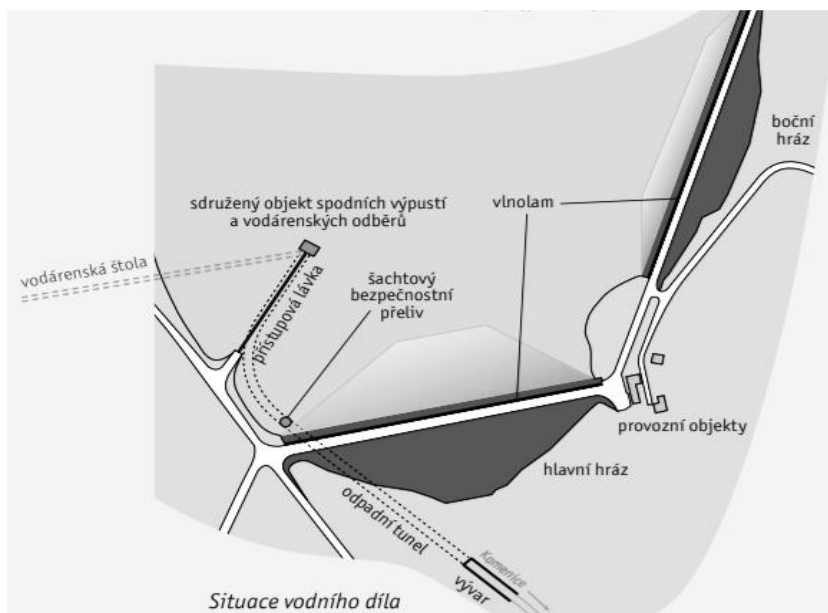
4.3. Vodní nádrž Josefův Důl

Josefodolská přehrada je nejmladší a nejrozsáhlejší přehradou Jizerských hor. Přestože plány na vybudování přehrady na Kamenici existovaly již na konci 19. století, stavba byla realizována až v osmdesátých letech století dvacátého. [43], [44]

4.3.1. Základní údaje

Nádrž s celkovým objemem 22,63 milionů m³, z čehož 2,98 milionů m³ tvoří objem ochranný, má zatopenou plochu 130,1 ha a maximální hloubku 39 m. Plocha povodí k profilu hráze je 19,81 km², průměrný průtok má hodnotu 0,683 m³/s, návrhový stoletý průtok dosahuje 106 m³/s. Přehrada se nachází v říčním kilometru 30,20. [38], [43]

Pro zajištění dostatečného objemu v nádrži byly navrženy dvě hráze. Hlavní údolní hráz je přímá, zemní, sypaná, materiálem jsou zahliněné písky a návodní těsnění zajišťuje asfaltbetonový plášť. Hlavní hráz má délku 360 m, koruna je široká 7,5 m a výška hráze nad terénem dosahuje 43 m. Podloží u návodního svahu je utěsněno železobetonovou zdí do hloubky 20 m a injekční clonou do hloubky až 35 m. Injekční chodba mezi návodní těsnicí vrstvou a podzemní stěnou umožňuje kontrolu funkčnosti těsnění. Boční hráz na levém břehu přehrady je rovněž přímá, sypaná, má délku 360 m a výšku 14 m nad terénem. Materiál a těsnicí vrstvy jsou obdobné jako u hráze hlavní, není zde ale injekční chodba. [43] Obrázek 20 schematicky zobrazuje umístění hrází a objektů.



Obrázek 20 – Schéma vodního díla Josefův Důl [43]

Součástí vodního díla je sdružený objekt, sestávající z věžového vodárenského odběrného objektu vysokého 59,4 m s pěti výškovými úrovněmi. Součástí sdruženého objektu jsou dále horní a dolní strojovna uzávěrů spodních výpustí a dvě spodní výpusti navazující na odpadní tunel. Nádrž má šachtový bezpečnostní přeliv ústící do odpadního tunelu. Na odbočce levé spodní výpusti je malá vodní elektrárna s Francisovou turbínou. Surová voda je gravitačně odváděna 2440 m dlouhou vodárenskou štolou do úpravny vody v Bedřichově. [43], [45]

Vodní dílo Josefův Důl spravuje Povodí Labe, s. p., úpravna v Bedřichově a ostatní vodárenské části jsou pod správou Severočeské vodárenské společnosti a.s. [44] Vodní dílo Josefův důl je zařazeno do I. kategorie stanovené vyhláškou č.471/2001 Sb. [46]

4.3.2. Historie

Záměr postavit přehradu na řece Kamenici sahá do 19. století. Plánovaná vodní nádrž měla být další ze soustavy přehrad zajišťujících zejména protipovodňovou ochranu. Tato přehrada a řada dalších plánovaných vodních děl však nakonec realizována nebyla. [44]

Hlavním důvodem, proč se nakonec přistoupilo ke stavbě přehrad byl nedostatek zásob pitné vody pro oblasti Liberecka a Jablonecka, který se projevil v průběhu 60. let 20. století. Původní podzemní zdroje z Podještědí a Českolipska nebyly dále použitelné kvůli možnému průsaku škodlivých látek z těžby uranu. [44]

Projekt vodního díla byl zpracován firmou Hydroprojekt Praha. Stavba byla realizována v letech 1976 až 1982. Vodárenská část spolu s úpravnou vody Bedřichov je v provozu od roku 1987. [43]

Nádrž byla nejdříve osídlena sivenem americkým, ale dnes je zcela dominantním druhem spontánně se rozvíjející populace drobné kaprovité ryby střevle potoční. Kvalita vody je dlouhodobě podrobně sledována v samotné nádrži i na přítocích. [43]

4.3.3. Současné využití

Hlavní účel vodního díla je akumulace vody pro vodárenské využití. Nádrž slouží jako zdroj pitné vody pro Liberecko. Vodní dílo se podílí na ochraně území pod hrází před povodněmi. Další funkcí je zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod nádrží a možné nadlepšování průtoku při havarijním znečištění vody. V neposlední řadě má nádrž také energetické využití díky malé vodní elektrárně. [43] Okolí vodní nádrže se nachází v I. ochranném pásmu, koupání je zde proto zakázáno. [44]



Obrázek 21 - Vodní nádrž Souš [47]



Obrázek 22 - Vodní nádrž Josefův Důl [43]

5. Posouzení vlivu klimatické změny na stratifikaci vodárenských nádrží Josefův důl a Souš

Obsahem páté kapitoly je stručný popis globální změny klimatu a jejích dopadů, základní informace o klimatických modelech a scénářích a princip simulace teplotní stratifikace nádrží pomocí modelů. Po tomto úvodu následuje popis dosavadních změn v Jizerských horách ve sledovaném období za posledních několik desetiletí. V poslední části kapitoly je řešena predikce vývoje stratifikace obou vodních nádrží v období 2071 - 2100.

5.1. Globální změna klimatu

Změna klimatu je přirozený jev provázející celou historii existence naší planety. V minulosti byly klimatické změny ovlivňovány přírodními faktory. Do 1. poloviny 20. století mělo dominantní vliv Slunce (vzdálenost od Slunce, intenzita slunečního záření, sluneční cykly). Dalšími faktory jsou střídání dob ledových a meziledových, rozložení kontinentů, sklon zemské osy, sopečná činnost, množství skleníkových plynů v atmosféře a existence zpětných vazeb. [48]

Od 1. poloviny 20. století má neoddiskutovatelně značný vliv na klimatickou změnu člověk. Změnami zemského povrchu, extrémním neudržitelným populačním růstem a rozvojem průmyslu a s tím spojeným množstvím emisí (oxid uhličitý, metan, oxid dusný) došlo k ovlivnění celého klimatického systému. V současné době je pozorováno zrychlování změn – za posledních 100 let (1901 – 2000) se průměrná teplota zvýšila o 0,6 °C . V posledních několika desetiletích došlo ke větším změnám teploty, než za posledních 10 000 let. Na současných změnách se podílí přirozené faktory z pouhé třetiny, dvě třetiny připadají na antropogenní vlivy. Velkým nebezpečím je zejména rychlost a rozsah změn. [48]

Po objevení antropogenního vlivu na změnu klimatu vznikl v roce 1988 Mezivládní panel pro klimatickou změnu - IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Jedná se o mezinárodní orgán zabývající se problematikou změny klimatu. Skupina vědců z celého světa zkoumá princip klimatické změny jako takové a její možné dopady. Za vznikem IPCC stálo OSN spolu se Světovou meteorologickou organizací (WMO) a Environmentálním programem spojených národů (UNEP). Hlavním důvodem vzniku byla zejména potřeba objektivních a vědecky podložených informací o klimatické změně. IPCC vydává hodnotící zprávy, ve kterých postupně aktualizuje informace o budoucím vývoji klimatu na základě emisních scénářů (uvažovaný vývoj a regulace množství emisí a skleníkových plynů v atmosféře). Na základě těchto scénářů je očekáváno zvýšení teploty v rozmezí 1,1°C – 6,4°C (v období 2090-2099 oproti období 1980-1999). Existují také scénáře, které

předpovídají dopady možných změn klimatu na ekosystémy. V současnosti je aktuální Pátá hodnotící zpráva IPCC. [49]

Klimatická změna ovlivňuje celý klimatický systém. Klimatický systém se skládá z atmosféry, hydrosféry, kryosféry, litosféry a biosféry, dochází k výměně energie a hmoty mezi klimatickým systémem a jeho kosmickým okolím. V systému probíhají procesy vzájemně propojené velmi složitými vazbami. Díky tomuto propojení se mohou určité procesy zeslabovat (záporná zpětná vazba) a jiné naopak zesilovat (kladná zpětná vazba). Kladné zpětné vazby snižují stabilitu klimatického systému, záporné se samy utlumují a stabilitu systému posilují. Existence mnoha i neznámých zpětných vazeb je důvodem, proč může mít i nepatrný zásah do systému nepředvídatelné následky. [48]

Je již jisté, že v budoucnosti bude docházet ke zvyšování teploty, scénáře se liší jen velikostí predikované změny. Zvýšení teploty je ovšem uvažováno pro průměrnou globální teplotu, je tedy možné, že v některých oblastech může dojít naopak k ochlazení. [48]

Ohřívání planety je umožněno díky skleníkovému efektu. Skleníkový efekt je způsoben obsahem skleníkových plynů (vodní pára, oxid uhličitý, metan a další plyny). Sluneční záření proniká až k zemskému povrchu, kde je část pohlcena a část odražena. Pohlcené záření ohřívá povrch, který poté vyzařuje tepelné záření odlišné vlnové délky než sluneční záření. Změna vlnové délky má za následek, že vyzářené teplo neprojde vrstvou atmosféry se skleníkovými plyny zpět do kosmu a způsobuje tak oteplování. Díky schopnosti skleníkového efektu zadržet tepelné záření je umožněn život na Zemi, bez jeho existence by byla průměrná roční teplota asi -15°C . Skleníkový efekt je přirozeným jevem, který se ale nepřírozeně zvyšuje díky rostoucí koncentraci skleníkových plynů v atmosféře antropogenními vlivy. [6]

S klimatickou změnou je nejčastěji spojováno globální oteplování, nicméně to není v žádném případě jediný prokázaný dopad klimatické změny. Pátá hodnotící zpráva IPCC rozděluje změny klimatického systému na několik oblastí. První z nich jsou teplotní změny – změna povrchové teploty již byla popsána, nicméně je prokázáno, že ke změnám teploty dochází též v troposféře i stratosféře. Od poloviny 20. století došlo k oteplení troposféry a ochlazení stratosféry. Zvýšení teploty se ovšem týká také oceánů, protože se zde ukládá většina energie klimatického systému. K ohřátí vody v oceánech došlo prokazatelně mezi lety 1971-2010 do hloubky minimálně 700 m (nejspíše ale až do hloubky 3000 m). Voda v oceánech se ale nejspíše oteplevala již od 70. let 19. století. [50]

Další oblastí dle IPCC jsou změny v energetické bilanci a obsahu tepla. Množství tepla akumulovaného na Zemi rostlo od 70. let 20. století díky radiační nerovnováze. Zvýšené množství energie se nejvíce projevuje v oceánech (93 %), dále na tání ledovců a oteplování kontinentů (3 %)

a pouze 1 % na oteplování atmosféry. Klimatická změna ovlivňuje také atmosférickou cirkulaci a sezónní a periodické změny (ENSO, NAO, zóna tropické konvergence, jet stream). [50]

Významnou oblastí klimatické změny jsou změny ve vodním cyklu a kryosféře. V některých oblastech byly mezi lety 1900 - 2005 zaznamenány změny srážkových úhrnů (nárůst srážkových úhrnů ve středních zeměpisných šířkách – východ obou amerických kontinentů, severní Evropa, severní a střední Asie, úbytek srážek v Sahelu a Středomoří, jižní Africe a Asii). Srážky jsou obecně velmi proměnlivé časově i prostorově a je tudíž těžké definovat trendy jejich vývoje. Je ovšem pravděpodobné, že ve středních šířkách budou srážkové úhrny dále narůstat, zatímco v oblastech s malým množstvím srážek (tropy, subtropy) budou dále ubývat a bude zde větší výskyt sucha. S rostoucí teplotou je spojeno zvýšení množství vodní páry v atmosféře z důvodu většího výparu (zvýšená vlhkost byla zaznamenána v troposféře). Klimatická změna ovlivňuje také oceánské proudění a salinitu (zvýšení výparu, zvětšení kontrastu v salinitě mezi regiony s vysokou salinitou (střední šířky) a nízkou salinitou (polární a tropické oblasti)). Zásadní jsou změny v kryosféře. Prokazatelně dochází k tání arktického mořského ledu, antarktického i grónského ledového příkrovu, ledovce pokračují v ústupu a rozsah sněhové pokrývky a horských ledovců se zmenšuje. Dochází také k tání permafrostu, což představuje obrovské množství metanu uvolněného z doposud zamrzlého území a další podporu globálního oteplování. S oteplováním souvisí zvyšování hladiny oceánů, jednak vlivem tání ledovců, ale také zvyšováním objemu mořské vody vlivem tepelné roztažnosti vody. Rychlost růstu hladiny oceánů se stále zvyšuje. [50]

Další oblastí, řešenou v hodnotící zprávě IPCC jsou změny v extrémních jevech, které budou nejspíše daleko častější a intenzivnější. Změny zahrnují úbytek chladných dnů a nocí a nárůst letních dnů, zvýšení výskytu vln veder, dále větší výskyt a intenzitu extrémních srážek, přívalových dešťů, povodní, hurikánů, eroze a sesuvů půdy. Riziko rozšíření oblastí postižených suchem nelze obecně definovat rostoucím trendem, nicméně pro některé oblasti se riziko sucha zvětšuje (pro některé se ale naopak zmenšuje). [50]

Změny nastávají též v biochemických cyklech. Koncentrace uhlíku, metanu a oxidů dusíku v atmosféře se extrémně zvýšily. Koncentrace oxidu uhličitého se zvýšila od průmyslové revoluce o 40 %. Za tímto zvýšením stojí emise ze spalování fosilních paliv ale také změny využití půdy (odlesňování). Růst koncentrace metanu je způsoben chovem dobytka, táním permafrostu, skládkováním, či pěstováním některých surovin (rýže), oxidy dusíku vznikají zejména při dopravě, či aplikací dusíkatých hnojiv. Oxid uhličitý se rozpouští v oceánech, jeho koncentrace ve vodě roste, což snižuje pH oceánů a způsobuje jejich acidifikaci. Hlavní důsledky acidifikace oceánů jsou rychlý pokles pH (živočiškové nemají možnost adaptace), změny zastoupení druhů, ohrožení potravních

řetězců, eroze a snížení rozmanitosti korálových útesů, rozpouštění vápnatých skořápek živočichů, stres pro ryby, omezení jejich reprodukce, větší výskyt řas, vodních rostlin a medúz. [18] [50]

Nejen vodní ekosystémy budou ohroženy. Změny klimatu ovlivňuje celkové chování živočichů, ale i cykly rostlin (změny vegetačního období), původní druhy se přesouvají nebo hynou, sukcesí jsou nahrazovány druhy teplomilnějšími a schopnými adaptace. Změny se týkají také zemědělství (zranitelnější, větší výskyt škůdců, chorob, nutná změna odrůd a postupů, větší riziko eroze, menší výnosy). Globální zvýšení teploty může mít za následek také šíření nemocí, množení bakterií a mikroorganismů a vyšší úmrtnost následkem veder. Se zvýšením teploty lze očekávat dlouhotrvající sucha, změnu úrodnosti půdy a postupující desertifikaci, snížení retence vody vedoucí ke snížení zásob podzemní vody a ohrožení zdrojů pitné vody. Klimatická změna zasáhne také řadu oblastí lidské činnosti, ve kterých bude nutné se přizpůsobit nastalým změnám (stavebnictví, zdroje pitné vody a potravy, energetika). [48]

Všechny klimatické scénáře IPCC predikují zvýšení globální teploty, což znamená, že bude pravděpodobně docházet ke zvyšování všech výše popsaných jevů minimálně v průběhu celého 21. století. Klimatická změna s sebou nepřináší pouze negativní změny a v různých oblastech se projeví rozdílně, nicméně pokud dojde k naplnění méně optimistických scénářů ohledně globálního zvýšení teploty, budou převažovat negativní dopady. Důležitý je také fakt, že i kdyby se podařilo dosáhnout snížení či dokonce zastavení emisí skleníkových plynů, budou změny klimatu vlivem setrvačnosti pokračovat dál ještě celá staletí. Snížení emisí má ale i přesto zásadní význam, neboť menší globální oteplení znamená menší pravděpodobnost nevratných změn. [50]

Klimatická změna se v neposlední řadě dotkne také vodních nádrží, čemuž je věnována kapitola 6 s uvedením konkrétních možných důsledků klimatické změny pro zájmové vodní nádrže.

5.2. Modelování změn klimatu, klimatické scénáře

Klimatické modely používají zejména atmosférickou cirkulaci a její proměnlivost vlivem obíhání Země kolem Slunce a její rotace kolem vlastní osy. Modely mohou být globální nebo regionální, přičemž mohou poskytovat velice odlišné výsledky. Na globální i regionální klima má vliv také cirkulace vody v oceánech. Klimatické modely popisují procesy v mnoha sférách Země (hydrosféra, biosféra, kryosféra, atmosféra) složitými matematicko-fyzikálními vztahy. [51]

První klimatické modely byly jednorozměrné a mají původ v 70. letech 20. století (RCM (radiačně-konvektivní model), EBM (model energetické bilance)). V 80. letech se začaly využívat modely dvourozměrné (SDM), které vyžadovaly na rozdíl od modelů jednorozměrných menší množství parametrů. Od přelomu tisíciletí jsou využívány modely trojrozměrné. [51]

Globální klimatické modely (GCM) mají malé rozlišení a neuvažují menší ale významné parametry ovlivňující klima (orografické celky, např. Alpy, Skandinávie). Proto jsou vyvíjeny modely regionální (RCM), které mají oproti modelům globálním poměrně detailní rozlišení (pod 50 km), a mohou proto lépe simulovat regionální vývoj klimatu. [51]

Klimatické scénáře jsou modelové scénáře budoucího vývoje populace, ekonomiky, technologií a zdrojů energie (a s tím souvisejících vzniklých emisí). Všechny scénáře jsou pouze hypotetické, ačkoliv mají vědecký základ. Všechny scénáře mají také stejnou pravděpodobnost že nastanou, jako že nenastanou. Emisní scénáře, které využívá IPCC jsou celkem 4:

- A1* rychlý růst ekonomiky a vývoj nových technologií, zmizí rozdíl mezi bohatými a chudými zeměmi, investice do vzdělání a technologií, vrchol populace kolem roku 2050
- B1* postupující globalizace, rozvoj informačních technologií, služeb a nových technologií, společnost bude orientovaná na trvale udržitelný rozvoj a uvědomělá ohledně sociálních a environmentálních aspektů, investice do moderních a čistých technologií, vrchol populace v roce 2050
- A2* přetrvávající rozdíl mezi rozvinutými a rozvojovými zeměmi, velký růst populace, regionální ekonomické rozdíly, pomalý ekonomický a technický vývoj, malé investice do kultury a vzdělání
- B2* snaha o udržitelný rozvoj, environmentální zaměření (ochrana přírody, zdraví člověka), zaměření na regionální problémy a vývoj, různorodost technologických změn, pozvolnější nárůst populace než při A2

Spojením klimatických modelů a klimatických scénářů lze predikovat vývoj klimatu v blízké i vzdálenější budoucnosti. [51]

5.3. Projekt PRUDENCE

Projekt PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects) poskytuje predikce regionálního vývoje klimatu z mnoha různých zdrojů. PRUDENCE obsahuje výsledky řady různých modelů a velké množství dat, která jsou dostupná na distribučním serveru (<http://prudence.dmi.dk/>). Projekt byl financován Evropskou unií přes kontrakt EVK2-CT2001-00132, vznikl v roce 2001 a skončil v roce 2004. Poté byl nahrazen dalšími projekty (ESSEMBLES a následně CORDEX). Projekt PRUDENCE byl zaměřený na řešení a redukování nedostatků predikcí změn klimatu. Hlavním cílem bylo kvantifikovat důvěryhodnost a nejistoty predikcí vývoje klimatu a následných dopadů za použití řady modelů a jejich odborného

posouzení a interpretovat výsledky pro aplikaci v evropských politikách za účelem adaptace a mitigace. [52]

Projekt PRUDENCE poskytuje predikce teploty vzduchu a srážkových úhrnů pro časové období 2071-2010 (klimatický normál) v geografickém rozlišení 50 × 50 km. [52]

Pro predikci vývoje klimatu v zájmovém území byly použity emisní scénáře A2 a B2 dle IPCC. Scénář A2 představuje nejskeptičtější a nejméně příznivou predikci budoucnosti, naopak scénář B2 poskytuje poměrně mírnou variantu predikce budoucího vývoje klimatu. [51]

5.4. Modelování stratifikace

Teplotní stratifikaci vodních nádrží je možné simulovat pomocí modelů a předpovědět tak vývoj nádrže. Pro použití jednorozměrného modelu je nejprve nutné prokázat, že je stratifikace v daném časovém období dominantním faktorem určujícím vývoj struktury vodní nádrže. Pro posouzení je využíváno Wedderburnovo číslo, které je možno získat vztahem:

Rovnice 2 – **Wedderburnovo číslo**

$$W = \frac{g' h}{U^{*2}} \cdot \frac{h}{L}$$

kde:

W Wedderburnovo číslo (-)

h hloubka termokliny (m)

U^* třecí rychlost na hladině ($m \cdot s^{-1}$)

L délka nádrže (m)

A g' je získáno následujícím vztahem:

Rovnice 3 – **Vztah pro součinitel pro výpočet Wedderburnova čísla**

$$g' = \frac{D_r \cdot g}{r_0}$$

kde:

g gravitační zrychlení ($m \cdot s^{-2}$)

r_0 hustota vody v hypolimnionu ($kg \cdot m^{-3}$)

D_r rozdíl hustot vody v hypolimnionu a epilimnionu ($kg \cdot m^{-3}$)

Pokud je hodnota Wedderburnova čísla větší než 10, lze vliv stratifikace považovat za významný a jednorozměrným modelem budou získány věrohodné výsledky. [53]

Příkladem jednorozměrného modelu stratifikace je model DYRESM, vyvinutý na Center for Water Research, University of Western Australia. Předpokladem pro použití modelu je izotropie

nádrže v podélném i příčném směru. Jednorozměrná situace je poté charakterizována významnou stratifikací, díky níž v nádrži dominuje vertikální pohyb. Model je použitelný pro menší a střední nádrže, kde lze zanedbat vliv zemské rotace, globálního větru způsobeného cirkulací, vnitřních vln a horizontální advekce (je způsobena přítokem a odtokem). [53]

Vstupních dat modelu je velké množství – teplota vzduchu, úhrn krátkovlnného záření na hladině, oblačnost, napětí vodních par, rychlost větru, denní úhrn atmosférických srážek, denní objem přítoku, denní objem odtoku, teplota vody v přítocích a koncentrace rozpuštěných látek v přítocích, vše v denním kroku. Výstupem modelu jsou vertikální profily teploty vody. [53]

5.5. Metodika

Teplotní profily nádrží Josefův Důl a Souš byly měřeny *in situ* ve vertikálním profilu nádrže přístrojem Hydrolab DS3 (Austin, TX, USA) v sezónních cyklech let 1995 - 2017 (Earthwach project „Mountain Waters of Bohemia“), tato data mi byla poskytnuta vedoucím diplomové práce. Sledovány byly profily nádrží s maximální hloubkou, identifikovaných bójemi poblíž odběrných vodárenských věží. Já jsem se zúčastnila letních ambulantních šetření v roce 2018 přístrojem Hydrolab HL4 Sonde. Tento přístroj monitoroval hloubku a teplotu vody, dále hodnoty pH, vodivosti, koncentrace rozpuštěného kyslíku a redox.

Doplňující klimatická data byla převzata ze základních meteorologických stanic ČHMÚ: Desná – Souš (P2DESN01, 772 m n.m.) a Bedřichov – Nová Louka (P2BNLO01, 780 m n.m.) - nejbližší stanice pro zájmové vodní plochy. Soubory klimatických dat zahrnovaly údaje o průměrných denních teplotách vzduchu a denních srážkových úhrnech v období 1951-2018 pro stanici Desná – Souš a 1938-2018 pro stanici Bedřichov – Nová Louka. Tato data byla zpracována a dále analyzována v měsíčních a ročních souborech v softwaru MS Excel, GraphPad-InStat-3.10. a CTPA (Change and Trend Problem Analysis), WMO (2001). Byly analyzovány trendy časových řad s ohledem na klimatický normál 1961 - 1990 a výhled normálu 2071 - 2100.

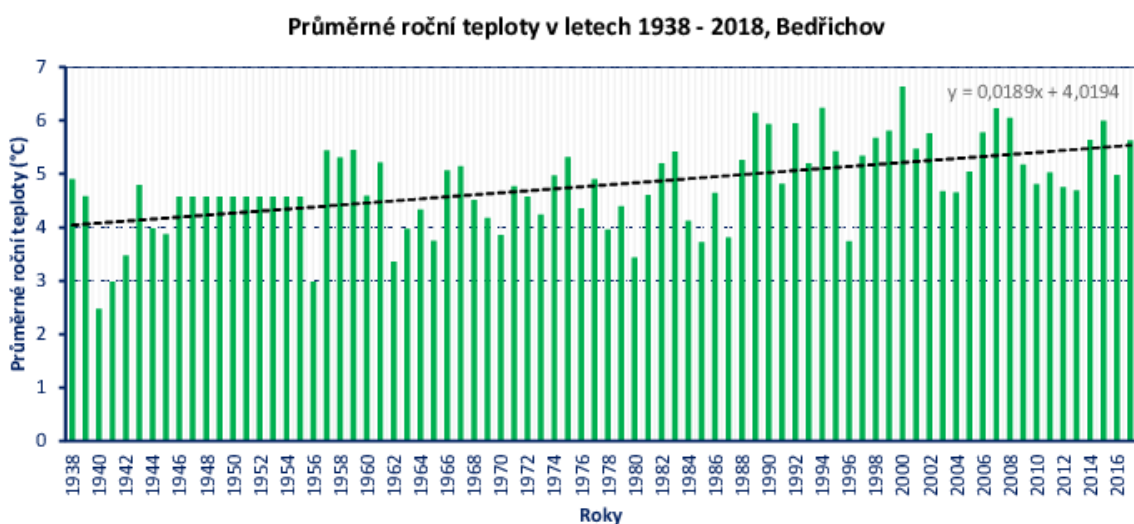
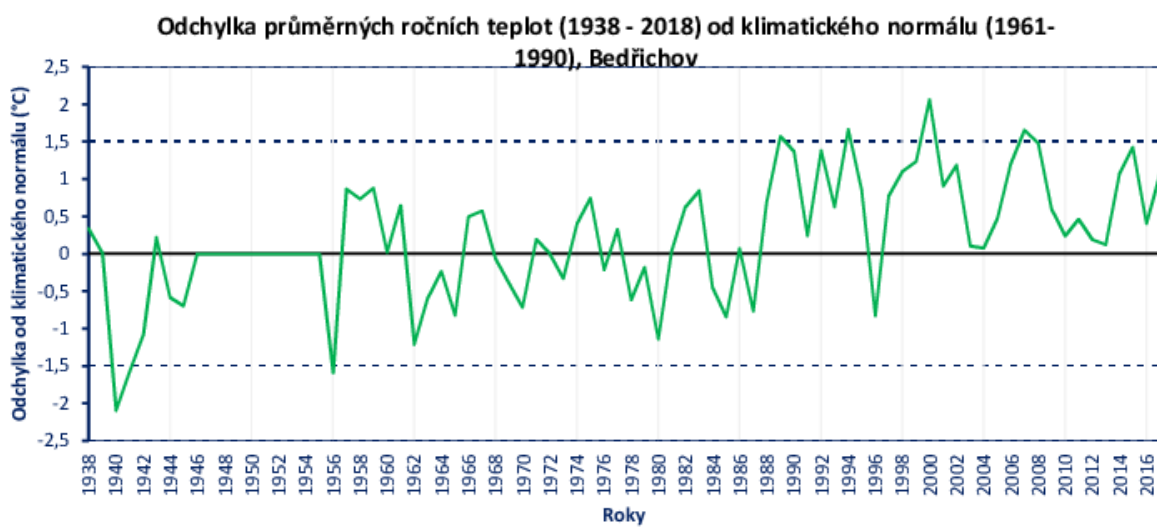
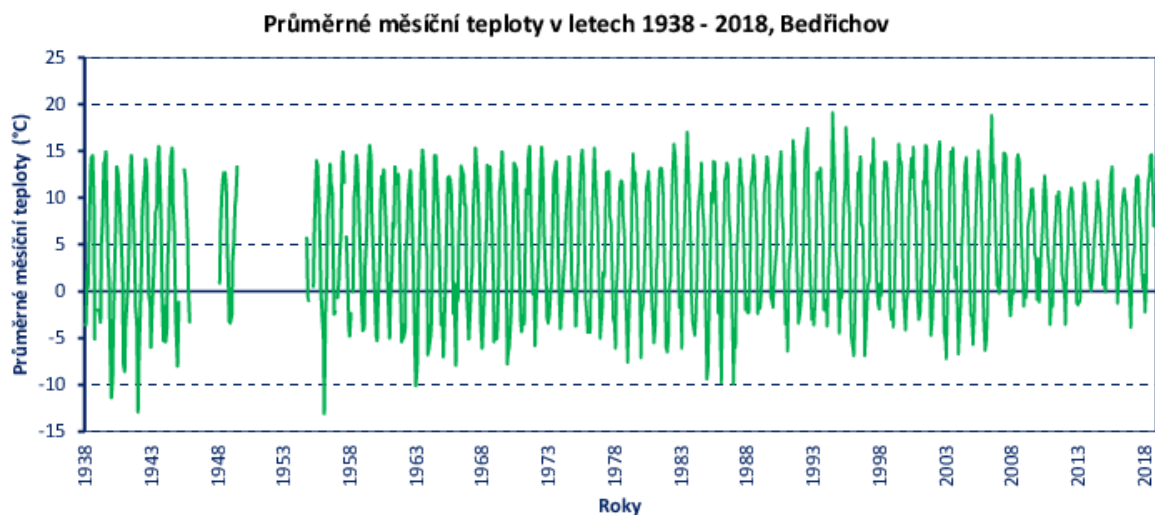
Predikce klimatického normálu 2071 - 2100 byla převzata z volně dostupných dat projektu PRUDENCE s přepočtem podle nadmořské výšky, údaje o přítoku do nádrží byly získány ze studie Vrtiška (2011) [54].

5.6. Dosavadní změny

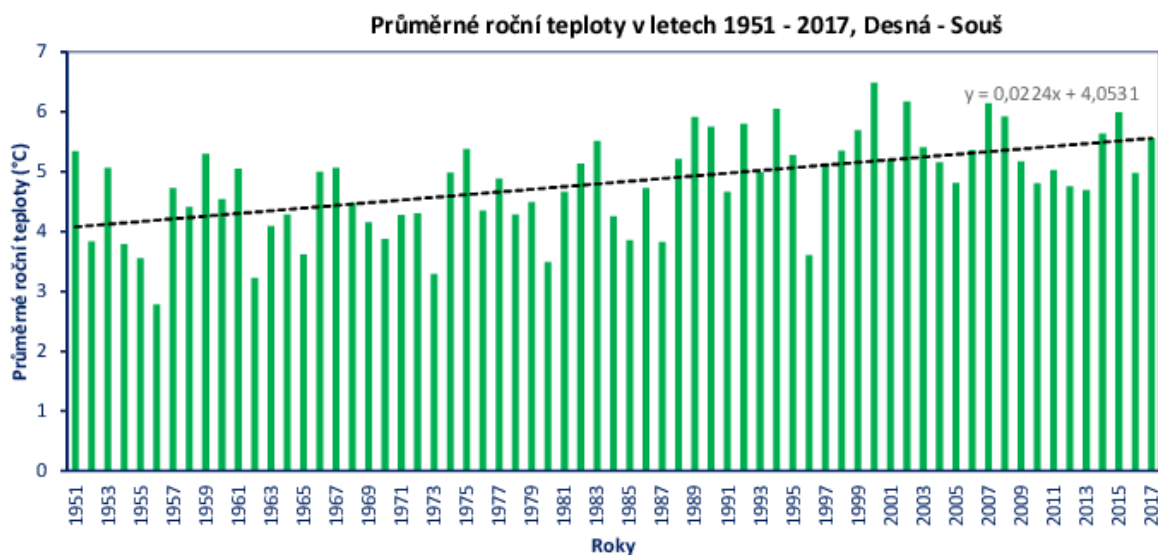
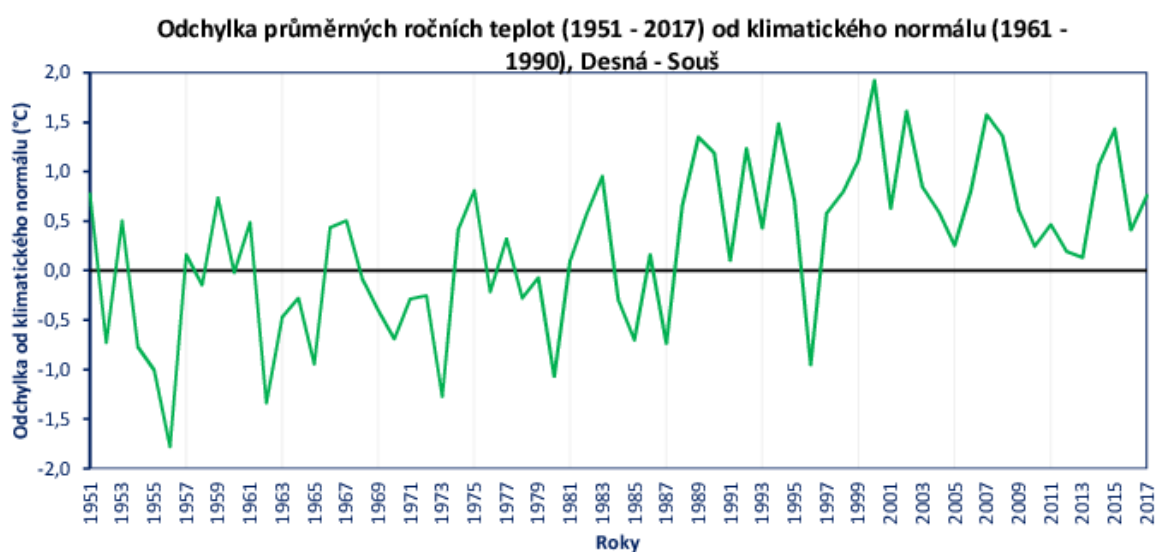
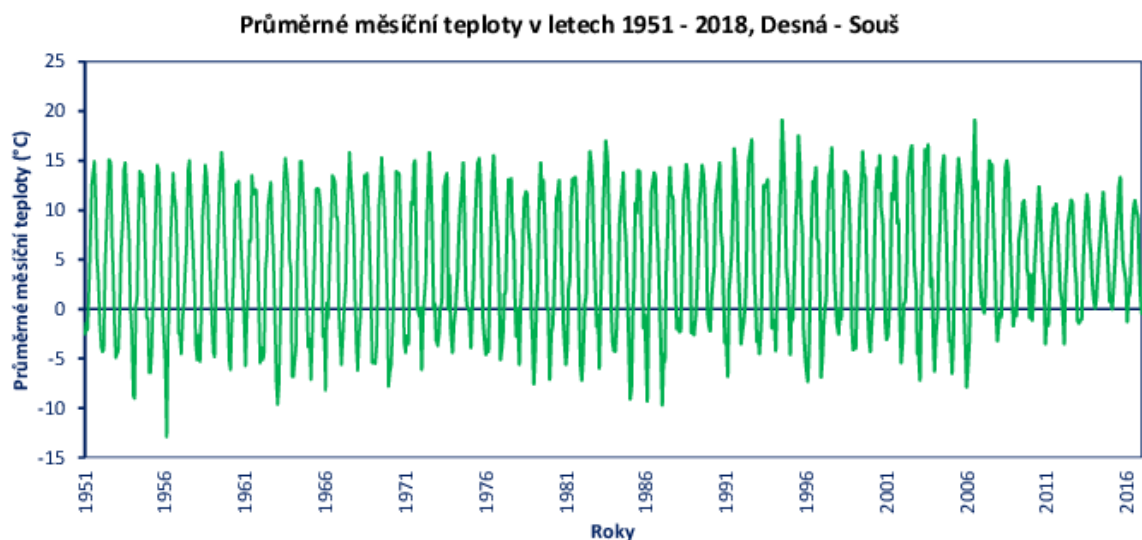
Náplní této kapitoly je popis dosavadních změn z dostupných dat za sledovaná období. V první části jsou popsány změny klimatických charakteristik, pro něž jsou dostupná data z poměrně dlouhé časové řady. Pro posouzení průběhů klimatických charakteristik a možných trendů ve vývoji byly vytvořeny názorné grafy (viz obrázky 23 - 26). Byla též stanovena významnost vzájemného vztahu parametrů pomocí korelačních koeficientů. Stejným způsobem bylo určeno, které veličiny se významně měnily v čase. (viz tabulky 6 a 7).

Dále je kapitola rozdělena na dvě části, v nichž je každá nádrž popisována zvlášť. Byla zde posuzována data naměřená za pozorované období (posledních dvacet let). Data zahrnovala údaje o teplotě (T ($^{\circ}\text{C}$)), reakci vody (pH (-)), elektrolytické konduktivitě (k ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)) a obsahu rozpuštěného kyslíku (DO ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)) v hloubkových úrovních. Za každý rok byla dostupná data z jednoho (z některých let více) měření během letní stratifikace, data z některých let ale nebyla dostupná z důvodu absence měření. Pro data byly zkoumány trendy a vzájemné souvislosti, nicméně je nutné poznamenat, že se jedná o poměrně krátký měřený časový úsek, data jsou dostupná pouze pro jedno (více, nebo žádné) měření v roce, není znám vývoj letní stratifikace v jednotlivých letech ani není pravděpodobné, že byla měřením zachycena nejvýraznější stratifikace v jednotlivých letech. Měřené parametry vykazují značnou variabilitu, a to nejen meziroční, ale i v rámci jednoho roku a měsíce (dle dat s více dostupnými měřeními v roce). Na vývoj a aktuální stav stratifikace během měření má vliv velká řada faktorů (například počasí – oblačnost, srážky, bouřky, přítok, či aktuální stav rozvoje fytoplanktonu). Časový úsek i počet dat je poměrně malý, proto statistická analýza či vyjádření trendů nemusí mít dostatečnou vypovídací hodnotu.

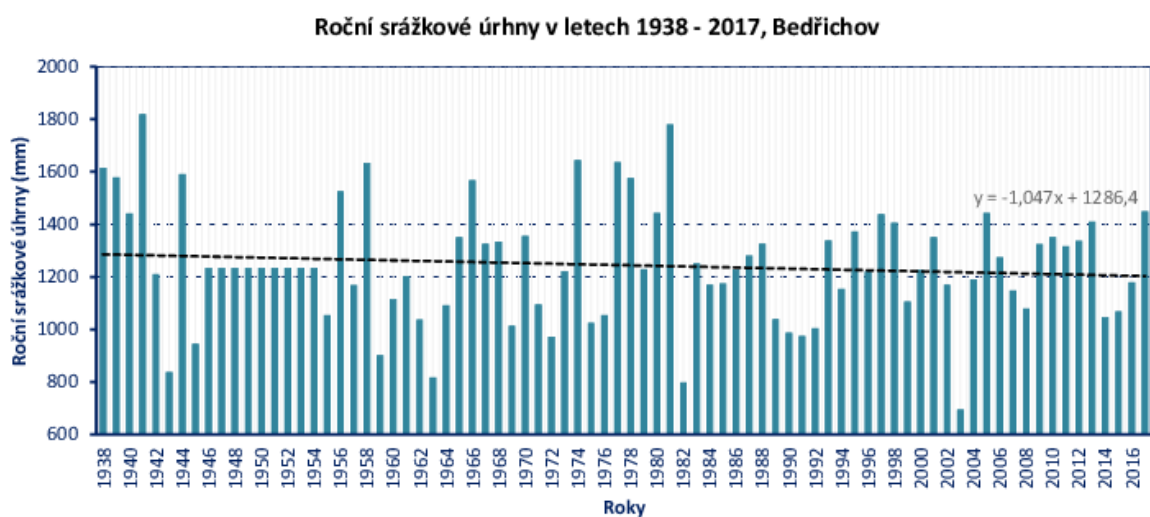
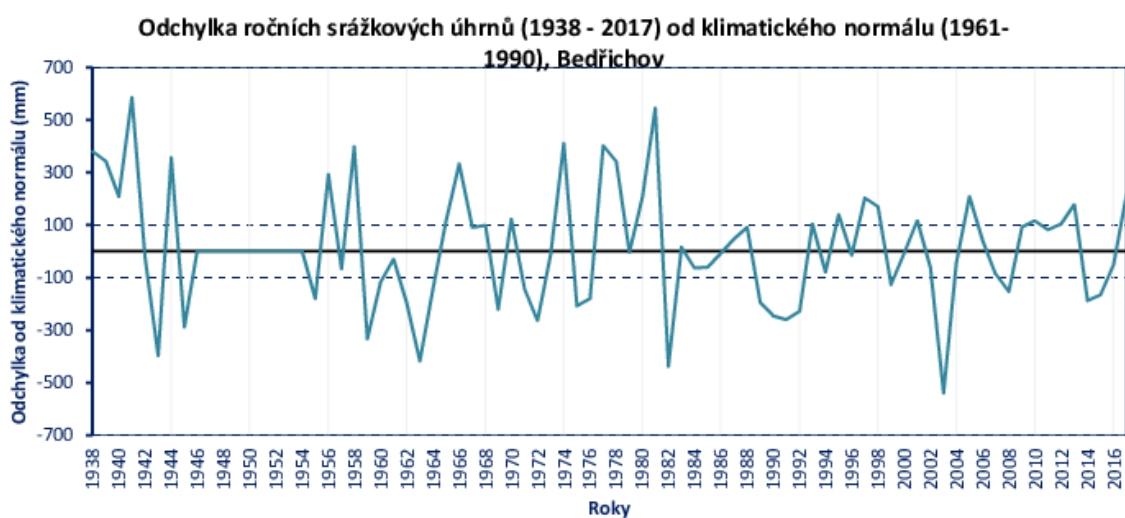
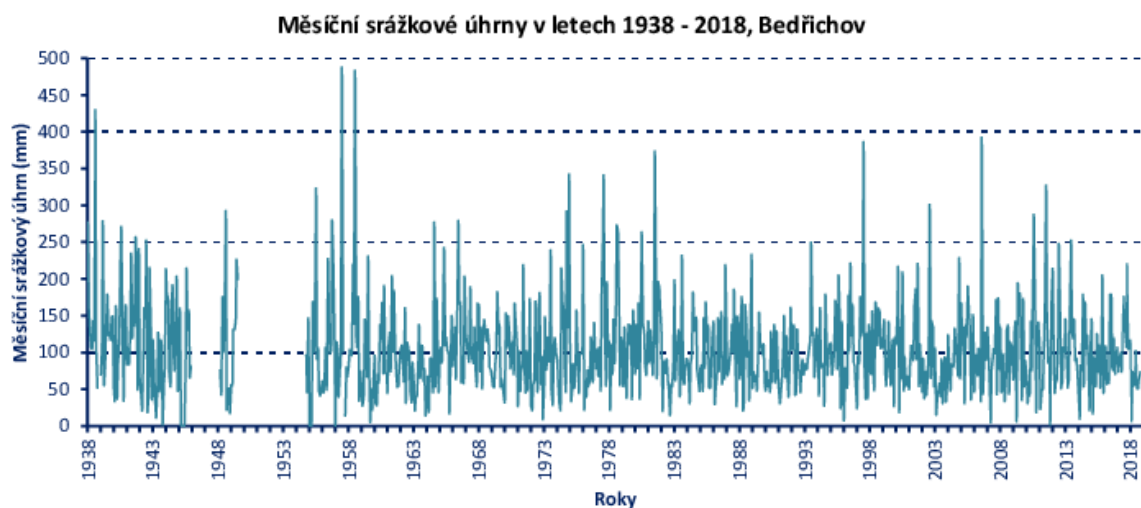
Na obrázcích 23 - 26 jsou graficky znázorněny průběhy klimatických dat za sledované období pro obě vodní nádrže. Z grafů je patrné, že průběh průměrných měsíčních teplot ve sledovaném časovém období vykazuje značnou variabilitu, nicméně v posledním desetiletí lze vypozorovat zjevné snížení amplitudy křivky oproti předchozímu časovému období, také je patrné zvýšení minimálních hodnot. Dále bylo zkoumáno, jak se v čase měnila odchylka průměrných ročních teplot vzduchu od klimatického normálu. Z grafů jasně vyplývá, že v posledních dvaceti letech byla odchylka od klimatického normálu vždy kladná (teploty byly tedy vyšší, než hodnota klimatického normálu). Sloupcovými grafy znázorňujícími průměrné roční teploty vzduchu byly proloženy spojnice trendu (lineární regrese). Směrnice obou přímk vyšly kladné, což znamená rostoucí trend - kladný vztah mezi časem a průměrnou roční teplotou. Měsíční srážkové úhrny znázorněné na grafech vykazují značnou časovou variabilitu a není možné říci, zda sledují nějaký trend. Také odchylky ročních srážkových úhrnů od klimatického normálu nevykazují žádné zjevné změny.



Obrázek 23 – Průměrné měsíční a roční teploty za sledované období (1938-2018), stanice Bedřichov (Josefův důl)

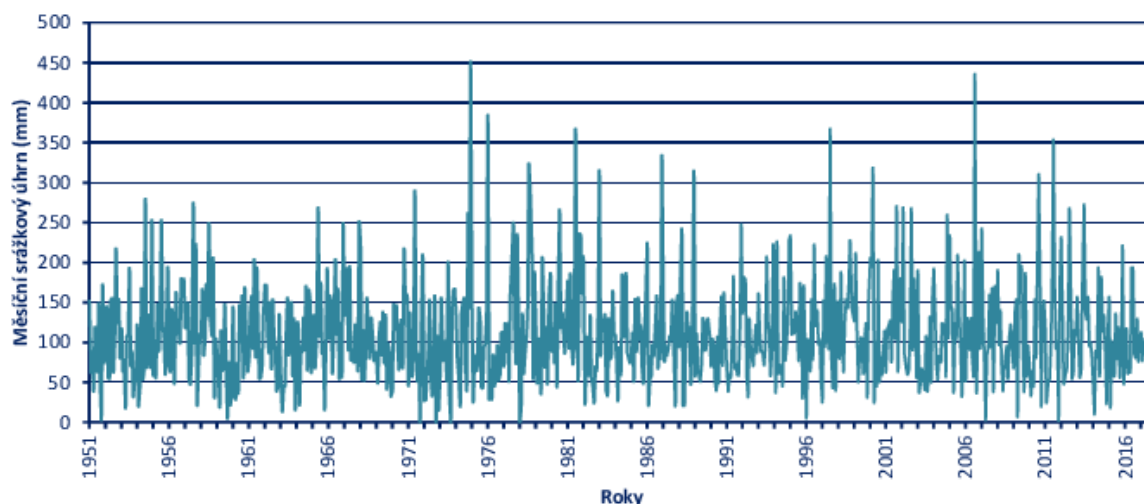


Obrázek 24 - Průměrné měsíční a roční teploty za sledované období (1951-2018), stanice Desná - Souš

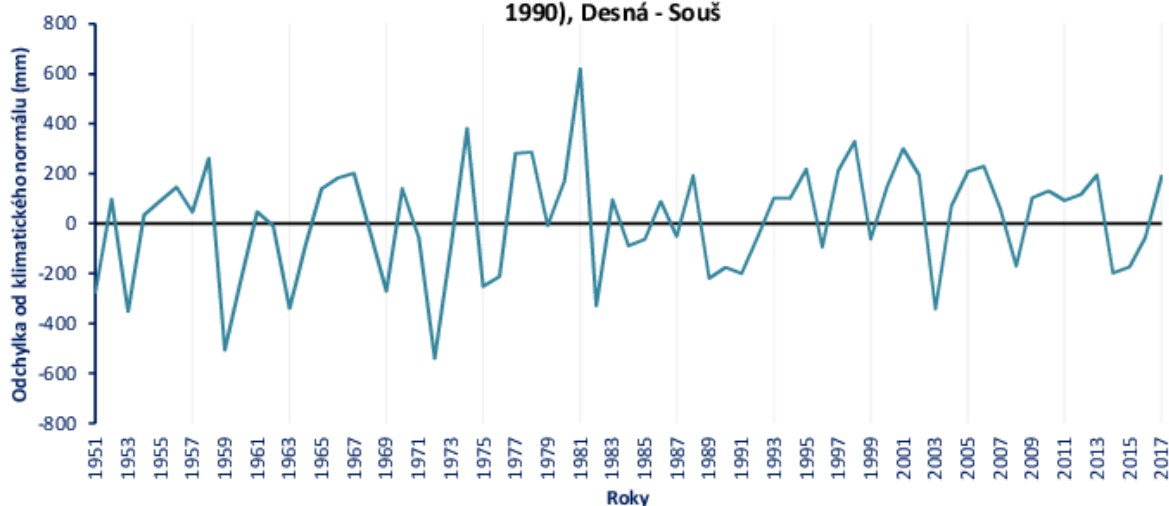


Obrázek 25 – Měsíční a roční srážkové úhrny za pozorované období (1938-2018), stanice Bedřichov (Josefův důl)

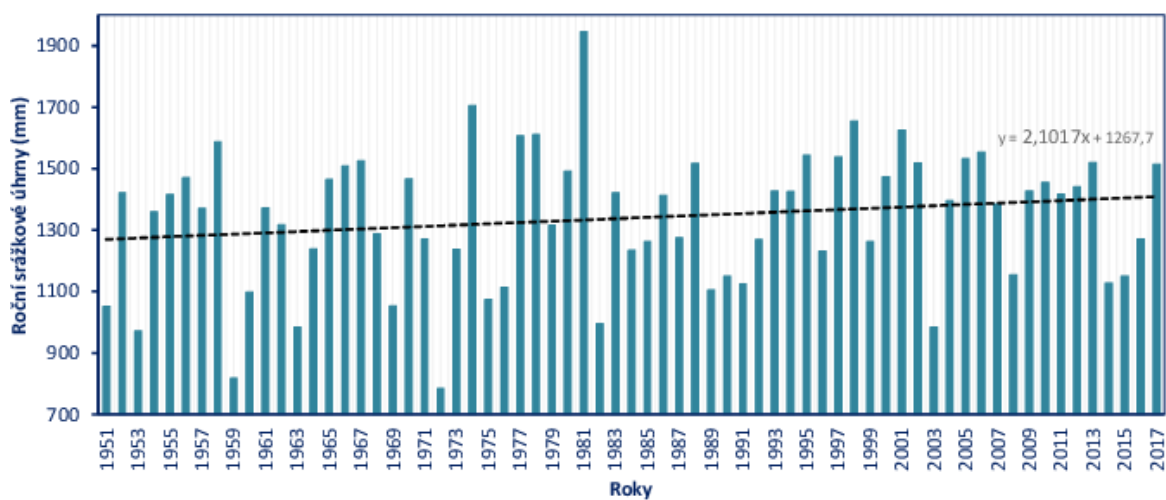
Měsíční srážkové úhrny v letech 1951 - 2017, Desná - Souš



Odchytka ročních srážkových úhrnů (1951 - 2017) od klimatického normálu (1961-1990), Desná - Souš



Roční srážkové úhrny v letech 1951 - 2017, Desná - Souš



Obrázek 26 – Měsíční a roční srážkové úhrny za pozorované období (1951-2017), stanice Desná – Souš

Ze sloupcových grafů ročních srážkových úhrnů také nelze určit jasný trend, neboť pro Bedřichov vyšel mírně záporně a pro Souš naopak kladně. Za účelem lepšího určení možných trendů byly vypočteny korelační koeficienty² mezi klimatickými daty a časem (viz tabulky 6, 7).

Tabulka 6 – Korelační koeficienty pro klimatická data vodní nádrže Souš (1951-2017)

S (1951-2017)		Rok	Roční srážkový úhrn	Průměrná roční teplota vzduchu	Průměrné měsíční teploty (°C)												Zimní období	Vegetační období
		(-)	(mm)	(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	(°C)	(°C)
Rok	(-)	1,0000																
Roční srážkový úhrn	(mm)	0,1866	1,0000															0,2391
Průměrná roční teplota vzduchu	(°C)	0,5462	-0,0174	1,0000														0,05
Průměrné měsíční teploty (°C)	1	0,4777	0,1053	0,4609	1,0000													67
	2	0,3992	0,1052	0,5881	0,4053	1,0000												66
	3	0,4333	-0,0326	0,5842	0,4514	0,4264	1,0000											
	4	0,4452	-0,0332	0,5663	0,3833	0,3925	0,3757	1,0000										
	5	0,2930	0,0277	0,5171	0,0333	0,0844	0,1289	0,2241	1,0000									
	6	-0,1889	-0,1067	0,2715	-0,3369	-0,0637	-0,0849	-0,0173	0,4447	1,0000								
	7	-0,0907	-0,1716	0,2578	-0,1657	-0,1506	-0,2031	-0,0976	0,2711	0,4031	1,0000							
	8	-0,0811	-0,0458	0,2956	-0,1313	-0,0381	-0,0502	-0,1433	0,5062	0,4552	0,4858	1,0000						
	9	-0,0904	0,0172	0,2435	-0,2496	-0,2118	-0,1194	0,0081	0,0726	0,2310	0,3283	0,1909	1,0000					
	10	0,0446	0,1704	0,1620	-0,1889	-0,0153	-0,1163	0,1003	0,0770	0,1006	0,0458	-0,0959	0,2747	1,0000				
	11	0,3086	-0,2447	0,3385	0,0864	0,1979	0,2014	0,1844	-0,0774	-0,0072	-0,0747	-0,1575	0,0125	0,0388	1,0000			
	12	0,3388	-0,0037	0,3279	0,2593	0,1953	0,3429	0,1280	-0,0012	-0,2828	-0,2168	-0,2208	0,0005	-0,1807	0,1866	1,0000		
Zimní období	(°C)	0,6125	0,0620	0,6401	0,7727	0,7350	0,7021	0,6340	0,0735	-0,2936	-0,2481	-0,1944	-0,2563	-0,0956	0,1705	0,3619	1,0000	
Vegetační období	(°C)	-0,0302	-0,0303	0,4729	-0,2817	-0,1144	-0,1263	0,0203	0,6286	0,6965	0,7019	0,6752	0,5930	0,3870	-0,0702	-0,2390	-0,2767	1,0000
Měsíční srážkové úhrny (mm)	1	0,1500	0,0384	0,2849	0,1291	0,0148	-0,0076	0,2313	0,1893	0,2006	0,1818	0,1623	0,1778	0,1829	0,0709	-0,0438	0,1171	0,2975
	2	0,0787	0,4154	0,1204	-0,0369	0,2726	-0,1735	0,1000	0,2527	0,1568	0,0840	0,2562	-0,0116	0,0870	-0,2232	-0,1581	-0,0008	0,2162
	3	0,1328	0,4269	0,3480	0,1152	0,2168	0,0488	0,1730	0,2003	0,2230	0,1598	0,1522	0,2176	0,3067	-0,0418	-0,0766	0,1080	0,3421
	4	-0,2165	0,1314	-0,3804	-0,4073	-0,2994	-0,1533	-0,5671	-0,0892	-0,0034	0,0456	0,1072	0,0572	0,0261	-0,2887	-0,0624	-0,3814	0,0398
	5	-0,0781	0,1389	-0,1763	0,0650	0,0420	-0,1394	0,1582	-0,3958	-0,3075	-0,0976	-0,2795	-0,0321	-0,0075	0,0646	-0,0684	0,0519	-0,2931
	6	0,0112	0,1136	-0,2113	-0,0536	0,0492	-0,0669	-0,0529	-0,1450	-0,4314	-0,2921	-0,1960	-0,0482	-0,1040	-0,1150	0,2483	0,0381	-0,3241
	7	0,0948	0,4423	-0,1524	0,0522	0,0852	0,1481	-0,0546	-0,1079	-0,1185	-0,5359	-0,2442	-0,1376	-0,0234	-0,0717	0,0737	0,0842	-0,3263
	8	0,2003	0,4153	0,0605	0,0823	-0,0095	-0,0627	0,0284	-0,0391	-0,0340	0,1017	-0,2687	0,0253	0,2178	0,2151	0,0181	0,0208	0,0101
	9	0,0258	0,2529	-0,1001	0,1207	0,0884	-0,0373	0,0446	-0,0525	-0,1129	-0,0947	-0,1046	-0,1895	0,1300	-0,1637	-0,2297	0,1311	-0,1175
	10	0,0867	0,4064	0,0200	0,0658	0,0291	0,1315	-0,1450	0,0918	0,0130	-0,1552	0,0123	-0,0026	-0,1181	0,0570	0,0420	-0,0142	-0,0480
	11	0,1014	0,2530	0,0573	-0,0162	0,0358	-0,0357	-0,0480	0,1065	0,1129	0,2298	0,2282	-0,0898	-0,0122	-0,1063	-0,0744	0,0187	0,1524
	12	-0,0447	0,4513	-0,0808	0,0710	-0,1674	0,0706	-0,1301	0,0063	-0,1302	-0,1081	0,0728	0,0849	-0,0672	-0,3554	0,2068	-0,0782	-0,0373
Zimní období	(°C)	0,1038	0,3559	0,3011	0,0282	0,1774	-0,1308	0,0190	0,2377	0,2369	0,3647	0,3666	0,3991	0,2453	-0,2710	-0,1331	-0,0110	0,5064
Vegetační období	(°C)	0,1491	0,6967	-0,1921	0,1273	0,1054	0,0186	-0,0232	-0,2131	-0,3299	-0,4222	-0,4012	-0,1449	0,0436	0,0035	0,0367	0,1161	-0,3964

Z obou tabulek je patrné, že některé klimatické veličiny se významně mění v čase (zeleně zabarvené). K nejvýznamnějším změnám dochází u průměrných teplot za zimní období, které se významně zvyšují. Rostoucí trend má také průměrná roční teplota vzduchu a kladné trendy lze pozorovat rovněž u všech zimních měsíců. Naopak u ročních ani měsíčních srážkových úhrnů nedochází k žádným výrazným změnám. Trendy ve vývoji průměrných teplot v každém měsíci jsou graficky zpracovány v příloze A.2 a A.3.

² Korelační koeficient slouží k posouzení významnosti vzájemného stavu dvou veličin, podmínkou ovšem je, že je mezi veličinami lineární vztah. Korelační koeficient poté vyjadřuje odchylky jednotlivých bodů o souřadnicích (x, y) od lineárního trendu, nabývá hodnot od -1 do 1, přičemž hodnota 1 (-1) značí úplný lineární vztah mezi veličinami (přímou úměrnost s kladnou nebo zápornou směrnici přímky) a hodnota 0 znamená, že mezi veličinami není žádná lineární souvislost. K určení významnosti vzájemného vztahu se využívá kritická hodnota, kterou lze získat z tabulek v závislosti na zvolené hladině významnosti a počtu datových řad. [55]

Tabulka 7 - Korelační koeficienty pro klimatická data vodní nádrže Josefův důl (1938-2017)

JD (1938-2017)	Rok	Roční srážkový úhrn (mm)	Průměrná roční teplota vzduchu (°C)	Průměrné měsíční teploty (°C)												Zimní období (°C)	Vegetační období (°C)	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Rok	(-)	1,0000																
Roční srážkový úhrn	(mm)	-0,1091	1,0000															
Průměrná roční teplota vzduchu	(°C)	0,5397	-0,2051	1,0000														
Průměrné měsíční teploty (°C)	1	0,5160	0,0135	0,5935	1,0000													
	2	0,3483	0,0058	0,6338	0,4365	1,0000												
	3	0,2988	-0,0859	0,5844	0,4608	0,4809	1,0000											
	4	0,4091	-0,1793	0,4924	0,3816	0,3654	0,2579	1,0000										
	5	0,3420	-0,2181	0,5197	0,1177	0,0968	0,1266	0,2981	1,0000									
	6	-0,0414	-0,0767	0,2572	-0,1735	-0,0012	-0,1231	0,0358	0,3779	1,0000								
	7	-0,0376	-0,2127	0,3194	-0,0320	-0,1123	-0,0994	-0,0876	0,2584	0,3675	1,0000							
	8	-0,0716	-0,2090	0,3471	0,0204	0,0373	0,0102	-0,0777	0,4268	0,3286	0,4639	1,0000						
	9	-0,1716	-0,1554	0,1441	-0,2113	-0,2067	-0,0971	-0,0368	0,0849	0,1923	0,3790	0,2575	1,0000					
	10	0,1347	-0,0890	0,1097	-0,1561	0,0497	-0,2127	0,2554	0,1834	-0,0578	0,0801	-0,0395	0,1516	1,0000				
	11	0,3696	-0,2764	0,2670	0,0859	0,1376	0,2186	0,2039	-0,0193	0,0592	-0,1078	-0,2324	-0,1969	-0,0466	1,0000			
	12	0,4462	0,0053	0,4013	0,2939	0,2409	0,3731	0,1354	0,1089	-0,2612	-0,1427	-0,1361	-0,0475	-0,1370	0,1508	1,0000		
Zimní období	(°C)	0,6235	-0,0733	0,7364	0,7947	0,7721	0,7196	0,6220	0,1605	-0,1950	-0,1417	-0,0819	-0,2466	-0,0510	0,1810	0,4225	1,0000	
Vegetační období	(°C)	0,0694	-0,2668	0,4445	-0,1280	-0,0440	-0,1205	0,1278	0,6813	0,5460	0,6755	0,6656	0,5493	0,4149	-0,1583	-0,1505	-0,1405	1,0000
Měsíční srážkové úhrny (mm)	1	0,0892	0,1856	0,0809	0,2081	-0,0641	0,0124	0,0149	0,0035	0,0031	0,0240	0,0268	0,0189	-0,1585	0,0243	0,0517	0,1029	-0,0022
	2	-0,1073	0,3788	0,0131	0,0222	0,2171	-0,1406	-0,0029	-0,0092	0,1088	-0,0821	0,1117	0,0842	-0,0347	-0,2907	-0,1002	0,0185	0,0291
	3	-0,0667	0,4420	0,1639	0,1395	0,1082	-0,0985	0,2258	0,0328	0,3235	0,0601	0,1006	0,0897	0,0512	-0,0392	-0,1404	0,0673	0,1607
	4	-0,1382	0,2268	-0,1947	-0,2017	-0,1941	-0,0362	-0,5061	-0,1285	-0,0361	0,1142	0,1142	0,0376	-0,0941	-0,2714	0,0785	-0,2529	0,0125
	5	-0,1451	0,3194	-0,1639	-0,0582	-0,0512	-0,0450	0,0474	-0,3226	-0,2353	-0,1163	-0,2158	-0,0175	0,0227	0,0436	-0,0186	-0,0607	-0,2370
	6	-0,0353	0,3729	-0,1131	-0,0337	0,0545	-0,0517	-0,0899	-0,0646	-0,3875	-0,1886	-0,0446	-0,0327	0,0923	-0,2419	0,1597	0,0026	-0,1525
	7	-0,0879	0,4324	-0,0423	0,0130	0,1073	0,1499	-0,1682	-0,1164	-0,0640	-0,3375	-0,1613	-0,0634	-0,0228	-0,0483	0,0109	0,0498	-0,2896
	8	-0,0979	0,2965	-0,0654	-0,0305	-0,0565	0,0106	-0,0360	-0,0402	0,1284	0,1507	-0,2470	-0,1450	-0,2066	0,1510	-0,1129	-0,0421	-0,0889
	9	-0,0096	0,2972	-0,1804	-0,0163	0,0736	-0,0626	-0,0443	-0,1531	-0,0919	-0,0652	-0,1590	-0,3823	0,1297	-0,1987	-0,2171	0,0398	-0,1762
	10	-0,1002	0,3988	-0,1627	-0,0871	-0,0726	0,0230	-0,1888	-0,0720	-0,0747	-0,1850	-0,0718	0,0094	-0,1819	-0,0484	0,1620	-0,1404	-0,1352
	11	0,0490	0,2842	-0,0671	0,0063	-0,0714	-0,1596	-0,0749	0,0088	0,0975	0,0765	0,0946	-0,1014	0,0139	-0,1538	-0,0317	-0,0753	0,0563
	12	-0,0114	0,5082	-0,1010	0,0898	-0,0349	0,0113	-0,0621	-0,0889	-0,1116	-0,1039	-0,1107	-0,0577	-0,1533	-0,2683	0,1755	-0,0265	-0,1558
Zimní období	(°C)	0,0432	0,4334	0,0939	0,0491	0,1159	-0,1171	-0,0641	-0,0246	0,1709	0,1098	0,0487	0,2496	0,2161	-0,2822	0,0173	-0,0238	0,1761
Vegetační období	(°C)	-0,1589	0,8250	-0,2574	-0,0746	0,0150	0,0088	-0,2124	-0,2602	-0,2159	-0,2993	-0,3476	-0,2244	-0,1023	-0,1036	-0,0019	-0,0639	-0,4036

kritická hodnota 0,2187
hladina významnosti 0,05
počet řádků 80
n-1 79

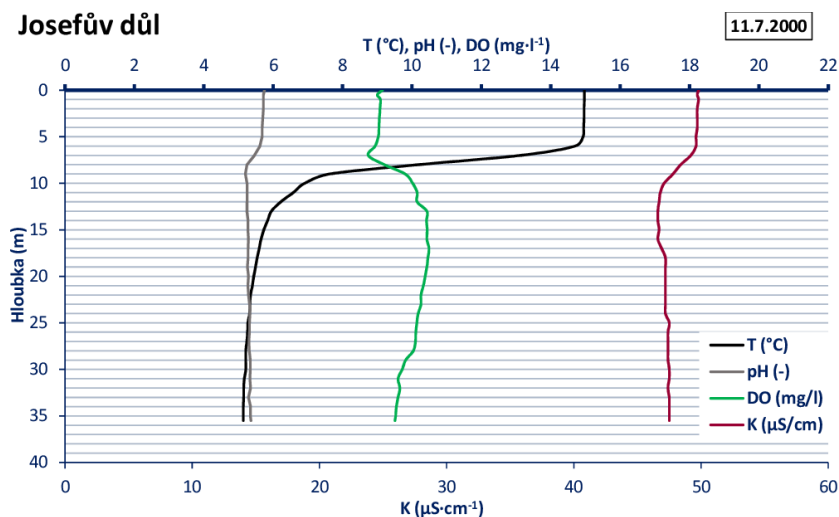
Dále budou popsány výsledky analýzy naměřených dat za pozorované období pro každou nádrž zvlášť.

5.6.1. Josefův důl

Pro nádrž Josefův důl byla analyzována data z celkem 32 měření (zahrnuje více měření v roce). Pro statistickou analýzu byla vyřazena data, která nereprezentovala významnou letní stratifikaci, celkem bylo použito 24 datových řad. Vstupními daty pro analýzu byly hodnoty teploty, pH, elektrolytické konduktivity a rozpuštěného kyslíku v hloubkových úrovních z jednotlivých měření. Pro každé měření byla podle konkrétního měsíce přiřazena klimatická data, aby bylo možné posuzovat souvislosti mezi stratifikací a klimatickými veličinami (viz tabulka 8). Pro jednotlivá měření byly sestrojeny grafy znázorňující stratifikaci teploty, pH, konduktivity a rozpuštěného kyslíku ve vertikálním profilu nádrže. Na obrázku 27 je příklad stratifikace těchto veličin z roku 2000. Z let, kdy bylo provedeno více měření, byly rovněž vytvořeny grafy za účelem porovnání variability v rámci jednoho vegetačního období. Vzorovým příkladem je obrázek 28 se znázorňující teplotní profily z roku 2018, kdy bylo provedeno nejvíce měření (celkem 5). Všechny grafy s roky, ve kterých bylo provedeno více měření jsou v příloze A.1.1 (Josefův důl) a A.1.2 (Souš).

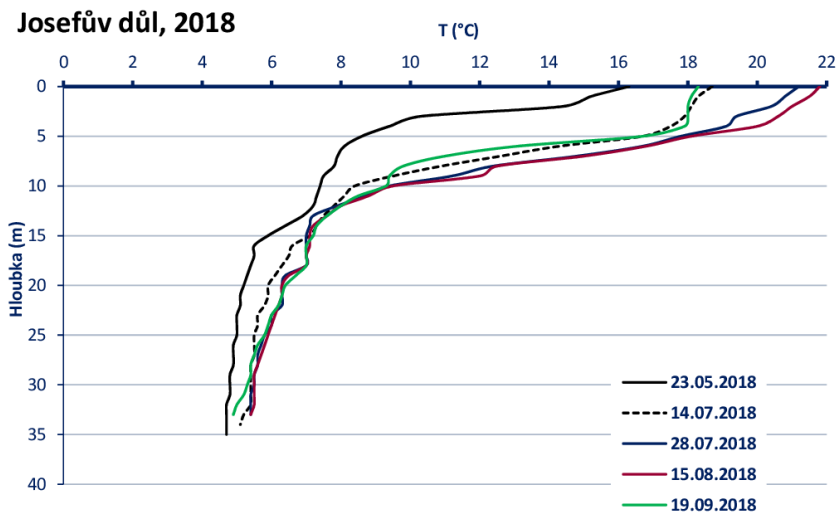
Tabulka 8 – Klimatická data odpovídající jednotlivým měřením, Josefův důl

Den	Rok	Průměrná měsíční teplota vzduchu (°C)	Měsíční srážkový úhrn (mm)	Průměrná teplota za zimní období (°C)	Průměrná teplota veg. období (°C)	Průměrné srážkové úhrny za zimní období (mm)	Průměrné srážkové úhrny za vegetační období (mm)	Průměrná roční teplota vzduchu (°C)	Roční srážkový úhrn (mm)
22.8.	1995	15,1	205,0	0,35	11,98	95,42	132,85	5,4	1371,9
24.7.	1996	12,5	221,1	-3,25	10,42	69,97	145,83	3,7	1217,8
12.7.	1999	15,7	91,3	-0,62	11,95	98,87	97,22	5,8	1104,7
11.7.	2000	12,2	208,8	0,00	12,32	106,40	100,53	6,6	1224,5
25.7.	2000	12,2	208,8	0,00	12,32	106,40	100,53	6,6	1224,5
29.5.	2001	11,8	89,0	0,18	12,12	79,60	134,18	5,5	1348,9
28.6.	2002	13,7	63,5	-0,55	11,67	74,27	121,37	5,8	1169,0
17.7.	2003	14,1	91,0	-2,15	11,08	66,58	65,23	4,7	692,7
17.6.	2004	11,6	80,4	-1,13	10,55	71,08	93,42	4,7	1187,9
30.6.	2004	11,6	80,4	-1,13	10,55	71,08	93,42	4,7	1187,9
25.7.	2005	15,0	190,3	-1,13	11,57	122,48	129,48	5,0	1441,4
6.7.	2007	14,6	104,6	2,25	11,47	87,75	97,50	6,2	1146,4
25.6.	2008	14,2	61,8	-0,03	11,40	100,78	86,85	6,1	1078,1
23.7.	2010	12,3	195,8	1,83	8,36	57,38	146,63	4,8	1349,5
21.7.	2011	9,9	327,4	0,78	8,67	83,13	152,24	5,0	1314,3
16.7.	2013	11,6	127,0	0,42	8,68	92,57	148,92	4,7	1409,1
18.7.	2014	11,8	168,3	2,29	8,79	63,24	119,09	5,6	1045,0
22.7.	2015	12,4	73,4	2,22	9,39	72,93	83,13	6,0	1066,4
18.7.	2016	11,0	179,0	2,09	8,86	94,86	115,01	5,0	1178,1
25.7.	2017	12,3	176,0	0,87	9,98	90,02	142,55	5,6	1447,0
14.7.	2018	14,5	50,5	1,97	11,79	78,54	65,79		
28.7.	2018	14,5	50,5	1,97	11,79	78,54	65,79		
15.8.	2018	14,6	50,5	1,97	11,79	78,54	65,79		
19.9.	2018	10,4	62,7	1,97	11,79	78,54	65,79		



Obrázek 27 – Příklad letní stratifikace vodní nádrže Josefův důl, 11.7.2000

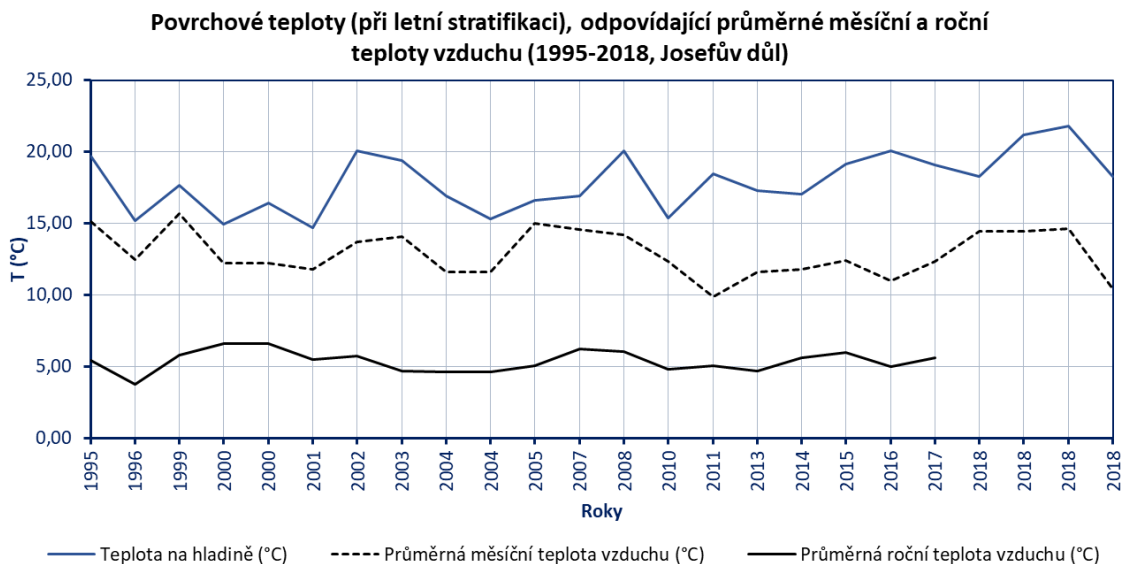
Na obrázku 27 je znázorněna výrazná teplotní stratifikace následovaná stratifikací pH, konduktivity a inverzní stratifikací rozpuštěného kyslíku ve vertikálním profilu nádrže Josefův důl.



Obrázek 28 – Příklad průběhu stratifikace ve vegetačním období, Josefův důl, 2018

Z obrázku 28 je možné sledovat vývoj stratifikace ve vegetačním období roku 2018. Tento graf reprezentuje vzorový průběh vývoje teplotní stratifikace, který nemusí být shodný pro všechny roky. Nicméně obecně nejspíše platí, že na konci května se začíná utvářet teplotní stratifikace, která svého vrcholu dosahuje na konci července či začátkem srpna. Mezi těmito dvěma fázemi dochází k výraznému ohřívání a prohlubování epilimnia. Grafy stratifikace byly podkladem pro stanovení parametrů stratifikace pro jednotlivá měření, tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 9.

Na obrázku 29 jsou průběhy povrchové teploty vody a odpovídající průměrné měsíční a roční teploty vzduchu.

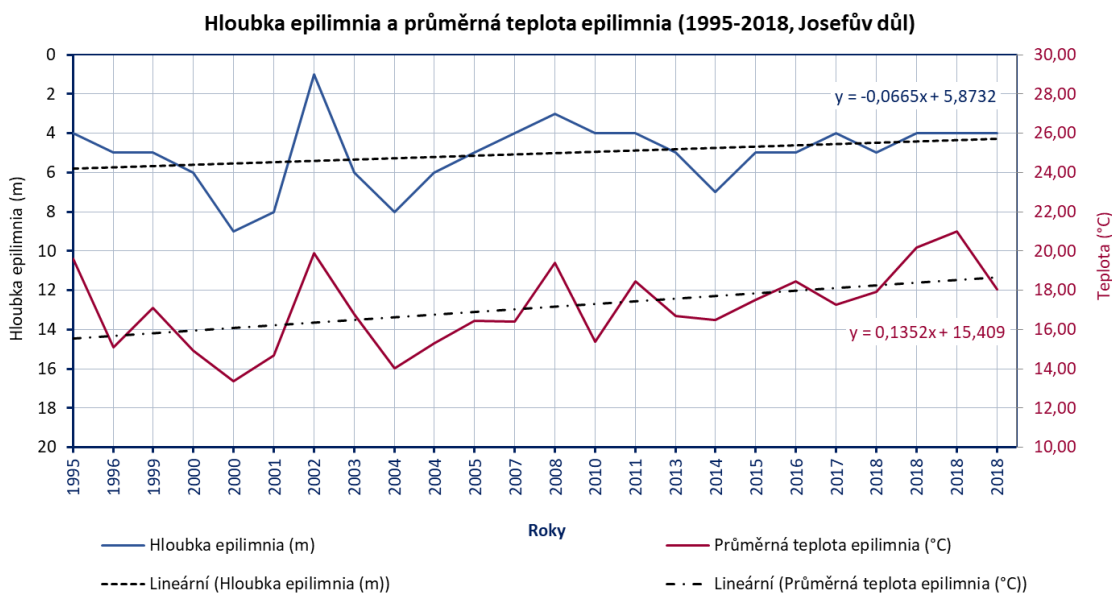


Obrázek 29 – Povrchové teploty (při letní stratifikaci), odpovídající průměrné měsíční a roční teploty vzduchu (1995-2018, Josefův důl)

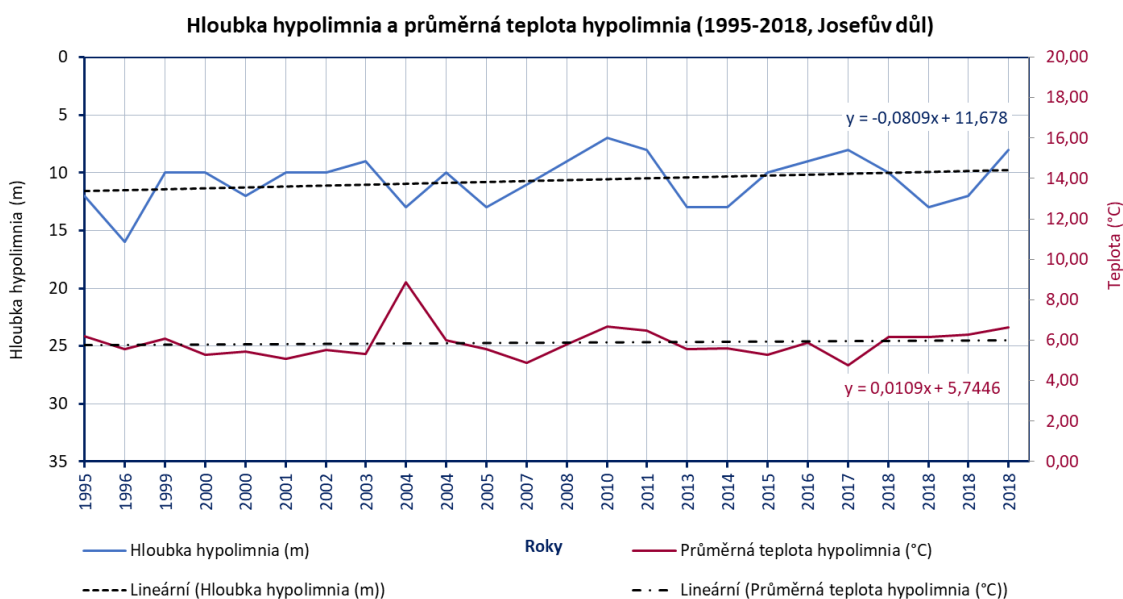
Tabulka 9 - Parametry stratifikace určené pro pozorované období (1995-2018), Josefův důl

den	rok	Povrchová teplota	Hloubka epilimnia	Průměrná teplota epilimnia	Hloubka skočné vrstvy	Hloubka počátku hypolimnia	Průměrná teplota hypolimnia
(-)	(-)	(°C)	(m)	(°C)	(m)	(m)	(°C)
Josefův důl (1995-2018)							
22.8.	1995	19,69	4,00	19,60	8,00	12,00	6,21
24.7.	1996	15,20	5,00	15,11	11,00	16,00	5,56
27.5.	1999	15,45	2,00	14,32	1,00	3,00	6,28
12.7.	1999	17,65	5,00	17,10	5,00	10,00	6,08
21.7.	1999	20,85	1,00	20,71	11,00	12,00	6,05
11.7.	2000	14,97	6,00	14,94	4,00	10,00	5,28
25.7.	2000	16,45	9,00	13,36	3,00	12,00	5,46
29.5.	2001	14,71	8,00	14,68	2,00	10,00	5,07
27.7.	2001	16,00	9,00	13,46	5,00	14,00	5,14
3.6.	2002	15,20	4,00	14,75	6,00	10,00	5,90
28.6.	2002	20,10	1,00	19,88	9,00	10,00	5,52
3.6.	2003	15,20	4,00	14,75	6,00	10,00	5,90
17.7.	2003	19,38	6,00	16,77	3,00	9,00	5,33
17.7.	2003	20,32	6,00	17,06	3,00	9,00	5,51
17.7.	2003	20,72	6,00	16,98	4,00	10,00	5,64
17.6.	2004	16,90	8,00	14,02	5,00	13,00	8,87
30.6.	2004	15,30	6,00	15,28	4,00	10,00	6,02
25.7.	2005	16,62	5,00	16,44	8,00	13,00	5,56
6.7.	2007	16,95	4,00	16,38	7,00	11,00	4,87
25.6.	2008	20,10	3,00	19,40	6,00	9,00	5,82
23.7.	2010	15,40	4,00	15,39	3,00	7,00	6,68
21.7.	2011	18,48	4,00	18,47	4,00	8,00	6,48
16.7.	2013	17,26	5,00	16,69	8,00	13,00	5,57
18.7.	2014	17,05	7,00	16,50	6,00	13,00	5,60
22.7.	2015	19,12	5,00	17,50	5,00	10,00	5,27
18.7.	2016	20,10	5,00	18,47	4,00	9,00	5,88
25.7.	2017	19,10	4,00	17,27	4,00	8,00	4,76
23.5.	2018	16,30	2,00	15,28	3,00	5,00	5,81
14.7.	2018	18,30	5,00	17,90	5,00	10,00	6,15
28.7.	2018	21,20	4,00	20,19	9,00	13,00	6,16
15.8.	2018	21,80	4,00	21,00	8,00	12,00	6,29
19.9.	2018	18,30	4,00	18,05	4,00	8,00	6,65
PRŮMĚR		17,82	4,84	16,80	5,44	10,28	5,85

Obrázky 30 a 31 zachycují časový průběh hloubky epilimnia, hypolimnia a jejich průměrných teplot. Křivkami byly lineární regresí proloženy přímky, které určují kladný nebo záporný lineární trend.



Obrázek 30 – Hloubka epilimnia a průměrná teplota epilimnia (1995-2018, Josefův důl)



Obrázek 31 – Hloubka hypolimnia a průměrná teplota hypolimnia (1995-2018, Josefův důl)

Byla provedena statistická analýza vzájemné souvislosti klimatických dat s charakteristikami stratifikace pomocí korelačních koeficientů. Následující tabulky obsahují korelační koeficienty pro určení vzájemných vztahů jednotlivých parametrů. Zeleně znázorněné hodnoty jsou statisticky významné.

Tabulka 10 - Hodnoty korelačních koeficientů (vzájemný vztah mezi parametry teplotní stratifikace a klimatickými parametry), Josefův důl (1995-2018, hladina významnosti 0,05, kritická hodnota 0,3976, počet řad (n-1) = 23)

1995-2018		Rok	Hloubka epilimnia	Hloubka skočné vrstvy	Hloubka počátku hypolimnia	Úroveň dna	Hloubka hypolimnia	Povrchová teplota	Průměrná teplota epilimnia	Průměrná teplota hypolimnia
		(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(°C)	(°C)	(°C)
Rok	(-)	1,0000								
Hloubka epilimnia	(m)	-0,2498	1,0000							
Hloubka skočné vrstvy	(m)	-0,0725	-0,4757	1,0000						
Hloubka počátku hypolimnia	(m)	-0,2793	0,2828	0,7092	1,0000					
Úroveň dna	(m)	-0,2186	-0,2186	0,4291	0,2927	1,0000				
Hloubka hypolimnia	(m)	0,0563	-0,4222	-0,2474	-0,6083	0,5810	1,0000			
Povrchová teplota	(°C)	0,4825	-0,5553	0,2889	-0,1301	-0,1653	-0,0264	1,0000		
Průměrná teplota epilimnia	(°C)	0,4488	-0,7678	0,4240	-0,1530	-0,1769	-0,0166	0,8912	1,0000	
Průměrná teplota hypolimnia	(°C)	0,0626	0,1151	-0,0294	0,0602	-0,2562	-0,2639	0,0591	-0,0120	1,0000
Průměrná měsíční teplota vzduchu	(°C)	-0,2187	-0,3012	0,4359	0,2338	0,1162	-0,1026	0,3306	0,3594	-0,1759
Měsíční srážkový úhrn	(mm)	-0,2752	0,1288	-0,0814	0,0144	0,3252	0,2577	-0,3365	-0,2786	-0,1020
Průměrná teplota za zimní období toho roku	(°C)	0,7521	-0,1913	-0,1638	-0,3319	-0,3010	0,0326	0,3521	0,3913	-0,0323
Průměrná teplota veg. období toho roku	(°C)	-0,3814	0,0508	0,1028	0,1528	-0,1136	-0,2243	0,0612	0,0664	-0,1017
Průměrné srážkové úhrny za zimní období toho roku	(mm)	-0,2187	0,0258	0,0612	0,0874	0,2580	0,1398	0,0082	0,0063	-0,2694
Průměrné srážkové úhrny za vegetační období toho roku	(mm)	-0,2969	-0,0445	0,0944	0,0673	0,2259	0,1303	-0,4050	-0,2550	-0,1703
Prům. teplota předešlého měsíce	(°C)	-0,1058	-0,3658	0,3386	0,0759	0,3620	0,2358	0,3816	0,3613	-0,1519
Průměrná teplota za poslední 2 měsíce před stratifikací	(°C)	0,0654	-0,2362	0,2396	0,0719	0,3051	0,1921	0,3405	0,2990	-0,1017
Průměrná teplota za poslední 3 měsíce před stratifikací	(°C)	0,1900	-0,2253	0,2258	0,0656	0,2263	0,1320	0,3467	0,3389	-0,0701
Průměrná teplota za poslední 4 měsíce před stratifikací	(°C)	0,2966	-0,2863	0,1694	-0,0447	0,1115	0,1306	0,4246	0,4303	-0,0436
Průměrná teplota za posledních 5 měsíců před stratifikací	(°C)	0,3674	-0,2361	0,0363	-0,1496	-0,0824	0,0590	0,3807	0,4186	-0,1083
Průměrná teplota za posledních 6 měsíců před stratifikací	(°C)	0,4378	-0,2794	0,0521	-0,1672	-0,0637	0,0894	0,3999	0,4464	-0,0428
Srážkový úhrn předchozí měsíc	(mm)	0,2293	0,0143	0,0435	0,0588	0,0872	0,0223	-0,0579	-0,0397	-0,1176
Prům. srážk- úhrn za poslední 2 měsíce před stratifikací	(mm)	-0,0865	0,1777	0,2138	0,3755	0,2376	-0,1224	-0,3539	-0,2578	-0,1452
Prům. srážk- úhrn za poslední 3 měsíce před stratifikací	(mm)	-0,0288	0,0081	0,2134	0,2392	0,0119	-0,1937	-0,1382	0,0109	-0,2176
Prům. srážk- úhrn za poslední 4 měsíce před stratifikací	(mm)	-0,2321	0,2599	0,1380	0,3587	0,1758	-0,1594	-0,3138	-0,2573	-0,1810
Prům. srážk- úhrn za poslední 5 měsíce před stratifikací	(mm)	-0,3970	0,3087	0,0894	0,3450	0,2609	-0,0771	-0,3836	-0,3624	-0,1290
Prům. srážk- úhrn za poslední 6 měsíce před stratifikací	(mm)	-0,2796	0,2503	0,0546	0,2602	0,2979	0,0258	-0,3022	-0,3015	-0,2089
Průměrná teplota za posledních X měsíců (včetně aktuálního)	2,00	-0,1662	-0,3912	0,4255	0,1504	0,3136	0,1323	0,4147	0,4114	-0,1830
	3,00	0,0068	-0,2794	0,3137	0,1182	0,2971	0,1460	0,3785	0,3485	-0,1311
	4,00	0,1441	-0,2586	0,2802	0,0982	0,2306	0,1078	0,3772	0,3744	-0,0933
	5,00	0,2577	-0,3129	0,2175	-0,0137	0,1217	0,1126	0,4496	0,4587	-0,0640
	6,00	0,3501	-0,3163	0,1405	-0,1004	0,0462	0,1238	0,4476	0,4705	-0,0805
Průměrný srážk. úhrn za posledních X měsíců (včetně aktuálního)	2,00	-0,0830	0,1008	-0,0370	0,0405	0,2807	0,1986	-0,2740	-0,2226	-0,1340
	3,00	-0,2090	0,1727	0,0689	0,2136	0,3209	0,0846	-0,3910	-0,3045	-0,1392
	4,00	-0,1865	0,1173	0,0791	0,1802	0,1749	-0,0082	-0,2883	-0,1865	-0,1098
	5,00	-0,2840	0,2139	0,0430	0,2183	0,2773	0,0444	-0,3555	-0,2906	-0,1636
	6,00	-0,3974	0,2699	0,0237	0,2421	0,3274	0,0657	-0,4164	-0,3753	-0,1349

Tabulka 11 - Hodnoty korelačních koeficientů (vzájemný vztah mezi parametry teplotní stratifikace a klimatickými parametry), Josefův důl (1995-2017, hladina významnosti 0,05, kritická hodnota 0,4329, počet řad (n-1) = 19)

1995-2017		Rok	Hloubka epilimnia	Hloubka skočné vrstvy	Hloubka počátku hypolimnia	Úroveň dna	Hloubka hypolimnia	Povrchová teplota	Průměrná teplota epilimnia	Průměrná teplota hypolimnia
	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(°C)	(°C)	(°C)	
Rok	(-)	1,0000								
Hloubka epilimnia	(m)	-0,1603	1,0000							
Hloubka skočné vrstvy	(m)	-0,2371	-0,4766	1,0000						
Hloubka počátku hypolimnia	(m)	-0,3894	0,3270	0,6749	1,0000					
Úroveň dna	(m)	-0,0501	-0,3147	0,5677	0,3461	1,0000				
Hloubka hypolimnia	(m)	0,2973	-0,5611	-0,0953	-0,5735	0,5702	1,0000			
Povrchová teplota	(°C)	0,3254	-0,5468	0,1316	-0,3174	-0,0193	0,2612	1,0000		
Průměrná teplota epilimnia	(°C)	0,2347	-0,8062	0,3305	-0,3213	-0,0189	0,2648	0,8466	1,0000	
Průměrná teplota hypolimnia	(°C)	-0,1041	0,1812	-0,0533	0,0947	-0,1961	-0,2542	-0,0417	-0,1501	1,0000
Průměrná měsíční teplota vzduchu	(°C)	-0,4561	-0,3318	0,3620	0,1107	0,1862	0,0657	0,2297	0,2879	-0,2028
Měsíční srážkový úhrn	(mm)	0,0193	0,0341	0,0102	0,0395	0,2171	0,1549	-0,1601	-0,0518	0,0126
Průměrná teplota za zimní období toho roku	(°C)	0,6764	-0,1126	-0,2925	-0,4089	-0,1957	0,1872	0,2067	0,2328	-0,1611
Průměrná teplota veg. období toho roku	(°C)	-0,7732	0,1325	0,0528	0,1680	-0,0131	-0,1585	-0,1128	-0,1273	-0,2008
Průměrné srážkové úhrny za zimní období toho roku	(mm)	-0,1539	-0,0085	0,0982	0,0985	0,2232	0,1086	0,0974	0,1051	-0,2420
Průměrné srážkové úhrny za vegetační období toho roku	(mm)	0,1277	-0,2328	0,2828	0,1086	0,0488	-0,0525	-0,1945	0,0835	-0,0262
Průměrná roční teplota vzduchu	(°C)	0,0095	0,0146	-0,2635	-0,2710	0,0230	0,2574	0,1400	0,0806	-0,3789
Roční srážkový úhrn	(mm)	0,0629	-0,0976	0,1580	0,0880	0,0027	-0,0746	-0,2826	-0,0677	0,0383

V následující tabulce je pro každý parametr stratifikace nádrže uvedeno, s kterými ostatními parametry má významný vzájemný vztah. Významnost je dána hodnotou korelačního koeficientu (nejvýznamnější hodnoty tučným písmem). Pro každý korelační koeficient je uvedeno z jakého souboru dat byl získán (počet datových řad, hodnota významnosti a kritická hodnota).

Tabulka 12 – Nejvýznamnější korelační koeficienty pro určení teplotní stratifikace, Josefův důl

PARAMETR	KOREL. KOEF.	ZDROJ
Hloubka epilimnia		
Hloubka skočné vrstvy	-0,4757	1995-2018
Hloubka hypolimnia	-0,4222	kritická hodnota 0,3976
Povrchová teplota	-0,5553	hladina významnosti 0,05
Průměrná teplota epilimnia	-0,7678	počet řad (n-1) 23
Hloubka skočné vrstvy		
Hloubka skočné vrstvy	-0,4766	1995-2017
Hloubka hypolimnia	-0,5611	kritická hodnota 0,4329
Povrchová teplota	-0,5468	hladina významnosti 0,05
Průměrná teplota epilimnia	-0,8062	počet řad (n-1) 19
Hloubka skočné vrstvy		
Hloubka počátku hypolimnia	0,7092	1995-2018
Úroveň dna	0,4291	kritická hodnota 0,3976
Průměrná teplota epilimnia	0,4240	hladina významnosti 0,05
Průměrná měsíční teplota vzduchu	0,4359	počet řad (n-1) 23
Průměrná teplota za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	0,4255	
Hloubka epilimnia	-0,4757	
Hloubka počátku hypolimnia		
Hloubka počátku hypolimnia	0,6749	1995-2017
Úroveň dna	0,5677	kritická hodnota 0,4329
Hloubka epilimnia	-0,4766	hladina významnosti 0,05
		počet řad (n-1) 19

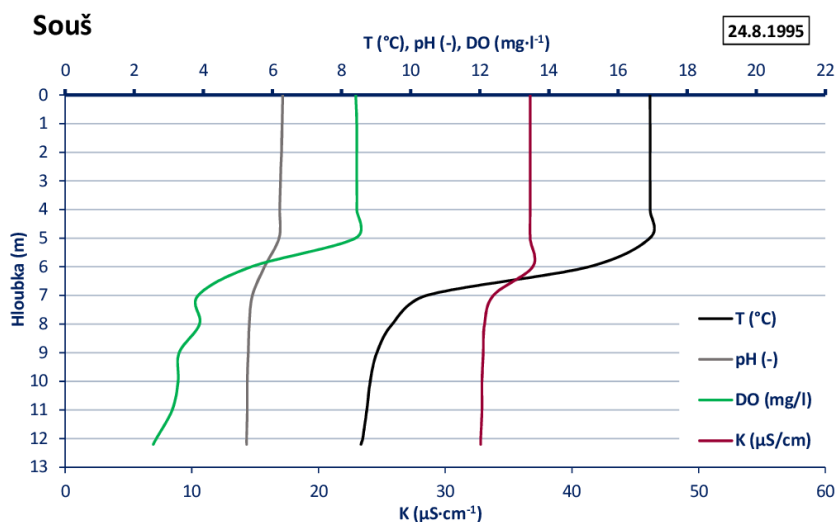
Pokračování tabulky 12 - Nejvýznamnější korelační koeficienty pro určení teplotní stratifikace, Josefův důl

<i>Hloubka počátku hypolimnia</i>			
Hloubka hypolimnia	-0,6083	1995-2018	
Hloubka skočné vrstvy	0,7092	kritická hodnota	0,3976
		hladina významnosti	0,05
		počet řad (n-1)	23
Hloubka hypolimnia	-0,5735	1995-2017	
Hloubka skočné vrstvy	0,6749	kritická hodnota	0,4329
		hladina významnosti	0,05
		počet řad (n-1)	19
<i>Hloubka hypolimnia</i>			
Hloubka epilimnia	-0,4222	1995-2018	
Hloubka počátku hypolimnia	-0,6083	kritická hodnota	0,3976
Úroveň dna	0,5810	hladina významnosti	0,05
		počet řad (n-1)	23
Hloubka epilimnia	-0,5611	1995-2017	
Hloubka počátku hypolimnia	-0,5735	kritická hodnota	0,4329
Úroveň dna	0,5702	hladina významnosti	0,05
		počet řad (n-1)	19
<i>Teplota na hladině</i>			
Průměrná teplota epilimnia	0,8912	1995-2018	
Průměrné srážkové úhrny za vegetační období toho roku	-0,4050	kritická hodnota	0,3976
Průměrná teplota za poslední 4 měsíce před stratifikací	0,4246	hladina významnosti	0,05
Průměrná teplota za posledních 6 měsíců před stratifikací	0,3999	počet řad (n-1)	23
Průměrná teplota za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	0,4147		
Průměrná teplota za posledních 5 měsíců (včetně aktuálního)	0,4496		
Průměrná teplota za posledních 6 měsíců (včetně aktuálního)	0,4476		
Průměrný srážk. úhrn za posledních 6 měsíců (včetně aktuálního)	-0,4164		
Hloubka epilimnia	-0,5553		
Průměrná teplota epilimnia	0,8466	1995-2017	
Hloubka epilimnia	-0,5468	kritická hodnota	0,4329
		hladina významnosti	0,05
		počet řad (n-1)	19
<i>Průměrná teplota epilimnia</i>			
Průměrná teplota za poslední 4 měsíce před stratifikací	0,4303	1995-2018	
Průměrná teplota za posledních 5 měsíců před stratifikací	0,4186	kritická hodnota	0,3976
Průměrná teplota za posledních 6 měsíců před stratifikací	0,4464	hladina významnosti	0,05
Hloubka epilimnia	-0,7678	počet řad (n-1)	23
Hloubka skočné vrstvy	0,4240		
Povrchová teplota	0,8912		
Průměrná teplota za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	0,4114		
Průměrná teplota za posledních 5 měsíců (včetně aktuálního)	0,4587		
Průměrná teplota za posledních 6 měsíců (včetně aktuálního)	0,4705		
Hloubka epilimnia	-0,8062	1995-2017	
Povrchová teplota	0,8466	kritická hodnota	0,4329
		hladina významnosti	0,05
		počet řad (n-1)	19
<i>Průměrná teplota hypolimnia</i>			
<i>Hodnoty měnící se v průběhu času</i>			
Povrchová teplota	0,4825	1995-2018	
Průměrná teplota epilimnia	0,4488	kritická hodnota	0,3976
Průměrná teplota za zimní období toho roku	0,7521	hladina významnosti	0,05
Průměrná teplota za posledních 6 měsíců před stratifikací	0,4378	počet řad (n-1)	23
Průměrná měsíční teplota vzduchu	-0,4561	1995-2017	
Průměrná teplota za zimní období toho roku	0,6764	kritická hodnota	0,4329
Průměrná teplota veg. období toho roku	-0,7732	hladina významnosti	0,05
		počet řad (n-1)	19

Korelační koeficienty byly určovány též mezi všemi hloubkovými úrovněmi a klimatickými daty, ale vzhledem k rozsáhlosti tohoto souboru není v diplomové práci uveden. Byla též sestavena obdobná tabulka popisující nejpodstatnější vzájemné souvislosti, kterou je ovšem možné pouze slovně shrnout. Teploty vykazují největší vzájemnou souvislost se dvěma okolními hloubkovými úrovněmi. S průměrnou měsíční teplotou a průměrnými teplotami za posledních několik měsíců souvisí teploty v hloubkových úrovních blízko hladiny, teploty ve velkých hloubkách vykazovaly vzájemnou souvislost se srážkovými úhrny za několik posledních měsíců. Podle analýzy existuje také kladná závislost mezi časem a teplotou až do hloubkové úrovně 4 m.

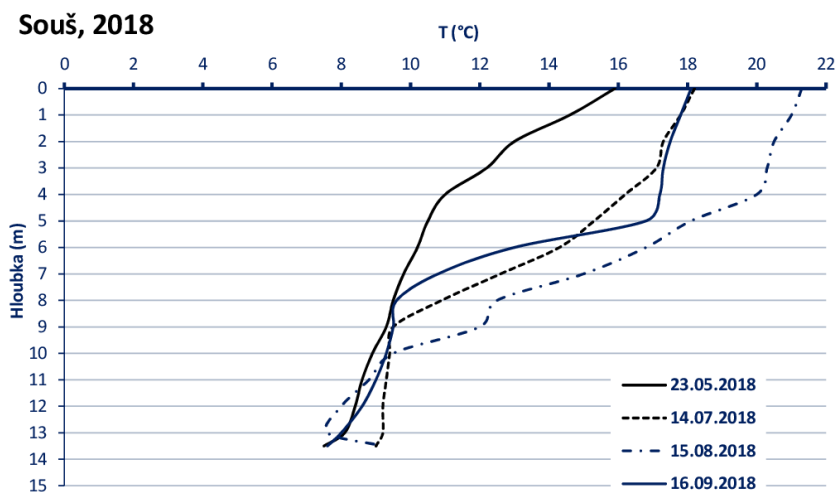
5.6.2. Souš

Kroky, postupy a analýzy provedené pro nádrž Josefův důl byly shodné pro nádrž Souš, nicméně bylo možné zaznamenat určité rozdíly ve výsledcích. Celkem bylo provedeno 28 měření, z nichž bylo vybráno 22 datových řad s dostatečně výraznou teplotní stratifikací. Na obrázku 32 je uveden vzorový graf stratifikace fyzikálních a chemických veličin ve vertikálním profilu nádrže Souš. Obrázek 33 popisuje vývoj teplotní stratifikace ve vegetačním období, opět byl použit rok 2018 z důvodu největšího počtu měření (celkem 4).



Obrázek 32 - Příklad průběhu stratifikace ve vegetačním období, Josefův důl, 2018

Na obrázku 33 je zachycen vývoj teplotní stratifikace nádrže Souš, který platí obecně – koncem května není teplotní stratifikace patrná, postupně dochází k prohřívání epilimnia, růstu povrchové teploty a prohřívání celého profilu nádrže. V roce 2018 jako v jediném bylo provedeno měření i v září. Z tohoto měření je patrné, že v září byla hloubka epilimnia větší než v polovině srpna, ačkoliv již docházelo k ochlazení povrchové vrstvy. Může to být způsobeno tím, že v září letošního roku byly poměrně vysoké teploty.



Obrázek 33 - Příklad průběhu stratifikace ve vegetačním období, Souš, 2018

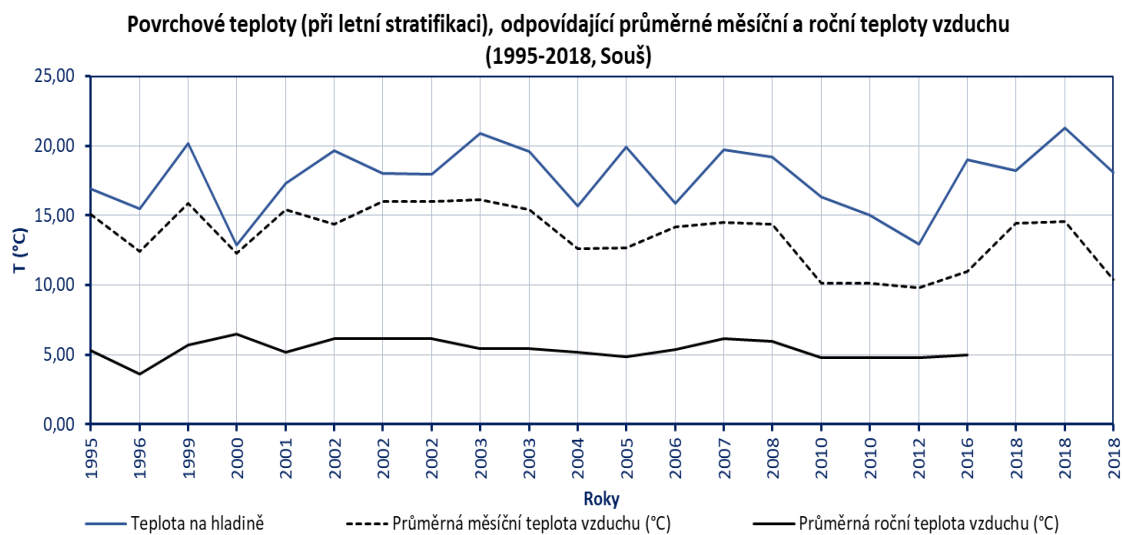
K jednotlivým měřením byla přiřazena klimatická data (viz tabulka 13) a z grafů stratifikace fyzikálních a chemických parametrů ve vertikálním profilu nádrže byly odečteny údaje charakterizující teplotní stratifikaci (viz tabulka 14). Dále byly graficky zpracovány průběhy povrchové teploty vody, průměrné měsíční a průměrné roční teploty vzduchu (obrázky 34 - 36).

Tabulka 13 - Klimatická data odpovídající jednotlivým měřením, Souš

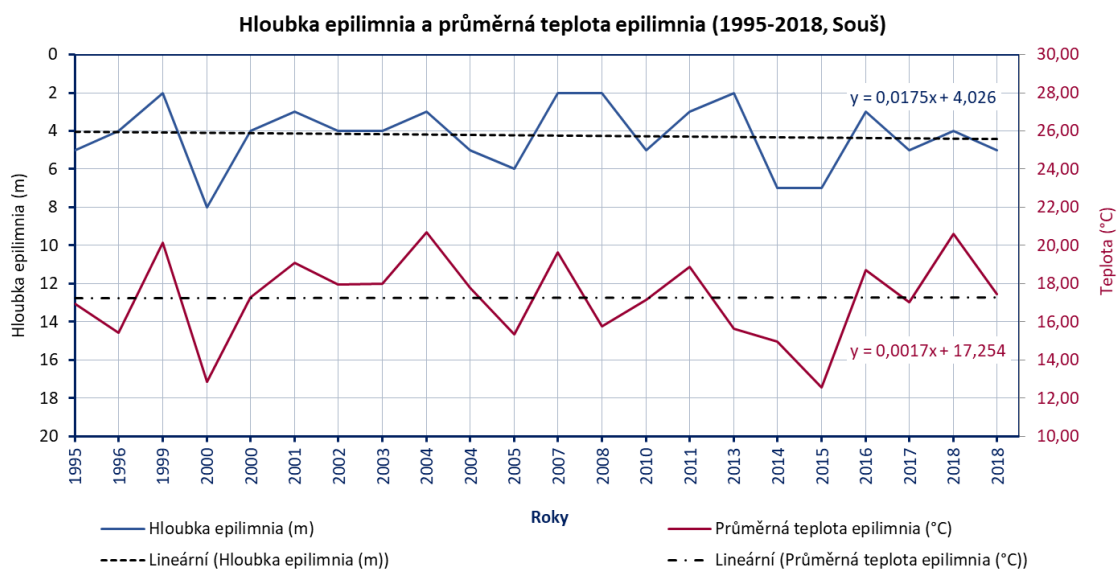
Den	Rok	Průměrná měsíční teplota vzduchu (°C)	Průměrná teplota za zimní období (°C)	Průměrná teplota veg. období (°C)	Průměrná roční teplota vzduchu (°C)	Měsíční srážkový úhrn (mm)	Roční srážkový úhrn (mm)	Průměrné srážkové úhrny za zimní období (mm)	Průměrné srážkové úhrny za vegetační období (mm)
24.8.	1995	15,10	0,12	11,90	5,28	173,6	1543,7	157,07	117,53
25.7.	1996	12,40	-3,57	10,43	3,61	221,7	1230,8	86,87	135,40
22.7.	1999	15,90	-1,08	12,00	5,69	60,90	1262,7	130,43	95,80
20.7.	2000	12,30	-0,15	12,23	6,48	202,4	1473	154,35	88,18
20.7.	2001	15,40	-0,13	11,87	5,19	189,8	1625,2	104,58	142,48
26.6.	2002	14,40	-0,65	12,38	6,18	63,9	1518,3	148,37	128,98
23.7.	2002	16,00	-0,65	12,38	6,18	112,9	1518,3	148,37	128,98
23.7.	2002	16,00	-0,65	12,38	6,18	112,9	1518,3	148,37	128,98
9.6.	2003	16,10	-1,75	12,13	5,41	40,90	983,5	90,33	71,97
21.7.	2003	15,40	-1,75	12,13	5,41	107,10	983,5	90,33	71,97
28.6.	2004	12,60	-0,58	11,33	5,16	75,1	1396,3	110,58	95,97
30.6.	2005	12,70	-1,70	11,58	4,82	104,2	1532,4	153,38	115,70
13.6.	2006	14,20	-2,98	12,48	5,37	80,7	1552,8	113,02	141,92
12.7.	2007	14,50	2,05	11,50	6,14	159,2	1384,8	126,53	106,10
30.6.	2008	14,40	-0,47	11,55	5,93	64,8	1154,5	132,13	74,08
9.6.	2010	10,14	1,83	8,36	4,81	80,9	1455,3	61,88	158,13
25.6.	2010	10,14	1,83	8,36	4,81	80,9	1455,3	61,88	158,13
6.6.	2012	9,83	1,01	8,70	4,76	122,1	1440,45	109,73	123,48
14.7.	2016	10,96	2,09	8,86	4,98	193,1	1270,5	102,30	124,03
14.7.	2018	14,41	1,96	11,74					
15.8.	2018	14,56	1,96	11,74					
16.9.	2018	10,37	1,96	11,74					

Tabulka 14 - Parametry stratifikace určené pro pozorované období (1995-2018), Souš

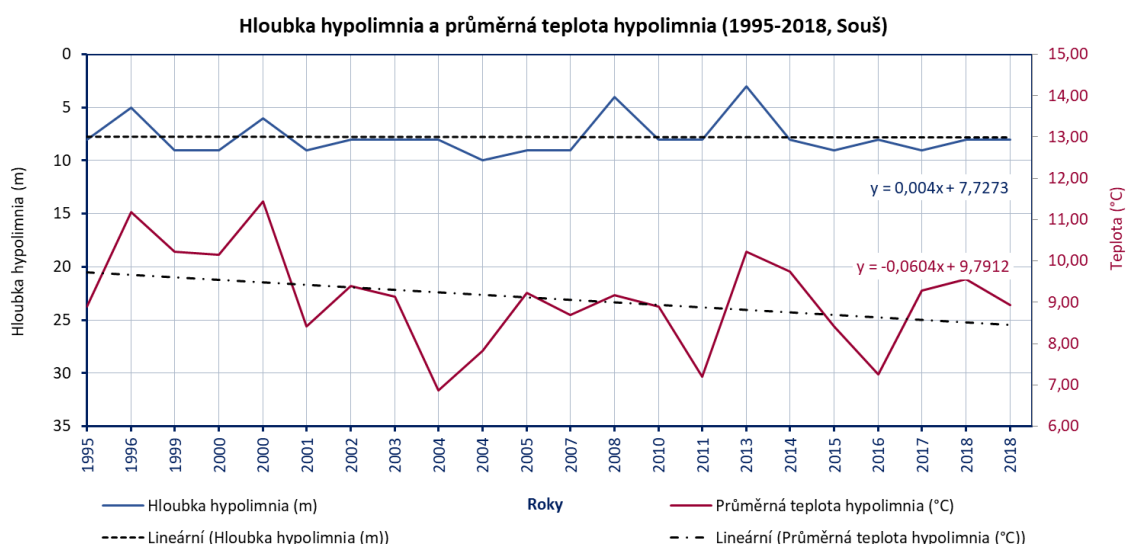
den	rok	Povrchová teplota	Hloubka epilimnia	Průměrná teplota epilimnia	Hloubka skočné vrstvy	Hloubka počátku hypolimnia	Průměrná teplota hypolimnia
(-)	(-)	(°C)	(m)	(°C)	(m)	(m)	(°C)
Souš (1995-2018)							
24.8.	1995	16,92	5,00	16,93	3,00	8,00	8,89
25.7.	1996	15,45	4,00	15,45	1,00	5,00	11,19
8.7.	1999	15,27	0,00	-	2,00	2,00	9,98
13.7.	1999	17,77	6,00	16,64	2,00	8,00	10,35
22.7.	1999	20,19	2,00	20,14	7,00	9,00	10,22
7.7.	2000	15,40	4,00	16,09	3,00	7,00	9,85
20.7.	2000	12,88	8,00	12,87	1,00	9,00	10,15
20.7.	2001	17,30	4,00	17,30	2,00	6,00	11,45
4.6.	2002	16,80	5,00	14,77	2,00	7,00	8,53
4.6.	2002	16,20	6,00	14,67	1,00	7,00	-
26.6.	2002	19,65	3,00	19,09	6,00	9,00	8,42
23.7.	2002	18,04	4,00	17,98	4,00	8,00	9,40
23.7.	2002	17,96	4,00	18,00	4,00	8,00	9,13
9.6.	2003	20,90	3,00	20,71	5,00	8,00	6,87
21.7.	2003	19,56	5,00	17,80	5,00	10,00	7,82
28.6.	2004	15,70	6,00	15,33	3,00	9,00	9,23
30.6.	2005	19,89	2,00	19,63	7,00	9,00	8,69
13.6.	2006	15,84	2,00	15,79	2,00	4,00	9,16
12.7.	2007	19,70	5,00	17,16	3,00	8,00	8,91
30.6.	2008	19,20	3,00	18,87	5,00	8,00	7,20
9.6.	2010	16,34	2,00	15,63	1,00	3,00	10,22
25.6.	2010	15,04	7,00	14,97	1,00	8,00	9,74
6.6.	2012	12,94	7,00	12,58	2,00	9,00	8,41
14.7.	2016	19,00	3,00	18,73	5,00	8,00	7,25
23.5.	2018	15,90	0,00	13,31	4,00	4,00	9,33
14.7.	2018	18,20	5,00	17,03	4,00	9,00	9,29
15.8.	2018	21,30	4,00	20,61	4,00	8,00	9,55
16.9.	2018	18,10	5,00	17,45	3,00	8,00	8,93
PRŮMĚR		17,41	4,07	16,27	3,29	7,36	8,86



Obrazek 34 – Povrchové teploty (při letní stratifikaci), odpovídající průměrné měsíční a roční teploty vzduchu (1995-2018, Souš)



Obrázek 35 – Hloubka epilimnia a průměrná teplota epilimnia (1995-2018, Souš)



Obrázek 36 – Hloubka hypolimnia a průměrná teplota hypolimnia (1995-2018, Souš)

V grafech jsou znázorněny i lineární trendy (rostoucí nebo klesající) získané lineární regresí, pro většinu křivek (kromě průměrné teploty hypolimnia) ovšem nejsou výrazné. Vzhledem k relativně malé délce sledovaného období i celkovému počtu měření je nutné brát získané trendy s rezervou. Existence významných změn v čase a jiných lineárních souvislostí byla zjišťována výpočtem korelačních koeficientů. Zjištěné hodnoty korelačních koeficientů jsou v tabulkách 15 a 16 (významné jsou vyznačeny zelenou barvou). Pro lepší přehlednost slouží tabulka 17, představující seznam podstatných souvislostí jednotlivých charakteristik teplotní stratifikace.

Tabulka 15 - Hodnoty korelačních koeficientů (vzájemný vztah mezi parametry teplotní stratifikace a klimatickými parametry), Souš (1995-2016, hladina významnosti 0,05, kritická hodnota 0,4438, počet řad (n-1) = 18)

1995-2016		Rok	Hloubka epilimnia	Hloubka skočné vrstvy	Hloubka počátku hypolimnia	Úroveň dna	Hloubka hypolimnia	Povrchová teplota	Průměrná teplota epilimnia	Průměrná teplota hypolimnia
		(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(°C)	(°C)	(°C)
Rok	(-)	1,0000								
Hloubka epilimnia	(m)	-0,0158	1,0000							
Hloubka skočné vrstvy	(m)	-0,0393	-0,5362	1,0000						
Hloubka počátku hypolimnia	(m)	-0,0581	0,4069	0,5529	1,0000					
Úroveň dna	(m)	0,3828	-0,3652	0,0751	-0,2792	1,0000				
Hloubka hypolimnia	(m)	0,2360	-0,4829	-0,3675	-0,8744	0,7100	1,0000			
Povrchová teplota	(°C)	-0,0528	-0,6647	0,8290	0,2409	0,1096	-0,1213	1,0000		
Průměrná teplota epilimnia	(°C)	-0,1227	-0,7243	0,8506	0,2055	0,0768	-0,1119	0,9613	1,0000	
Průměrná teplota hypolimnia	(°C)	-0,4333	0,1343	-0,5382	-0,4499	-0,1845	0,2367	-0,4655	-0,4179	1,0000
Průměrné teploty za posledních X měsíců (včetně aktuálního)	2	-0,6905	-0,0694	0,3745	0,3368	-0,4414	-0,4700	0,4732	0,4464	-0,0982
	3	-0,6543	0,0867	0,2079	0,3106	-0,5050	-0,4829	0,3026	0,2685	0,1083
	4	-0,6025	0,2017	0,1024	0,3100	-0,4668	-0,4632	0,1941	0,1510	0,1501
	5	-0,5312	0,2139	0,0904	0,3089	-0,4082	-0,4328	0,1778	0,1301	0,1475
	6	-0,3844	0,2494	0,0316	0,2804	-0,3563	-0,3857	0,1293	0,0846	0,1426
Průměrná měsíční teplota vzduchu	(°C)	-0,6140	-0,3255	0,4839	0,2023	-0,4171	-0,3591	0,6143	0,6328	-0,1023
Průměrná teplota za zimní období toho roku	(°C)	0,6068	0,3170	-0,2067	0,0892	0,1898	0,0305	-0,1281	-0,2192	-0,0930
Průměrná teplota veg. období toho roku	(°C)	-0,6758	-0,1856	0,4110	0,2615	-0,4067	-0,3973	0,3955	0,4178	-0,0489
Prům. teplota předešlého měsíce	(°C)	-0,6503	0,1182	0,2477	0,3847	-0,3986	-0,4835	0,3109	0,2562	-0,0821
Průměrná teplota za poslední 2 měsíce před stratifikací	(°C)	-0,5987	0,2150	0,0939	0,3139	-0,4810	-0,4732	0,1667	0,1187	0,1671
Průměrná teplota za poslední 3 měsíce před stratifikací	(°C)	-0,5378	0,3017	0,0045	0,3027	-0,4301	-0,4393	0,0778	0,0251	0,1924
Průměrná teplota za poslední 4 měsíce před stratifikací	(°C)	-0,4675	0,2920	0,0108	0,2999	-0,3692	-0,4065	0,0823	0,0271	0,1792
Průměrná teplota za posledních 5 měsíců před stratifikací	(°C)	-0,3053	0,3182	-0,0468	0,2635	-0,3083	-0,3490	0,0350	-0,0154	0,1680
Průměrná teplota za posledních 6 měsíců před stratifikací	(°C)	-0,2545	0,3023	-0,0398	0,2553	-0,2791	-0,3282	0,0524	-0,0056	0,1434
Průměrné srážkové úhrny za posledních X měsíců (včetně aktuálního)	2	0,1070	0,0421	-0,3525	-0,3399	0,0321	0,2655	-0,2476	-0,2319	0,4759
	3	-0,1027	0,0595	-0,4074	-0,3821	-0,0161	0,2721	-0,2832	-0,2595	0,5114
	4	-0,1510	-0,1143	-0,2876	-0,4241	0,0335	0,3279	-0,2022	-0,1284	0,4433
	5	-0,3110	0,0696	-0,2179	-0,1672	-0,0222	0,1114	-0,3452	-0,2617	0,4592
	6	-0,3493	0,0974	-0,0103	0,0850	-0,1800	-0,1533	-0,2804	-0,1516	0,3624
Průměrná roční teplota vzduchu	(°C)	-0,1175	0,0760	0,3053	0,4054	-0,2408	-0,4189	0,2676	0,2269	-0,2382
Měsíční srážkový úhrn	(mm)	-0,2013	0,3503	-0,4294	-0,1189	-0,1653	0,0037	-0,3662	-0,3821	0,4005
Roční srážkový úhrn	(mm)	-0,0648	0,0965	-0,3141	-0,2446	-0,2865	0,0346	-0,4125	-0,3464	0,5177
Průměrné srážkové úhrny za zimní období toho roku	(mm)	-0,4134	-0,0154	0,4325	0,4529	-0,3144	-0,4909	0,1674	0,2166	-0,1082
Průměrné srážkové úhrny za vegetační období toho roku	(mm)	0,1867	-0,0957	-0,4835	-0,6178	-0,0841	0,4105	-0,3806	-0,3226	0,5435
Srážkový úhrn předchozí měsíc	(mm)	0,5258	-0,3031	-0,1488	-0,4602	0,2525	0,4650	-0,0202	0,0078	0,2599
Prům. srážk- úhrn za poslední 2 měsíce před stratifikací	(mm)	0,3273	-0,0730	-0,5255	-0,6408	0,2573	0,6000	-0,3540	-0,3244	0,4412
Prům. srážk- úhrn za poslední 3 měsíce před stratifikací	(mm)	0,0296	-0,4419	-0,0771	-0,5196	0,2422	0,5035	-0,0281	0,0808	0,1558

Tabulka 16 - Hodnoty korelačních koeficientů (vzájemný vztah mezi parametry teplotní stratifikace a klimatickými parametry), Souš (1995-2018, hladina významnosti 0,05, kritická hodnota 0,4143, počet řad (n-1) = 21)

1995-2018		Rok	Hloubka epilimnia	Hloubka skočné vrstvy	Hloubka počátku hypolimnia	Úroveň dna	Hloubka hypolimnia	Povrchová teplota	Průměrná teplota epilimnia	Průměrná teplota hypolimnia
		(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(°C)	(°C)	(°C)
Rok	(-)	1,0000								
Hloubka epilimnia	(m)	0,0614	1,0000							
Hloubka skočné vrstvy	(m)	-0,0097	-0,5300	1,0000						
Hloubka počátku hypolimnia	(m)	0,0500	0,4158	0,5508	1,0000					
Úroveň dna	(m)	0,4028	-0,3346	0,0784	-0,2452	1,0000				
Hloubka hypolimnia	(m)	0,1697	-0,4801	-0,3682	-0,8674	0,6952	1,0000			
Povrchová teplota	(°C)	0,1400	-0,6153	0,7925	0,2444	0,1492	-0,1046	1,0000		
Průměrná teplota epilimnia	(°C)	0,0553	-0,6822	0,8131	0,2005	0,1090	-0,0928	0,9632	1,0000	
Průměrná teplota hypolimnia	(°C)	-0,2705	0,1309	-0,5243	-0,4335	-0,1696	0,2344	-0,4043	-0,3639	1,0000
Průměrné teploty za posledních X měsíců (včetně aktuálního)	2	-0,4039	-0,0674	0,3808	0,3420	-0,4032	-0,4606	0,4953	0,4673	-0,0783
	3	-0,2483	0,1059	0,2068	0,3260	-0,4188	-0,4567	0,3575	0,3149	0,1222
	4	-0,0586	0,2186	0,0998	0,3222	-0,3157	-0,4010	0,2899	0,2339	0,1584
	5	0,0683	0,2221	0,0783	0,3026	-0,2236	-0,3392	0,2910	0,2337	0,1479
	6	0,1935	0,2475	0,0210	0,2661	-0,1586	-0,2787	0,2479	0,1945	0,1328
Průměrná měsíční teplota vzduchu	(°C)	-0,4684	-0,3285	0,4812	0,1928	-0,3986	-0,3475	0,5637	0,5819	-0,0738
Průměrná teplota za zimní období toho roku	(°C)	0,7168	0,3250	-0,1676	0,1401	0,2554	0,0273	0,0158	-0,0856	-0,0544
Průměrná teplota veg. období toho roku	(°C)	-0,3821	-0,1672	0,4086	0,2737	-0,3683	-0,3920	0,4027	0,4175	-0,0404
Prům. teplota předešlého měsíce	(°C)	-0,2819	0,1322	0,2375	0,3848	-0,3309	-0,4552	0,3534	0,2975	-0,0668
Průměrná teplota za poslední 2 měsíce před stratifikací	(°C)	-0,1860	0,2233	0,0812	0,3068	-0,3801	-0,4227	0,2349	0,1861	0,1660
Průměrná teplota za poslední 3 měsíce před stratifikací	(°C)	-0,0614	0,2837	-0,0053	0,2735	-0,2887	-0,3510	0,1884	0,1402	0,1801
Průměrná teplota za poslední 4 měsíce před stratifikací	(°C)	0,1424	0,2815	0,0086	0,2863	-0,1727	-0,3009	0,2179	0,1554	0,1654
Průměrná teplota za posledních 5 měsíců před stratifikací	(°C)	0,2585	0,2950	-0,0419	0,2454	-0,1089	-0,2378	0,1780	0,1213	0,1448
Průměrná teplota za posledních 6 měsíců před stratifikací	(°C)	0,3043	0,2864	-0,0351	0,2442	-0,0802	-0,2223	0,1876	0,1228	0,1254

Parametry s významným vzájemným vztahem jsou přehledně shrnuty v tabulce 17.

Tabulka 17 - Nejvýznamnější korelační koeficienty pro určení teplotní stratifikace, Souš

PARAMETR	KOREL. KOEF.	ZDROJ
Hloubka epilimnia		
Hloubka skočné vrstvy	-0,5300	1995-2018
Hloubka počátku hypolimnia	0,4158	kritická hodnota 0,4143
Hloubka hypolimnia	-0,4801	hladina významnosti 0,05
Povrchová teplota	-0,6153	počet řad (n-1) 21
Průměrná teplota epilimnia	-0,6822	
Hloubka hypolimnia		
Hloubka skočné vrstvy	-0,5362	1995-2016
Hloubka hypolimnia	-0,4829	kritická hodnota 0,4438
Povrchová teplota	-0,6647	hladina významnosti 0,05
Průměrná teplota epilimnia	-0,7243	počet řad (n-1) 18

Pokračování tabulky 17 (a) - Nejvýznamnější korelační koeficienty pro určení teplotní stratifikace,

Souš

<i>Hloubka skočné vrstvy</i>			
Hloubka počátku hypolimnia	0,5508	1995-2018	
Povrchová teplota	0,7925	kritická hodnota	0,4143
Průměrná teplota epilimnia	0,8131	hladina významnosti	0,05
Průměrná teplota hypolimnia	-0,5243	počet řad (n-1)	21
Hloubka epilimnia	-0,5300		
Průměrná měsíční teplota vzduchu	0,4812		
<i>Hloubka počátku hypolimnia</i>			
Hloubka počátku hypolimnia	0,5529	1995-2016	
Povrchová teplota	0,8290	kritická hodnota	0,4438
Průměrná teplota epilimnia	0,8506	hladina významnosti	0,05
Průměrná teplota hypolimnia	-0,5382	počet řad (n-1)	18
Průměrná měsíční teplota vzduchu	0,4839		
Průměrné srážkové úhrny za vegetační období toho roku	-0,4835		
Hloubka epilimnia	-0,5362		
Prům. srážk- úhrn za poslední 2 měsíce před stratifikací	-0,5255		
<i>Hloubka počátku hypolimnia</i>			
Hloubka hypolimnia	-0,8674	1995-2018	
Průměrná teplota hypolimnia	-0,4335	kritická hodnota	0,4143
Hloubka epilimnia	0,4158	hladina významnosti	0,05
Hloubka skočné vrstvy	0,5508	počet řad (n-1)	21
Hloubka skočné vrstvy	0,5529	1995-2016	
Hloubka hypolimnia	-0,8744	kritická hodnota	0,4438
Průměrná teplota hypolimnia	-0,4499	hladina významnosti	0,05
Průměrné srážkové úhrny za zimní období toho roku	0,4529	počet řad (n-1)	18
Průměrné srážkové úhrny za vegetační období toho roku	-0,6178		
Srážkový úhrn předchozí měsíc	-0,4602		
Prům. srážk- úhrn za poslední 2 měsíce před stratifikací	-0,6408		
Prům. srážk- úhrn za poslední 3 měsíce před stratifikací	-0,5196		
<i>Hloubka hypolimnia</i>			
Průměrné teploty za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	-0,4606	1995-2018	
Průměrné teploty za poslední 3 měsíce (včetně aktuálního)	-0,4567	kritická hodnota	0,4143
Prům. teplota předešlého měsíce	-0,4552	hladina významnosti	0,05
Hloubka epilimnia	-0,4801		
Hloubka počátku hypolimnia	-0,8674		
Úroveň dna	0,6952		
Průměrná teplota za poslední 2 měsíce před stratifikací	-0,4227	počet řad (n-1)	21
Průměrné teploty za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	-0,4700	1995-2016	
Průměrné teploty za poslední 3 měsíce (včetně aktuálního)	-0,4829	kritická hodnota	0,4438
Průměrné teploty za poslední 4 měsíce (včetně aktuálního)	-0,4632	hladina významnosti	0,05
Prům. teplota předešlého měsíce	-0,4835	počet řad (n-1)	18
Průměrná teplota za poslední 2 měsíce před stratifikací	-0,4732		
Průměrné srážkové úhrny za zimní období toho roku	-0,4909		
Srážkový úhrn předchozí měsíc	0,4650		
Prům. srážk- úhrn za poslední 2 měsíce před stratifikací	0,6000		
Prům. srážk- úhrn za poslední 3 měsíce před stratifikací	0,5035		
Hloubka epilimnia	-0,4829		
Hloubka počátku hypolimnia	-0,8744		
Úroveň dna	0,7100		

Souš Pokračování tabulky 17 (b) - Nejvýznamnější korelační koeficienty pro určení teplotní stratifikace,

<i>Povrchová teplota</i>			
Průměrná teplota epilimnia	0,9632	1995-2018	
Průměrné teploty za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	0,4953	kritická hodnota	0,4143
Průměrná měsíční teplota vzduchu	0,5637	hladina významnosti	0,05
Hloubka epilimnia	-0,6153	počet řad (n-1)	21
Hloubka skočné vrstvy	0,7925		
Průměrná teplota epilimnia	0,9613	1995-2016	
Průměrná teplota hypolimnia	-0,4655	kritická hodnota	0,4438
Průměrné teploty za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	0,4732	hladina významnosti	0,05
Hloubka epilimnia	-0,6647	počet řad (n-1)	18
Hloubka skočné vrstvy	0,8290		
Průměrná měsíční teplota vzduchu	0,6143		
<i>Průměrná teplota epilimnia</i>			
Průměrné teploty za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	0,4673	1995-2018	
Průměrná měsíční teplota vzduchu	0,5819	kritická hodnota	0,4143
Průměrná teplota veg. období toho roku	0,4175	hladina významnosti	0,05
Hloubka epilimnia	-0,6822	počet řad (n-1)	21
Hloubka skočné vrstvy	0,8131		
Povrchová teplota	0,9632		
Průměrné teploty za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	0,4464	1995-2016	
Průměrná měsíční teplota vzduchu	0,6328	kritická hodnota	0,4438
Hloubka epilimnia	-0,7243	hladina významnosti	0,05
Hloubka skočné vrstvy	0,8506	počet řad (n-1)	18
Povrchová teplota	0,9613		
<i>Průměrná teplota hypolimnia</i>			
Hloubka skočné vrstvy	-0,5243	1995-2018	
Hloubka počátku hypolimnia	-0,4335	kritická hodnota	0,4143
		hladina významnosti	0,05
		počet řad (n-1)	21
Průměrné teploty za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	0,4759	1995-2016	
Průměrné teploty za poslední 3 měsíce (včetně aktuálního)	0,5114	kritická hodnota	0,4438
Průměrné teploty za poslední 5 měsíců (včetně aktuálního)	0,4592	hladina významnosti	0,05
Průměrný roční srážkový úhrn	0,5177	počet řad (n-1)	18
Hloubka skočné vrstvy	-0,5382		
Hloubka počátku hypolimnia	-0,4499		
Povrchová teplota	-0,4655		
Průměrné srážkové úhrny za vegetační období toho roku	0,5435		
<i>Hodnoty měnící se v průběhu času</i>			
Průměrná měsíční teplota vzduchu	-0,4684	1995-2018	
Průměrná teplota za zimní období toho roku	0,7168	kritická hodnota	0,4143
		hladina významnosti	0,05
		počet řad (n-1)	21
Průměrné teploty za poslední 2 měsíce (včetně aktuálního)	-0,6905	1995-2016	
Průměrné teploty za poslední 3 měsíce (včetně aktuálního)	-0,6543	kritická hodnota	0,4438
Průměrné teploty za poslední 4 měsíce (včetně aktuálního)	-0,6025	hladina významnosti	0,05
Průměrné teploty za poslední 5 měsíců (včetně aktuálního)	-0,5312	počet řad (n-1)	18
Průměrná měsíční teplota vzduchu	-0,6140		
Průměrná teplota za zimní období toho roku	0,6068		
Prům. teplota předešlého měsíce	-0,6503		
Průměrná teplota za poslední 2 měsíce před stratifikací	-0,5987		
Průměrná teplota za poslední 3 měsíce před stratifikací	-0,5378		
Průměrná teplota za poslední 4 měsíce před stratifikací	-0,4675		
Srážkový úhrn předchozí měsíc	0,5258		

Pro nádrž Souš byly rovněž stanoveny korelační koeficienty mezi jednotlivými hloubkovými úrovněmi a různými klimatickými veličinami. Významné vzájemné vztahy byly zjištěny kromě sousedících hloubkových úrovní mezi průměrnou měsíční teplotou (v měsíci měření a předcházejícím měsíci) a teplotou v hloubkových úrovních 0 až 5 m. Hloubkové úrovně 4 a 5 m vykazují významnou souvislost s veličinami: průměrná měsíční teplota (v měsíci měření) a průměrná měsíční teplota za poslední 2 (3, 4, 5, 6) měsíce. Teplota hloubkové úrovně 6 m souvisí s teplotami za vzdálenější časové období (4 až 6 měsíců před měsícem měření). Teploty v některých hloubkových úrovních (10, 11, 12) vykazují vzájemnou souvislost se srážkovými úhrny za poslední 2, 3 nebo 5 měsíců.

U získaných výsledků jsou patrné rozdíly mezi oběma vodními nádržemi. Zejména závislosti parametrů charakterizujících stratifikaci vycházely pro každou nádrž odlišně. Tabulka 18 slouží k porovnání průměrných hodnot charakteristik stratifikace obou nádrží (aritmetický průměr z hodnot vykazujících výraznou teplotní stratifikaci).

Tabulka 18 – Porovnání průměrných hodnot charakteristik teplotní stratifikace nádrží Josefův důl a Souš

	<i>Povrchová teplota</i>	<i>Hloubka epilimnia</i>	<i>Průměrná teplota epilimnia</i>	<i>Hloubka hypolimnia</i>	<i>Průměrná teplota hypolimnia</i>
<i>Josefův důl</i>	17,82	4,84	16,80	23,58	5,85
<i>Souš</i>	17,41	4,07	16,27	5,56	8,86

Nejdůležitějším faktorem rozdílu mezi oběma nádržemi je výrazný rozdíl v jejich hloubce. Maximální hloubka nádrže Josefův důl je oproti nádrži Souš téměř dvojnásobná. Z toho jasně vyplývá rozdíl v hloubkách hypolimnia, naopak hloubka epilimnia je v průměru přibližně stejná. Velký rozdíl je ale v průměrných teplotách hypolimnia – tato hodnota je pro nádrž Souš výrazně vyšší než u Josefova dolu. U nádrže Souš dochází díky její menší hloubce k výraznějšímu prohřívání i do vyšších hloubek. Patrný je rozdíl v počtu parametrů, se kterými souvisí teplotní stratifikace – nádrž Souš má výrazně větší počet významných souvislostí a je tedy mnohem více ovlivňována, než Josefův důl, který ve vyšších hloubkách vykazuje poměrnou nezávislost (zejména na aktuálních klimatických parametrech). Průměrná teplota hypolimnia nádrže Josefův důl dokonce významně nesouvisí s žádnou posuzovanou klimatickou veličinou.

5.7. Predikce změn v letech 2071-2100

V této kapitole jsou popisovány změny teplotní stratifikace sledovaných vodních nádrží s ohledem na současné scénáře vývoje klimatické změny na konci 21. století. K posouzení možného vývoje byla použita data o zdokumentovaném vývoji za posledních dvacet let a predikce průměrných měsíčních teplot a měsíčních srážkových úhrnů pro období 2071 - 2100 pro emisní scénáře A2 a B2 .

Pro použití dat v diplomové práci bylo nutné provést korekci s nadmořskou výškou (data jsou poskytována pro rastr 50 × 50 km, hodnoty byly upraveny pro zájmovou oblast Jizerských hor). Z těchto dat lze již zhodnotit predikované změny - uvádí je tabulka 19.

Tabulka 19 – **Predikované změny (rozdíl klimatických normálů 1961-1990 a 2071-2100 podle emisních scénářů A2 a B2)**

Stanice	Bedřichov		Desná - Souš	
	Průměrná roční teplota vzduchu (°C)	Roční srážkový úhrn (mm)	Průměrná roční teplota vzduchu (°C)	Roční srážkový úhrn (mm)
Klim. normál 1961-1990	4,57	1233	4,56	1325
Klim. normál 2071-2100 (A2)	9,98	664	9,96	710
Změna (A2)	5,41	-569	5,40	-614
Klim. normál 2071-2100 (B2)	8,52	663	8,52	709
Změna (B2)	3,95	-570	3,96	-615

Tabulka 19 uvádí, že oba scénáře předpovídají zvýšení průměrné roční teploty, ovšem mezi oběma emisními scénáři je značný rozdíl. Oproti tomu vývoj ročního srážkového úhrnu vykazuje velké snížení oproti klimatickému normálu 1961 - 1990 (snížení téměř na polovinu), ale velmi malý rozdíl v jednotlivých scénářích.

Predikovaná měsíční klimatická data byla využita pro předpověď vývoje stratifikace vodních nádrží v období let 2071 - 2100. Veličiny charakterizující teplotní stratifikaci byly odhadnuty pomocí lineární regrese. Lineární regrese popisuje vztah mezi dvěma nezávislými veličinami, který má charakter přímky. [56] Tento vztah lze popsat rovnicí 4:

Rovnice 4 – **Vzorec pro výpočet lineární regrese** [56]

$$y = a \cdot x + b$$

kde:

y vysvětlovaná (závislá) proměnná

x vysvětlující (nezávislá) proměnná

a konstanta (směrnice přímky)

b regresní koeficient

Lineární regrese využívá metodu nejmenších čtverců – cílem je najít takovou kombinaci koeficientů a , b , aby byl součin druhých mocnin rozdílů od dané přímky nejmenší možný. [56]

Odhad povrchové teploty, hloubky epilimnia a průměrné teploty epilimnia byl získán mnohonásobnou lineární regresí. Mnohonásobná lineární regrese zahrnuje více proměnných (2 a více) a jejich vzájemné spolupůsobení na stanovovanou veličinu. [57] Vztah pro mnohonásobnou lineární regresí uvádí rovnice 5:

Rovnice 5 – **Vztah pro mnohonásobnou lineární regresí** [57]

$$y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + c \cdot x_3$$

kde:

y *vysvětlovaná (závislá) proměnná*

x_1, x_2, x_3 *vysvětlující (nezávislé) proměnné*

a *konstanta*

b, c, d *regresní koeficienty*

Obyčejnou lineární regresí byla dopočítána predikce hloubky počátku hypolimnia. Do regresní vztahu byla vždy použita klimatická veličina s nejvyšší hodnotou korelačního koeficientu. Výsledné predikce jsou uvedeny zvlášť pro každou nádrž.

5.7.1. Predikce Josefův důl

Předpokládané průměrné měsíční teploty vzduchu a měsíční srážkové úhrny pro klimatickou stanici Bedřichov v letech 2071 - 2100 jsou pro oba emisní scénáře uvedeny v tabulce 20.

Tabulka 20 – Průměrné měsíční teploty a měsíční srážkové úhrny Bedřichov, predikce (klimatický normál 2071-2100) [52]

Měsíc (-)	2071-2100 - A2		2071-2100 - B2	
	Teplota (°C)	Srážky (mm)	Teplota (°C)	Srážky (mm)
1	0,7	42	-1,8	42
2	0,1	55	-1,9	59
3	2,8	50	1,8	45
4	9,0	51	7,0	52
5	14,0	53	13,0	57
6	17,7	42	16,7	49
7	21,1	71	19,6	71
8	22,0	83	20,5	73
9	15,9	73	14,4	67
10	10,1	46	8,6	54
11	5,6	42	5,1	44
12	0,9	56	-0,6	50

Tabulka 21 - Statistické charakteristiky klimatických dat pro stanici Bedřichov (1938-2018)

Měsíční srážkové úhrny za období 1938-2018, Bedřichov (mm)												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Min	0	0	0	0	0	0	27	18	5	2	2	9
Max	277	167	279	176	243	279	488	430	266	292	229	342
Rozptyl	277	167	279	176	243	279	461	412	261	290	227	334
Průměr	93	74	81	77	104	122	158	132	96	91	95	105
Průměrné měsíční teploty za období 1938-2018, Bedřichov (°C)												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Min	-12,9	-13,1	-6,0	0,0	4,3	8,9	9,9	9,6	6,7	-5,1	-2,5	-7,8
Max	3,5	1,6	3,5	9,0	12,7	15,1	19,1	17,4	13,8	9,6	4,2	2,9
Rozptyl	16,4	14,7	9,5	9,0	8,4	6,2	9,2	7,8	7,1	14,7	6,7	10,7
Průměr	-3,9	-3,1	-0,1	4,0	9,1	12,1	13,8	13,3	9,7	5,7	0,9	-2,5

Tabulka 21 slouží k porovnání předpovídaných měsíčních teplot a srážek s daty za sledované časové období. Je zjevné, že podle obou emisních scénářů dojde ke zvýšení teploty v zimním i v letním období. Zároveň je možné si všimnout, že zatímco ve sledovaném období byly zaznamenány již i vyšší teploty, než jaké jsou předpovídané emisními scénáři, predikované průměrné teploty v letních měsících překračují všechny naměřené hodnoty od roku 1938. Měsíční srážkové úhrny by se podle obou emisních scénářů měly výrazně snížit (zhruba na polovinu průměrných hodnot za období 1938-2018).

Prognóza teplotní stratifikace včetně dosazovaných proměnných je uvedena v tabulkách 22 a 23.

Tabulka 22 – Predikce parametrů teplotní stratifikace vodní nádrže Josefův Důl (vícenásobná lineární regrese) s využitím programu [58]

POVRCHOVÁ TEPLOTA (°C)		Emisní scénář A2	Emisní scénář B2
$A = 15,659 - 0,02279 \cdot B - 0,009742 \cdot C + 0,3648 \cdot D$			
A	<i>povrchová teplota (°C)</i>	<u>21,5</u>	<u>21,1</u>
B	<i>průměrná měsíční teplota (°C)</i>	21,1	19,6
C	<i>měsíční úhrn srážek (mm)</i>	71	71
D	<i>průměrná teplota za dva předcházející měsíce (včetně aktuálního) (°C)</i>	19,4	18,1
PRŮMĚRNÁ TEPLOTA EPILIMNIA (°C)			
$A = 15,346 + 0,4243 \cdot B$			
A	<i>průměrná teplota epilimnia (°C)</i>	<u>19,9</u>	<u>19,3</u>
B	<i>průměrná teplota vzduchu za šest předcházejících měsíců (včetně aktuálního) (°C)</i>	10,8	9,4
HLOUBKA EPILIMNIA (m)			
$A = 13,717 - 0,5281 \cdot B$			
A	<i>hloubka epilimnia (m)</i>	<u>3,2</u>	<u>3,5</u>
B	<i>průměrná teplota epilimnia (°C)</i>	19,9	19,3

Tabulka 23 - Predikce parametrů teplotní stratifikace vodní nádrže Josefův Důl (lineární regrese)

HLOUBKA SKOČNÉ VRSTVY		Emisní scénář A2	Emisní scénář B2
$y = -0,6471x + 8,8876$			
x	<i>hloubka epilimnia (m)</i>	3,20	3,51
y	<i>hloubka skočné vrstvy (m)</i>	<u>6,82</u>	<u>6,61</u>
HLOUBKA POČÁTKU HYPOLIMNIA			
$y = 0,6503x + 7,0085$			
x	<i>hloubka skočné vrstvy (m)</i>	6,82	6,61
y	<i>hloubka počátku hypolimnia (m)</i>	<u>11,44</u>	<u>11,31</u>

Celkový souhrn výsledné predikce teplotní stratifikace nádrže Josefův důl pro období 2071 - 2100 je obsahem tabulky 24.

Tabulka 24 – Predikce teplotní stratifikace nádrže Josefův důl pro období 2071-2100

den	rok	Povrchová teplota	Hloubka epilimnia	Průměrná teplota epilimnia	Hloubka skočné vrstvy	Hloubka počátku hypolimnia
(-)	(-)	(°C)	(m)	(°C)	(m)	(m)
Josefův důl (1995-2018)						
22.8.	1995	19,69	4,00	19,60	8,00	12,00
24.7.	1996	15,20	5,00	15,11	11,00	16,00
27.5.	1999	15,45	2,00	14,32	1,00	3,00
12.7.	1999	17,65	5,00	17,10	5,00	10,00
21.7.	1999	20,85	1,00	20,71	11,00	12,00
11.7.	2000	14,97	6,00	14,94	4,00	10,00
25.7.	2000	16,45	9,00	13,36	3,00	12,00
29.5.	2001	14,71	8,00	14,68	2,00	10,00
27.7.	2001	16,00	9,00	13,46	5,00	14,00
3.6.	2002	15,20	4,00	14,75	6,00	10,00
28.6.	2002	20,10	1,00	19,88	9,00	10,00
3.6.	2003	15,20	4,00	14,75	6,00	10,00
17.7.	2003	19,38	6,00	16,77	3,00	9,00
17.7.	2003	20,32	6,00	17,06	3,00	9,00
17.7.	2003	20,72	6,00	16,98	4,00	10,00
17.6.	2004	16,90	8,00	14,02	5,00	13,00
30.6.	2004	15,30	6,00	15,28	4,00	10,00
25.7.	2005	16,62	5,00	16,44	8,00	13,00
6.7.	2007	16,95	4,00	16,38	7,00	11,00
25.6.	2008	20,10	3,00	19,40	6,00	9,00
23.7.	2010	15,40	4,00	15,39	3,00	7,00
21.7.	2011	18,48	4,00	18,47	4,00	8,00
16.7.	2013	17,26	5,00	16,69	8,00	13,00
18.7.	2014	17,05	7,00	16,50	6,00	13,00
22.7.	2015	19,12	5,00	17,50	5,00	10,00
18.7.	2016	20,10	5,00	18,47	4,00	9,00
25.7.	2017	19,10	4,00	17,27	4,00	8,00
23.5.	2018	16,30	2,00	15,28	3,00	5,00
14.7.	2018	18,30	5,00	17,90	5,00	10,00
28.7.	2018	21,20	4,00	20,19	9,00	13,00
15.8.	2018	21,80	4,00	21,00	8,00	12,00
19.9.	2018	18,30	4,00	18,05	4,00	8,00
PRŮMĚR		17,82	4,84	16,80	5,44	10,28
Predikce (2071-2100), scénář A2						
		21,55	3,20	19,92	6,82	11,44
ROZDÍL OD PRŮMĚRU 1995-2018		3,73	-1,65	3,12	1,38	1,16
Predikce (2071-2100), scénář B2						
		21,13	3,51	19,32	6,61	11,31
ROZDÍL OD PRŮMĚRU 1995-2018		3,31	-1,33	2,52	1,18	1,03

Podle obou klimatických scénářů by mělo následkem uvažované klimatické změny dojít (v porovnání s průměrem za období 1995 - 2018) ke zvyšování povrchové teploty v rozmezí 3,3 – 3,7 °C, snížení hloubky epilimnia při letní stratifikaci o 1,3 až 1,7 m, zároveň však k zvýšení průměrné teploty epilimnia o 2,5 – 3,1 °C, prohlubování skočné vrstvy v rozmezí 1,2 – 1,4 m a hloubka počátku hypolimnia by se měla posunout zhruba o 1 m hlouběji.

5.7.2. Predikce Souš

Prognózu průměrných měsíčních teplot a měsíčních srážkových úhrnů pro období 2071 - 2100 v tabulce 25 lze opět porovnat s průměry za měřené období 1951 - 2018 v tabulce 26.

Tabulka 25 - Průměrné měsíční teploty a měsíční srážkové úhrny Souš, predikce (klimatický normál 2071-2100) [52]

Měsíc	2071-2100 - A2		2071-2100 - B2	
	Teplota (°C)	Srážky (mm)	Teplota (°C)	Srážky (mm)
1	0,7	45	-1,8	45
2	0,1	59	-1,9	63
3	2,8	54	1,8	48
4	9,0	55	7,0	56
5	14,0	57	13,0	61
6	17,6	45	16,7	52
7	21,0	76	19,6	76
8	21,9	89	20,5	78
9	15,8	78	14,4	72
10	10,0	49	8,6	58
11	5,5	45	5,1	47
12	0,9	60	-0,6	54

Tabulka 26 – Statistické charakteristiky klimatických dat pro stanici Desná . Souš (1951-2018)

Měsíc	Měsíční srážkové úhrny za období 1951-2017, Desná - Souš (mm)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Min	0	10	19	3	21	40	33	33	0	0	2	15
Max	384	269	318	207	269	289	367	435	286	261	259	451
Rozptyl	384	259	299	204	248	249	334	402	286	261	257	436
Průměr	125	98	100	79	97	118	149	124	100	98	112	140
Měsíc	Průměrné měsíční teploty za období 1951-2018, Desná - Souš (°C)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Min	-9,7	-12,9	-5,3	0,1	5,6	8,9	9,9	9,6	0,0	0,0	-2,8	-7,8
Max	3,5	1,3	3,5	7,3	13,4	16,1	19,1	17,1	13,5	9,1	4,0	2,9
Rozptyl	13,2	14,2	8,8	7,2	7,8	7,2	9,2	7,5	13,5	9,1	6,8	10,7
Průměr	-3,9	-3,4	-0,5	3,8	9,1	12,4	13,9	13,4	9,6	5,5	0,8	-2,6

Z porovnání vyplývají obdobné závěry jako pro Josefův důl – průměrné měsíční teploty mají dle obou klimatických scénářů výrazný kladný trend, teploty od dubna do listopadu jsou pro klimatický normál 2071 - 2100 vyšší než maxima průměrných měsíčních teploty za období 1951 - 2018. Dle obou emisních scénářů by měly být i srážkové úhrny pro stanici Desná – Souš zhruba poloviční oproti období 1951 - 2018. Predikce vývoje teplotní stratifikace nádrže Souš podle obou emisních scénářů je včetně dosazovaných proměnných uvedena v tabulkách 27 a 28.

Tabulka 27 - Predikce parametrů teplotní stratifikace vodní nádrže Souš (vícenásobná lineární regrese) s využitím programu [58]

	Emisní scénář A2	Emisní scénář B2
POVRCHOVÁ TEPLOTA (°C)		
$A = 12,242 + 0,3859 \cdot B - 0,01298 \cdot C + 0,1221 \cdot D$		
A povrchová teplota (°C)	<u>21,7</u>	<u>21,0</u>
B průměrná měsíční teplota (°C)	21,0	19,6
C měsíční úhrn srážek (mm)	76	76
D průměrná teplota za dva předcházející měsíce (včetně aktuálního) (°C)	19,3	18,1
PRŮMĚRNÁ TEPLOTA EPILIMNIA (°C)		
$A = 9,092 + 0,6846 \cdot B - 0,08473 \cdot C$		
A průměrná teplota epilimnia (°C)	<u>21,8</u>	<u>20,9</u>
B průměrná měsíční teplota vzduchu (°C)	21,0	19,6
C průměrná teplota vzduchu za dva předcházející měsíce (včetně aktuálního) (°C)	19,3	18,1
HLOUBKA EPILIMNIA (m)		
$A = 13,281 - 0,5241 \cdot B$		
A hloubka epilimnia (m)	<u>1,84</u>	<u>2,30</u>
B průměrná teplota epilimnia (°C)	21,8	20,9

Tabulka 28 - Predikce parametrů teplotní stratifikace vodní nádrže Souš (lineární regrese)

	Emisní scénář A2	Emisní scénář B2
HLOUBKA SKOČNÉ VRSTVY		
$y = 0,6803x - 8,2067$		
x	průměrná teplota epilimnia (m)	21,84
y	hloubka skočné vrstvy (m)	<u>6,65</u>
HLOUBKA POČÁTKU HYPOLIMNIA		
$y = -0,04x + 11,252$		
x	prům. srážk- úhrn za poslední 2 měsíce před stratifikací (°C)	50,83
y	hloubka počátku hypolimnia (m)	<u>9,22</u>

Celkový přehled vývoje stratifikace podle emisních scénářů A2 a B2 je shrnut v tabulce 29. Dle prognózy by klimatická změna podle scénářů A2 a B2 znamenala zvýšení povrchové teploty o 3,6 - 4,3 °C, snížení hloubky epilimnia v rozmezí 1,8 až 2,2 m, očekávaný růst průměrné teploty epilimnia je o 4,7 – 5,6 °C. Součástí vývoje je také zvětšování hloubky skočné vrstvy, a to o 2,8 až 3,4 m. Hloubka počátku hypolimnia má rostoucí trend, počátek hypolimnia by měl být dle predikce o 1,6 – 1,9 m hlouběji.

Tabulka 29 - Predikce teplotní stratifikace nádrže Josefův důl pro období 2071-2100

den	rok	Povrchová teplota	Hloubka epilimnia	Průměrná teplota epilimnia	Hloubka skočné vrstvy	Hloubka počátku hypolimnia
(-)	(-)	(°C)	(m)	(°C)	(m)	(m)
Souš (1995-2018)						
24.8.	1995	16,92	5,00	16,93	3,00	8,00
25.7.	1996	15,45	4,00	15,45	1,00	5,00
8.7.	1999	15,27	0,00	-	2,00	2,00
13.7.	1999	17,77	6,00	16,64	2,00	8,00
22.7.	1999	20,19	2,00	20,14	7,00	9,00
7.7.	2000	15,40	4,00	16,09	3,00	7,00
20.7.	2000	12,88	8,00	12,87	1,00	9,00
20.7.	2001	17,30	4,00	17,30	2,00	6,00
4.6.	2002	16,80	5,00	14,77	2,00	7,00
4.6.	2002	16,20	6,00	14,67	1,00	7,00
26.6.	2002	19,65	3,00	19,09	6,00	9,00
23.7.	2002	18,04	4,00	17,98	4,00	8,00
23.7.	2002	17,96	4,00	18,00	4,00	8,00
9.6.	2003	20,90	3,00	20,71	5,00	8,00
21.7.	2003	19,56	5,00	17,80	5,00	10,00
28.6.	2004	15,70	6,00	15,33	3,00	9,00
30.6.	2005	19,89	2,00	19,63	7,00	9,00
13.6.	2006	15,84	2,00	15,79	2,00	4,00
12.7.	2007	19,70	5,00	17,16	3,00	8,00
30.6.	2008	19,20	3,00	18,87	5,00	8,00
9.6.	2010	16,34	2,00	15,63	1,00	3,00
25.6.	2010	15,04	7,00	14,97	1,00	8,00
6.6.	2012	12,94	7,00	12,58	2,00	9,00
14.7.	2016	19,00	3,00	18,73	5,00	8,00
23.5.	2018	15,90	0,00	13,31	4,00	4,00
14.7.	2018	18,20	5,00	17,03	4,00	9,00
15.8.	2018	21,30	4,00	20,61	4,00	8,00
16.9.	2018	18,10	5,00	17,45	3,00	8,00
PRŮMĚR		17,41	4,07	16,27	3,29	7,36
Predikce (2071-2100), scénář A2						
		21,72	1,84	21,84	6,65	9,22
ROZDÍL OD PRŮMĚRU 1995-2018		4,31	-2,24	5,57	3,36	1,86
Predikce (2071-2100), scénář B2						
		21,01	2,30	20,94	6,04	8,98
ROZDÍL OD PRŮMĚRU 1995-2018		3,60	-1,77	4,68	2,76	1,63

5.7.3. Predikce změny evapotranspirace vlivem klimatické změny v letech 2071-2100

Součástí diplomové práce je také přehled již stanoveného vlivu emisních scénářů A2 a B2 na změnu evapotranspirace nádrže Josefův důl.

Pojem evapotranspirace označuje souhrnný výraz pro výpar z vegetace a půdy. Posledním typem výparu podle povrchu je výpar z volné hladiny. Intenzita výparu závisí na dodávce energie pro fázový přechod (sluneční energie), odvodu vodní páry od výparného povrchu (aby nedošlo

k nasycení – vítr) a dodávka vody k výparnému povrchu. Stanovuje se potenciální evapotranspirace, která značí maximální možnou intenzitu evapotranspirace za daných místních a klimatických podmínek, a aktuální evapotranspirace, tedy skutečně probíhající (potenciální ET je limitní hodnotou pro aktuální ET). Stanovení intenzity výparu lze provést několika způsoby – výpočtem z bilanční rovnice (s použitím výparoměrných nádob, lyzimetrů) a mikrometeorologickým měřením (výpočet z nepřímých měření). Existuje velká řada empirických vztahů pro určení intenzity výparu. Data použitá v této diplomové práci byla získána empirickým vztahem dle Hamona (jedná se o teplotní vztah, viz rovnice 6). [59]

Rovnice 6 – Stanovení potenciální evapotranspirace – Hamon [59]

$$ET_{Hamon} = \frac{2,98 N \cdot e_s}{T_a + 273,3} \text{ (mm} \cdot \text{den}^{-1}\text{)}$$

kde:

N maximální možná doba slunečního svitu (hod·den⁻¹)

T_a průměrná denní teplota vzduchu (°C)

e_s napětí nasycených vodních par (mm)

Predikci potenciální evapotranspirace dle emisních scénářů A2 a B2 pro jednotlivé měsíce přibližuje tabulka 30.

Tabulka 30 – Predikce potenciální evapotranspirace pro období 2071-2100, Josefův důl [54]

Měsíc	Emisní scénář A2		Emisní scénář B2	
	Teplota (°C)	ET _{Hamon} (mm/den)	Teplota (°C)	ET _{Hamon} (mm/den)
1	0,7	0,5	-1,8	0,4
2	0,1	0,5	-1,9	0,5
3	2,8	0,7	1,8	0,7
4	9,0	1,3	7,0	1,1
5	14,0	2,0	13,0	1,8
6	17,7	2,6	16,7	2,4
7	21,1	3,1	19,6	2,8
8	22,0	2,9	20,5	2,7
9	15,9	1,8	14,4	1,6
10	10,1	1,1	8,6	1,0
11	5,6	0,7	5,1	0,6
12	0,9	0,4	-0,6	0,4

Hodnota současné potenciální evapotranspirace je 410 mm/rok. V případě naplnění emisního scénáře **B2** by vzrostla na **489 mm/rok**, pro scénář **A2** by ET byla **538 mm/rok**. [54]

Detailnějšímu popisu predikovaných změn a jejich případným důsledkům je věnována kapitola 6.

6. Hodnocení environmentálních dopadů uvažovaných změn teplotní stratifikace.

Jelikož všechny emisní scénáře predikují zvýšení teploty vzduchu a snížení množství srážek, je možné odvodit důsledky provázející klimatickou změnu. Tyto dopady budou níže popsány pouze obecně (ovlivnění aspektů závislejících na teplotě), neboť není možné posoudit (není cílem této práce), jaké rozsahy by měly vyvolané změny, i kdyby se budoucnost skutečně odehrávala podle modelových scénářů.

Níže jsou vyjmenovány oblasti, které budou ovlivněny, pokud bude ve 21. století pokračovat klimatická změna předvídaným způsobem. Podrobnému popisu závislosti různých veličin na teplotě a jejich významu pro vodní prostředí je věnována celá kapitola 3, proto je zde uveden pouze stručný souhrn pravděpodobných změn:

- Dojde ke změnám fyzikálních veličin, které přímo závisejí na teplotě – s rostoucí teplotou se snižuje hustota, roste povrchové napětí a rozpustnost látek ve vodě, viskozita naopak s rostoucí teplotou klesá. Tyto fyzikální vlastnosti jsou zásadní pro existenci a podobu vodní bioty – přímo ovlivňují stavbu jejich těla, životní pochody, rozmnožování či aktivitu a přímo determinují, jaké druhy se v nádrži vyskytují. S rostoucí teplotou jsou vodní organismy aktivnější, ale množství dostupného kyslíku se snižuje.
- Rozpustnost látek zahrnuje i rozpustnost kyslíku ve vodě – s rostoucí teplotou klesá rozpustnost kyslíku ve vodě, tedy jeho koncentrace (množství dostupné pro vodní živočichy a chemické reakce). Vyšší teplota představuje výhodné podmínky pro rozvoj rostlin a živočichů, zejména makrofyt, řas a některých druhů ryb. Nadměrný vývoj zelených rostlin může představovat problémy s nedostatkem kyslíku.
- Zvýšení teploty může mít za následek úhyn citlivějších druhů či jejich vymizení z nádrže. Přirozenou sukcesí budou nahrazeny přizpůsobivějšími teplomilnými druhy, situace může vyústit i v masový výskyt několika málo rezistentních druhů. Důsledkem může být snížení biodiverzity a ovlivnění trofického řetězce.
- Následkem rozvoje primární produkce je velký obsah rozpuštěného CO_2 ve vodě (vzniklého při rozkladu organické hmoty). To může mít jednak za následek kyslíkové problémy, anaerobní procesy až vznik anoxických podmínek, které mají vliv na kvalitu vody v nádrži, ale též snížení pH vody. Průběh rozpuštěného CO_2 ve vertikálním profilu nádrže má inverzní charakter ke stratifikaci O_2 . Stratifikace pH má inverzní průběh ke stratifikaci CO_2 , z čehož vyplývá, že existuje kladný trend mezi obsahem rozpuštěného kyslíku a hodnotou pH (pH roste při intenzivní fotosyntéze).

- Změna pH přímo působí na vodní organismy – definuje podobu biotické složky, změnou pH může docházet k uvolňování nebezpečných látek chemickými reakcemi (tím dochází k ovlivnění celkového koloběhu látek ve vodě).
- Z předchozího vyplývá, že případné zvýšení teploty má vliv též na trofii nádrže (větší teplota podporuje větší úživnost nádrže), následkem klimatické změny tedy může dojít ke změně nádrže z oligotrofní na eutrofní.
- Zvýšená teplota také představuje větší riziko eutrofizace nádrže – kyslíkové problémy, snížení světelné prostupnosti vody, znečištění vody organickými látkami, výskyt nebezpečných cyanotoxinů, problémy při vodárenském využití vody či vliv na rekreační a komerční využití nádrže.
- Zvýšení teploty o 1 °C představuje zvýšení elektrolytické konduktivity o 2 %. Pro predikované změny teploty by to znamenalo následující: v povrchové vrstvě obou vodních nádrží zvýšení konduktivity o zhruba 7 - 8 %, v epilimniu nádrže Josefův důl průměrné zvýšení konduktivity o 5 - 6 %, pro Souš 9 - 11 %, dále snížení konduktivity v hypolimniu nádrže Josefův důl o 3 - 4 % a v nádrži Souš asi o 2 %. Vyšší konduktivita představuje větší povrchové napětí a možné snížení rychlosti fotosyntézy (nebezpečí pro vodní organismy – možné vymizení halofóbních druhů, rozvoj makrovegetace a zelených řas).
- Vyšší teplota vody může být problematická, neboť obě vodní nádrže zásobují rozsáhlé okolí pitnou vodou. Může docházet k rozvoji planktonu a sinic způsobujících hygienické a technické problémy, problémy při úpravě vody a ovlivnění organoleptických vlastností vody. Otázkou ovšem je, jak bude úprava vody vypadat koncem 21. století a jaké technologie budou do té doby vyvinuty.
- Vzhledem k predikovanému růstu teplot v zimním období (který byl potvrzen i analýzou reálných naměřených dat v rámci této práce) je možné, že dojde zejména ke změně stratifikace vodních nádrží jako takové. Jedná se zejména o zimní stratifikaci, která je podmíněna existencí ledu na hladině. Ten nádrž chrání před promícháváním větrem a umožňuje vznik zvrstvení. Pokud by led v zimních měsících nepokrýval hladinu, zimní stratifikace nádrží by úplně zmizela, což by vedlo k úplné změně typu nádrže dle režimu míchání vody. V našich podmínkách by se nádrže dimiktické nejspíše změnilly na nádrže polymiktické či oligomiktické. Absence ledu by ale mohla přinést i výhody – menší úmrtnost ryb způsobenou kyslíkovým deficitem (Winter Kill).

- Klimatická změna přináší celkovou nejistotu ohledně vodní bilance vodních nádrží (dostatečnost přítoku, dotování srážkami, zajištění minimálního průtoku, zajištění dostatečného množství pitné vody pro obyvatelstvo a dostatku vody pro energetické využití).
- Všechny tyto změny představují vážný zásah do ekosystému vodních nádrží.

7. Závěr a doporučení

Cílem studie bylo analyzovat dosavadní vývoj stratifikace nádrží Josefův důl a Souš za sledované období 1995 – 2018 a na základě odhadu klimatických dat pro dva emisní scénáře predikovat možné změny teplotní stratifikace pro období 2071 – 2100 a popsat environmentální dopady těchto změn.

Při zpracování diplomové práce byly využity tyto programy: Autodesk AutoCAD 2014, ArcGIS ArcMap 10.3, MS Office Word, MS Office Excel, PDFCreator 2.4, GraphPad-InStat-3.10. a CTPA (Change and Trend Problem Analysis), WMO (2001).

Dosavadní změny byly analyzovány z dat naměřených v letech 1995 – 2018. Z grafů s více měřeními za rok vyplývá průběh teplotní stratifikace ve vegetačním období – na konci května je stratifikace málo výrazná nebo se teprve utváří, svého maxima dosahuje stratifikace zpravidla na konci července či počátkem srpna, poté dochází ke snižování hloubky a teploty epilimnia. V roce 2018 bylo provedeno měření i v září, z vytvořeného grafu vyplynulo, že v září byla hloubka epilimnia největší, ačkoliv už klesala teplota povrchové vrstvy vody. Důvodem mohly být nezvykle vysoké teploty během září. Ačkoliv nejsou dostupná data pro září v jiných letech, je vzhledem k rostoucím teplotám (klimatické změně) možné, že se časově oddálí vrchol teplotní stratifikace nádrží. Výpočtem korelačních koeficientů byly zjištěny kladné trendy ve sledovaném období (Josefův důl: povrchová teplota, průměrná teplota epilimnia, Souš: hloubka epilimnia, hloubka počátku hypolimnia, povrchová teplota, průměrná teplota epilimnia). Z vyhodnocení měřených dat jsou zřejmé rozdíly mezi oběma nádržemi (zejména z vyhodnocení vzájemných vztahů) – pro Josefův důl bylo zjištěno výrazně méně vzájemných souvislostí, než pro Souš. Větší hloubky nádrže Josefův důl nevykazovaly významnou souvislost s žádnými použitými parametry. Rozdíl mezi nádržemi je způsoben téměř dvojnásobným rozdílem v jejich hloubce. Nádrž Souš je díky menší hloubce více ovlivňována klimatickými parametry a aktuálním stavem počasí. Nádrž Josefův důl je ve větších hloubkách velmi málo ovlivňována, vzájemný vztah vykazuje spíše s klimatickými parametry za delší časové období. Teplotní stratifikace nádrže Josefův důl je díky své hloubce více výrazná a méně ovlivňována než stratifikace nádrže Souš.

Byly zkoumány obecné trendy vývoje klimatických veličin – průměrné roční teploty vzduchu, průměrných teplot v jednotlivých měsících, průměrných teplot v zimním a vegetačním období a množství srážkových úhrnů (roční, měsíční, za zimní a vegetační období). Analýzou dat (pro stanici Bedřichov za období 1938 - 2018, pro stanici Desná – Souš za období 1951-2018) bylo zjištěno, že amplituda křivky průběhu teplot v čase se v posledních deseti letech zmenšila, hodnoty minimálních teplot se zvyšují, v posledních dvaceti letech byla odchylka od klimatického normálu 1961 - 1990 vždy kladná. Výrazné kladné trendy byly potvrzeny i stanovením korelačních koeficientů – kladná

závislost byla zjištěna mezi časem a průměrnou roční teplotou a průměrnými měsíčními teplotami v zimním období (listopad až květen), průměrné teploty v letních měsících naopak vykazují nevýznamný ale klesající trend. Z grafů ani z posouzení korelačních koeficientů nevyplývaly žádné významné trendy týkající se srážkových úhrnů.

Na základě predikovaných klimatických dat pro dva emisní scénáře byl proveden odhad vývoje stratifikace v letech 2071 - 2100. Emisní scénář B2 představuje mírnější variantu budoucího vývoje, nicméně oba klimatické scénáře počítají se zvýšením průměrné roční teploty vzduchu a výrazným snížením srážkových úhrnů. Podle obou scénářů by došlo vlivem klimatické změny (v porovnání s průměrem za období 1995 - 2018) k těmto změnám: zvyšování povrchové teploty (Josefův důl o 3,3 – 3,7 °C, Souš o 3,6 - 4,3 °C), snížení hloubky epilimnia při letní stratifikaci (Josefův důl o 1,3 až 1,7 m, Souš v rozmezí 1,8 až 2,2 m), zvýšení průměrné teploty epilimnia (Josefův důl o 2,5 – 3,1 °C, Souš o 4,7 – 5,6 °C), prohlubování skočné vrstvy (Josefův důl v rozmezí 1,2 – 1,4 m, Souš o 2,8 až 3,4 m) a počátek hypolimnia ve větší hloubce (Josefův důl o 1 m, Souš o 1,6 – 1,9 m hlouběji).

Uvažované změny by měly řadu environmentálních dopadů, zejména by se jednalo o ovlivnění fyzikálních, chemických a biologických vlastností vody a jejich rozmístění ve vertikálním profilu nádrže (změna stratifikace pH, CO₂, konduktivity, rozpuštěného kyslíku, organismů, ...). Zvýšení teploty vody představuje snížení rozpustnosti kyslíku ve vodě, snížení viskozity a hustoty a zvýšení povrchového napětí. Malé změny vlastností vody zásadně ovlivňují celý vodní ekosystém. Vyšší teplota podporuje rozvoj primární produkce, ale může mít za následek úhyn citlivých druhů. Možným důsledkem změny teploty je přirozená sukcese, kterou by byly nahrazeny citlivé druhy přizpůsobivějšími organismy, snížení biodiverzity a zjednodušení trofického řetězce. Rizikem je masový výskyt několika málo rezistentních druhů – zejména makrofyt, řas a sinic, jejichž větší rozvoj by mohl způsobit kyslíkové problémy a změnu trofie nádrže. Pro zájmové nádrže jsou vzhledem k jejich vodárenskému využití zásadní zejména změny související s kvalitou vody. Zvýšení teploty může představovat snížení kvality vody (rozvoj planktonu, více organické hmoty, změna chemismu, zhoršení organoleptických vlastností vody) a hygienické a technické problémy při úpravě vody. Vlivem klimatické změny by mohlo dojít k zásadní změně stratifikace nádrží jako takové – ročního cyklu. Rostoucí teploty v zimním období znamenají menší pravděpodobnost výskytu ledu na vodní hladině. Led brání v zimě promíchávání vodního objemu větrem, což podmiňuje vznik zimní stratifikace. Pokud by nedocházelo k zimní stratifikaci, došlo by ke změně dimiktických nádrží na některou jinou kategorii (oligomiktické nebo polymiktické). Zvýšení teploty by ale mohlo mít i výhody – bez ledu by se snížila zimní úmrtnost ryb z nedostatku kyslíku ve vodě.

Klimatická změna nejspíše ovlivní vodní bilanci nádrží (přítok, srážky, výpar, zajištění minimálního průtoku, dostatečná zásoba pitné vody a vody pro provoz vodních elektráren).

Pro zmírnění dopadů klimatické změny na vodárenské nádrže Josefův důl a Souš je třeba snažit se dosáhnout klimatického scénáře B2 a zároveň se snažit udržet povodí obou nádrží zalesněné. Zalesnění povodí snižuje teplotu přítoků do nádrží a mělo by tudíž zmírňující vliv na změny vyvolané oteplováním.

Ze studií vyplývá, že smrkové porosty, které jsou stále v Jizerských horách dominantní, jsou ohroženy klimatickou změnou. Vzhledem k tomu, že v současné době pokračuje výsadba, ve které převažuje smrk, hrozí v souvislosti se změnou klimatu vážné problémy do budoucna. Nejspíše bude rovněž docházet k velké zátěži zájmové oblasti emisemi (zejména dusíku). Z toho vyplývá, že pro oblast Jizerských hor je zásadní včas přizpůsobit druhovou skladbu lesních porostů klimatické změně. Druhová skladba lesa na konci 21. století by měla odpovídat změně klimatu (například by měla mít menší záchytnou plochu pro emisní spad).

8. Seznam použité literatury

- [1] CULEK, Martin, Vít GRULICH, Zdeněk LAŠTŮVKA a Jan DIVÍŠEK. *Biogeografické regiony České republiky* [online]. Brno: Nakladatelství Masarykovy univerzity, 2013 [cit. 2018-10-26]. ISBN 978-80-210-8182-6. Dostupné z: <https://munispace.muni.cz/index.php/munispace/catalog/book/807>
- [2] Vodní dílo Souš. *Povodí Labe* [online]. [cit. 2018-10-06]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_sous.pdf
- [3] Jizerské hory. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-10-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jizersk%C3%A9_hory
- [4] Základní údaje o CHKO. *Správa CHKO Jizerské hory a krajské středisko Liberec* [online]. AOPK ČR [cit. 2018-10-27]. Dostupné z: <http://jizerskehory.ochranaprirody.cz/zakladni-udaje-o-chko/>
- [5] Black Triangle (region). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-10-26]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Black_Triangle_\(region\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Black_Triangle_(region))
- [6] KEMEL, Miroslav. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000, 289 s.
- [7] AMBROŽOVÁ, Jana. *Aplikovaná a technická hydrobiologie*. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003, 226 s. ISBN 80-708-0521-8.
- [8] KABELKOVÁ, Ivana. *Čistota vod - Nádrže* [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT, Praha. In: kzei.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <http://kzei.fsv.cvut.cz/cs/vyuka/predmety/magisterske/yvcv>
- [9] ŠVEHLÁKOVÁ, Hana, Jana NOVÁKOVÁ a Iva MELČÁKOVÁ. *Ekologické aspekty technické hydrobiologie multimediální učební text: Teplotní stratifikace a cirkulace vody* [online]. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006 [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/>
- [10] Křeček, Josef. *Hydrologie - Limnologie* [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT, Praha. In: hydraulika.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydrology/vyuka/HYL/default.htm>
- [11] Monomictic lake. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Monomictic_lake
- [12] LEHMUSLUOTO, Pasi. Stratification Types. *Expedition Indodanau* [online]. 2003 [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: http://www.kolumbus.fi/pasi.lehmusluoto/stratification_types.htm
- [13] ŠLÉGL, Jiří. Zkáza Viktoriina jezera?: Zarůstání vody tokozelkou nadmutou. *Vesmír: věda, příroda, člověk, společnost – časopis s tradicí od roku 1871* [online]. 2000, 5. 3. 2000, 79(2000/3), 164 [cit. 2018-11-25]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2000/cislo-3/zkaza-viktoriina-jezera.html>
- [14] Meromictic lake. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Meromictic_lake
- [15] Amictic lake. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Amictic_lake
- [16] KŘEČEK, Josef a Zuzana HOŘICKÁ. Degradation and recovery of mountain watersheds: the Jizera Mountains, Czech Republic. In: *Unasylva - No. 207 - REHABILITATION OF DEGRADED SITES: An international journal of forestry and forest industries* [online]. 52. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <http://www.fao.org/docrep/004/y2795e/y2795e09.htm>

- [17] NÁBĚLKOVÁ, Jana. *Hydrochemie – Vlastnosti vod a jejich složení* [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT, Praha. In: *kzei.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <http://kzei.fsv.cvut.cz/cs/vyuka/predmety/bakalarske/hhzi>
- [18] KABELKOVÁ, Ivana. *Čistota vod – Druhy znečištění* [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT, Praha. In: *kzei.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <http://kzei.fsv.cvut.cz/cs/vyuka/predmety/magisterske/yvcv>
- [19] Metodické pokyny k vyšetřování havarijních úhynů ryb: Meteorologické a fyzikálně-chemické parametry. In: *Rybářská specializace MENDELU* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <http://www.rybarstvi.eu/dok%20rybari/Zaklad%20hydrochemie%20I.pdf>
- [20] KABELKOVÁ, Ivana. *Čistota vod – Úvod a přirozené složení vod* [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT, Praha. In: *kzei.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <http://kzei.fsv.cvut.cz/cs/vyuka/predmety/magisterske/yvcv>
- [21] NÁBĚLKOVÁ, Jana. *Hydrobiologie - Úvod* [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT, Praha. In: *kzei.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <http://kzei.fsv.cvut.cz/cs/vyuka/predmety/bakalarske/hhzi>
- [22] SLAVÍK, Ondřej a Zdeněk VANČURA. *Metodický postup na zlepšení migrační průchodnosti příčných překážek ve vodních tocích ČR: příručka pro žadatele OPŽP*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2013. ISBN 978-80-7212-581-4. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/priode_blizka_opatreni/\\$FILE/OOV_121130_Migrace_prirucka.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/priode_blizka_opatreni/$FILE/OOV_121130_Migrace_prirucka.pdf)
- [23] Pollert, Jaroslav. *Zdravotní inženýrství - Úvod* [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT, Praha. In: *kzei.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <http://kzei.fsv.cvut.cz/cs/vyuka/predmety/bakalarske/hhzi>
- [24] Chráněná krajinná oblast Jizerské hory: Přírodní poměry. *Ochrana přírody a krajiny v České republice* [online]. AOPK ČR [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/euoparc/index.php?p=prirodni_pomery&site=CHKO_jizerske_hory_cz
- [25] Acidifikace půdy. *Portál eAGRI: resortní portál Ministerstva zemědělství* [online]. [cit. 2018-11-06]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/acidifikace-pudy/>
- [26] Počasí - Rekordy - Česká republika. *Počasí* [online]. [cit. 2018-10-27]. Dostupné z: <http://www.lukasdrnek.estranky.cz/clanky/rekordy/ceska-republika.html>
- [27] ČERVINKA, Jiří. Katastrofa na Bílé Desné. *Svět outdooru: Outdoorové vybavení zblízka* [online]. 16.07.2007 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <https://www.svetoutdooru.cz/literatura-mapy/katastrofa-na-bile-desne/>
- [28] KOČÍ, Vladimír. Acidifikace. *Naučná stezka* [online]. Základní článek Hnutí Brontosaurus Rozruch [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: http://www.toulcuvdvur.cz/stezkazp/p7_acidifikace.html
- [29] Okyselování půdy. *Vítejte na Zemi: multimediální ročenka životního prostředí* [online]. [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=okyselovani_pudy&site=puda
- [30] KŘEČEK, Josef, Martin HAIGH, Thomas HOFER, Eero KUBIN a Catrin PROMPER, ed. *Ecosystem Services of Headwater Catchments* [online]. Heidelberg: Springer, 2017 [cit. 2018-11-01]. ISBN 978-3-319-57945-0. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=Z64sDwAAQBAJ&pg=PA170&lpg=PA170&dq=Ho%C5%99ick%C3%A1+et+al.+2015&source=bl&ots=nH5qi1tT8J&sig=q76yA0bzQmYb68v9s9DJ37-B9Bo&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKewii_bj_iLPeAhUBkCwKHZMkCToQ6AEwBHoECAYQAQ#v=onepage&q=Ho%C5%99ick%C3%A1%20et%20al.%202015&f=false

- [31] PROCHÁZKOVÁ, Michaela. *Přírodovědná a historická charakteristika Jizerských hor*. Praha, 2016. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, Katedra biologie a environmentálních studií. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vasilis Teodoridis, Ph.D.
- [32] KREIDLOVÁ, Veronika. *Vířníci nádrží Jizerských hor v období acidifikace a zotavování z acidifikace*. Plzeň, 2017. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická, Centrum biologie, geověd a envigogiky. Vedoucí práce Mgr. Jiří Kout, Ph.D.
- [33] Ochrana přírody. *Správa CHKO Jizerské hory a krajské středisko Liberec* [online]. AOPK ČR [cit. 2018- 11- 07]. Dostupné z: <http://jizerskehory.ochranaprirody.cz/cinnost-pracoviste/ochrana-prirody/>
- [34] HUŠEK, Jiří. Chráněná krajinná oblast Jizerské hory – 50 let. In: *Ochrana přírody* [online]. 1. AOPK ČR, 2018, 18. 2. 2018 [cit. 2018-10-31].
- [35] HUŠEK, Jiří. The Jizera Mountains Protected Landscape Area. In: *Ochrana přírody* [online]. 3. AOPK ČR, 2018, 24. 6. 2008 [cit. 2018-10-31].
- [36] *Územně analytické podklady*. AOPK ČR. [WMS Služba]. [online] 2018. [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://gis.nature.cz/arcgis/services>
- [37] Vodní nádrž Souš. *Kultura.cz: Prostě všechny vstupenky* [online]. [cit. 2018-10-06]. Dostupné z: <http://www.kultura.cz/profile/7841-vodni-nadrz-sous>
- [38] Hydrologická data. *GeoPORTAL: Povodňový portál Libereckého kraje* [online]. [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <https://maps.kraj-lbc.cz/mapserv/dpp/dokumenty/hydrologie.htm>
- [39] ŠÁMALOVÁ, Zlata. Souš na Černé Desné. *Povodí Labe* [online]. 26.2.2010 [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/cs/obsah/sous-na-cerne-desne-_848.html
- [40] Vodní nádrž Souš. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BE_Sou%C5%A1
- [41] Vyhláška č. 471/2001 Sb.: Vyhláška Ministerstva zemědělství o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly. *Zákony pro lidi.cz* [online]. 31.12.2001 [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-471#p3>
- [42] Přehrada Souš. *Severní Čechy. info: aktuální informace o turistice, ubytování a službách* [online]. [cit. 2018-10-08]. Dostupné z: <http://www.severnicechy.info/dr-cs/667-prehrada-sous.html>
- [43] Vodní dílo Josefův důl. *Povodí Labe* [online]. [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_josefuvdul.pdf
- [44] Přehrada Josefův Důl. *SMIDLIB.CZ: Toulky krajem* [online]. 12.6.2017 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <http://www.smidlib.cz/toulky-krajem/prehrada-josefuv-dul.html>
- [45] Josefův Důl na Kamenici. *Povodí Labe* [online]. 2009 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/cs/obsah/josefuv-dul-na-kamenici-_863.html?AspxAutoDetectCookieSupport=1
- [46] STRÁNSKÝ, Václav. Rozhovor měsíce. *Vodní hospodářství* [online]. 1999, (8) [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/4d735ff9c7e64b58c12569e7001a2d9c/3291494f1b1434aec1256a21005494e1?OpenDocument>
- [47] Souš. *Chalupa SEVERKA: Chalupa k pronájmu v Jizerských horách* [online]. [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <https://www.chalupaseverka.cz/sluzby/prehrady/sous/>

- [48] DOČKAL, Martin. *Ekologie – Změny klimatu a ekosystém* [přednáška]. Fakulta stavební ČVUT, Praha. In: *storm.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-28-12]. Dostupné z: <http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/EKDE/EKOLOGIE/Prez-Klima.pdf>
- [49] Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC). *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/mezivladni_panel_pro_zmenu_klimatu
- [50] IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- [51] LIĐÁK, Jan. *Globální změny klimatu a jejich dopad na alpinská povodí: Vysoké Tatry, Slovensko*. Praha, 2010. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Josef Křeček, CSc.
- [52] *The PRUDENCE project: Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects* [online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://prudence.dmi.dk/>
- [53] WEINBERGER, S. a M. VETTER. Using the hydrodynamic model DYRESM based on results of a regional climate model to estimate water temperature changes at Lake Ammersee. *Ecological Modelling: International Journal on Ecological Modelling and Systems Ecology*. 2012, (244), 38-48. ISSN 0304-3800.
- [54] VRTIŠKA, J. *Vliv klimatických změn a kyselá atmosférické depozice na hydrologický režim horského povodí*. Praha, 2001. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Josef Křeček, CSc.
- [55] Korelační koeficient. In: *Katedra psychologie* [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <http://kps.pdf.cuni.cz/skalouda/korelace.doc>
- [56] Lineární regrese v Excelu. *ExcelTown.com* [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://exceltown.com/navody/pokrocila-analyza-regrese-korelace/linearni-regrese-v-excelu/>
- [57] RABUŠIC, Ladislav. Mnohonásobná lineární regrese. In: *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1423/podzim2004/SOC418/multipl_regres_1.pdf
- [58] Motulsky, H.J. 2018. *GraphPad InStat 3.0 User's Guide*. GraphPad Software, Inc., San Diego California USA (www.graphpad.com).
- [59] Evapotranspirace. In: *Katedra hydrauliky a hydrologie - K141* [online]. 2009, 8.12.2009 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydrology/vyuka/HYL/data/AHL-05.pdf>

9. Seznam příloh

- A.1.1 Teplotní stratifikace - více dostupných měření, Josefův důl
- A.1.2 Teplotní stratifikace - více dostupných měření, Souš
- A.2 Průběh průměrných měsíčních teplot v letech 1995 - 2018, Josefův důl
- A.3 Průběh průměrných měsíčních teplot v letech 1995 - 2018, Souš