

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra krajinného managementu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv srážko-odtokových událostí na koncentraci živin ve vodách

Autor bakalářské práce: Patricie Stejskalová

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

České Budějovice, 2015

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Patricie STEJSKALOVÁ**
Osobní číslo: **Z14493**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Vliv srážko-odtokových událostí na koncentrace živin ve vodách**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce bude mít charakter literární rešerše týkající se srážko-odtokových událostí v povodí. Přednostně bude řešena problematika změn koncentrací živin ve vodách při těchto událostech. Rešerše bude zpracována tak, aby sloužila jako podklad pro případné zpracování diplomové práce zabývající se touto problematikou.

Rámcový obsah literární rešerše:

Oběh vody v přírodě.

Popis vzniku srážko-odtokových epizod.

Rozdělení srážko-odtokových událostí.

Popis faktorů ovlivňujících odtok při srážkové epizodě.

Změna koncentrací živin ve vodách při srážko-odtokových událostech.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30 stran textu**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Serrano, E.S. **Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals**. HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 1997, 468 s.

Maidment, D.R. (ed.). **Handbook of hydrology**. McGraw-Hill, New York, 1993, 1424 s.

Davie, T. **Fundamentals of hydrology**. Routledge, New York, 2008, 200 s.

Novotny, V. **Water quality (Diffuse pollution and watershed management)**. John Wiley and sons, New York, 2003, 864 s.


časopisy: **Hydrological processes, Journal of hydrology, Physics and chemistry of the earth, Hydrological studies, atd.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav BYSTRICKÝ, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu


Datum zadání bakalářské práce: **7. července 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2015**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13 ④
370 05 České Budějovice


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

L.S.


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 7. července 2014

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 20.4.2015

.....

Patricie Stejskalová

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a trpělivost při tvorbě mé bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala za podporu mé rodině.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je přiblížit problematiku změn koncentrací živin ve vodách při srážko-odtokových událostech. V rámci práce jsou určeny nejvíce problematické živiny tj. dusík a fosfor. Dále je zde popsán hydrologický cyklus. Větší pozornost je věnována atmosférických srážkám. Je zde charakterizován vznik srážko-odtokových událostí a také jsou zde popsány faktory, které ovlivňují změny koncentrací těchto živin při srážko-odtokových událostech. Další část práce tvoří kapitoly, ve kterých jsou popisovány koloběhy zmíněných živin a jejich formy výskytu ve vodách. V poslední části práce jsou uvedeny koncentrace živin a jejich změny při srážko-odtokových událostech.

KLÍČOVÁ SLOVA: hydrologický cyklus, srážko-odtokové události, dusík, fosfor, koncentrace živin

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to approach the issue of nutrients concentration changes in water during rainfall drainage events. The most problematical nutrients are set within the frame of this thesis, these are nitrogen and phosphorus. The thesis further describes the hydrological cycle. Major interest is devoted to atmospherical rainfalls. The thesis defines the origin of rainfall drainage events and also describes the factors, which influence the changes of nutrients concentrations during rainfall drainage events. Another part of the thesis is formed by the chapters describing the cycle of above mentioned nutrients and their forms of occurrence in water. The last part of the thesis is devoted to nutrients concentration and its changes during rainfall drainage events.

KEY WORDS: hydrological cycle, rainfall drainage events, nitrogen, phosphorus, nutrients concentration

OBSAH

1. ÚVOD	8
2. HYDROLOGICKÝ CYKLUS	9
2.1 OBĚH VODY V PŘÍRODĚ	10
2.1.1 Atmosférické srážky	10
2.1.2 Celkový odtok	17
2.1.3 Infiltrace	18
2.1.4 Evapotranspirace	19
3. POPIS VZNIKU SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH EPIZOD	20
3.1 HYDROGRAM	20
3.2 INTENZITA SRÁŽEK	21
3.3 POVODNĚ A SUCHO	22
4. POPIS FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍ ODTOK PŘI SRÁŽKO-ODTOKOVÉ EPIZODĚ	23
5. FOSFOR	31
5.1 ZDROJE FOSFORU	31
5.2 GLOBÁLNÍ CYKLUS FOSFORU	32
5.3 VÝSKYT FOSFORU VE VODÁCH	34
6. DUSÍK	35
6.1 ZDROJE DUSÍKU	36
6.2 GLOBÁLNÍ CYKLUS DUSÍKU	38
6.3 VÝSKYT DUSÍKU VE VODÁCH	40
7. KONCENTRACE ŽIVIN VE VODÁCH	41
7.1 VLIV SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH UDÁLOSTÍ NA KONCENTRACI ŽIVIN VE VODÁCH	44
8. ZÁVĚR	46
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47

1. ÚVOD

Voda je nezbytnou podmínkou života na Zemi. V historii jsme se mnohokrát přesvědčili, že právě voda představuje limitující faktor - osídlení regionu, rozvoje společnosti. Naše republika leží na střeše Evropy. Žijeme téměř výhradně z našich vodních zdrojů. Jenom na nás záleží, kolik vody a v jaké kvalitě si v krajině zadržíme (Cílek a kolektiv, 2004).

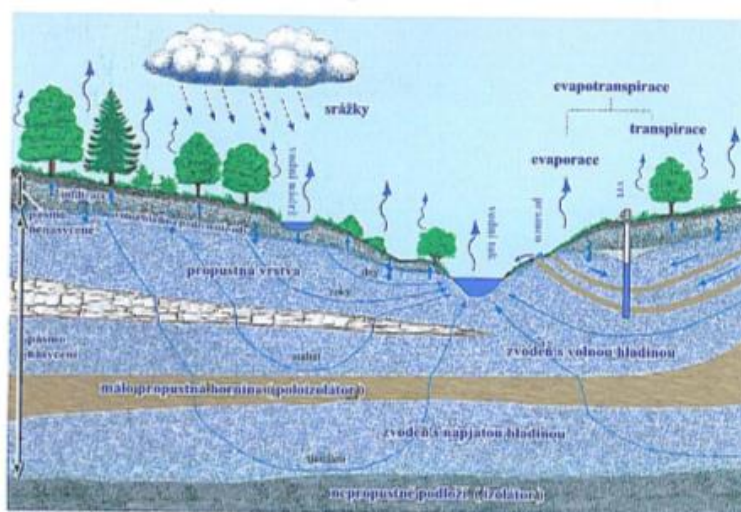
Na vodu se obvykle pohlíží ze dvou základních hledisek, a to jednak jako na vodu biologickou, jež je stavební součástí živých organismů a jejich fyziologicko-energetických procesů, jednak jako na vodu technickou, či lépe řečeno technologickou, pokud jde o formy jejího hospodářského a sociálního využití. V průsečíku těchto dvou materiálních skupin je však ještě určitá detekční kategorie vody ekologické, která charakterem svého režimu a kvalitou čistoty indikuje úroveň životního prostředí čili stav ekologických vlastností území, kterým dynamicky proniká a jehož obraz v syntetické formě rychle a pružně prokresluje a snímá při svém toku směrem od nejvyšších míst terénu do míst nejnižších. Tento fenomén, týkající se prakticky vody povrchové a částečně i vody podpovrchové umožňuje toto prostředí z ekosystémového hlediska posoudit a hodnotit (Zachar a kolektiv, 1987).

Už od dávných dob využívá člověk vodní zdroje pro své potřeby a aktivity. Tím automaticky narušuje koloběh vody. Lidský faktor se projevuje až po určité době, ale není dobře rozpoznatelný. Znečištění se dokáže v koloběhu udržet až několik let. Největší znečištění nastalo zavedením fosforečných a dusíkatých hnojiv v zemědělství. Tyto živiny mají pozitivní dopad na vývoj organismů, ale způsobují silné znečištění vodních zdrojů, půdy a atmosféry.

Cílem této práce je přiblížit pojem hydrologický cyklus a blíže se zaměřit na atmosférické srážky a s nimi spojené srážko-odtokové události, které mají vliv na koncentraci živin ve vodách jak v České republice, tak ve světě.

2. HYDROLOGICKÝ CYKLUS

Voda tvoří jednu z chemicky nejjednodušších sloučenin ve vesmíru- obsahuje dva atomy vodíku a jeden atom kyslíku. Představuje zároveň jednu z nejméně předvídatelných a nejsložitěji chovajících sloučenin. Země vyniká mezi planetami sluneční soustavy výskytem vody ve velkém množství a v mnoha podobách. Voda se nachází v různých formách a skupenstvích na zemském povrchu, pod povrchem v půdě i v zemské kůře a také v atmosféře, především v troposférické vrstvě do průměrné výšky 11 kilometrů. Popisovaný výskyt vymezuje hydrosféru naší planety (Němec a Hladný, 2006). Množství vody v horninách, v atmosféře i na povrchu země je více či méně stejné. Voda, která toto množství tvoří, je neustále v pohybu a přechází z jednoho prostředí do druhého. Aby se mohla takto pohybovat, potřebuje kinetickou energii, kterou získává ze slunečního záření, ze zemské tepelné energie, geochemické energie a ze zemské gravitace. Tyto energetické zdroje jsou příčinou stálého hydrologického oběhu (Pačes, 1982). Voda se účastní v organickém i anorganickém světě mnoha reakcí. Oběh (cyklus) vody v přírodě propojuje chemické a biochemické cykly. Většina sedimentů, půdy i fosilní paliva vznikla buď ve vodním prostředí anebo pod přímým vlivem vody. Hydrologický oběh je model toho, jak se voda pohybuje mezi zemí a atmosférou v různých státech a v různých skupenstvích. Oběh se skládá z odpařování kapalné vody na vodní páru, která se pohybuje v atmosféře. V určité fázi pára kondenzuje na kapalinu, nebo na pevné části a znovu dopadá na povrch jako srážky (Davie, 2002).



Obrázek č. 1: Hydrologický cyklus (Němec a Hladný, 2006)

2.1 OBĚH VODY V PŘÍRODĚ

Oběh vody neboli hydrologický cyklus nemá začátek ani konec. Zahrnuje mnoho rozmanitých procesů výměny vody, změny skupenství, přenosu energie a chemických reakcí. Oběh vody zajišťuje fungování klimatického systému Země. Průměrný roční pohyb vody, vodní páry a ledu představuje největší přesun jedné chemické sloučeniny v rámci celého zemského systému (Němec a Hladný, 2006). Příčinnou tohoto oběhu je nerovnoměrné množství slunečního záření, které dopadá na zemský povrch, dále rotace a přitažlivost Země. Energie slunečního záření způsobuje vypařování vody jak z povrchu souše, tak zejména z hladiny světových oceánů. V důsledku tepelných rozdílů na zemském povrchu nastává proudění vzdušných mas, čímž se tyto rozdíly vyrovnávají a současně jsou vodní páry unášeny mnohdy do značných vzdáleností od míst svého vzniku. Největší množství vody se vypařuje z oceánů a moří. Převážná část vypařené vody opět spadne na jejich hladinu a pouze malá část (8,3 %) se dostane až nad kontinenty, kde vodní páry kondenzují a dopadají ve formě atmosférických srážek na zemský povrch. Srážková voda z povrchu se převážně vypaří, část však po povrchu odteče a dostane se do vodních toků, kterými je odváděna zpět do moří a oceánů. Relativně nejmenší množství vody se vsákne do půdy a hornin a doplní zásoby podzemní vody (Kříž, 1983). Hydrologický oběh se skládá ze čtyř hlavních částí, které jsou atmosférické srážky, celkový odtok, infiltrace neboli podzemní odtok a evapotranspirace (Pačes, 1982).

2.1.1 Atmosférické srážky

Poklesnutí atmosférického tlaku a teploty způsobuje, že stoupající proudy vlhkého vzduchu jsou přesycené vodní parou. Z tohoto důvodu pak kapalná voda kondenzuje na malých částech pevných látek, které se ve vzduchu vyskytují. Tyto části jsou tvořeny organickou hmotou například organickým detritem neboli neživou organickou hmotou, ale také hmotou anorganickou, například jílovými částicemi ze zvětralých hornin, sopečným prachem, malými krystalky soli, které vznikly při vypařování mořské vody a částmi prachu a popela průmyslového původu. Tyto prvotní kapky vody nejsou větší než 0,04 milimetru. Jelikož jsou velmi lehké, jsou unášeny proudy vzduchu a tím tvoří mraky.

Mraky jsou tedy shlukem vody ve vzduchu. Stabilita mraků a jejich obsahu závisí na teplotě vzduchu, na velikosti kapek, na pohybu proudů vzduchu a na přítomnosti kondenzačních jader.

Jakmile je stabilita mraků narušena, většinou změnou tlaku vzduchu a teplotou vzduchu, vznikají atmosférické srážky (Pačes, 1982). Úhrn srážek je rozdělen na různé hydrologické procesy, vzhledem k závislosti na klimatu. V mírném pásu, to znamená mimo pásmo tropické a polární, se jedna třetina srážek odpaří, jedna třetina tvoří povrchový odtok a další třetina slouží k doplnění zásob podzemní vody. V suchých a polosuchých oblastech je podíl odpařování mnohem větší na úkor doplnění hladiny podzemní vody. S příchodem satelitního sledování zemského povrchu v posledních třiceti letech, je nyní možné získat informace o globální distribuci těchto tří procesů, a tím je možné sledovat, jak se hydrologický cyklus ve světě pohybuje (Davie, 2002).

Jako atmosférické srážky označujeme částice vzniklé následkem kondenzace vodní páry v ovzduší a vyskytující se v kapalně nebo pevně fázi v atmosféře, na povrchu země nebo předmětech v atmosféře. Pokud atmosférické srážky vypadávají z oblaků, ale nedosahují na povrch země, označují se jako virga (srážkové pásy pod základnami oblaků) (Kopáček a kolektiv, 2005).

Ke vzniku srážek mohou přispívat čtyři příčiny výstupných pohybů vzduchu. Proud vzduchu se při stoupání do prostoru s nižším tlakem (neboť s výškou tlaku ubývá) rozpíná, neboli zvětšuje svůj objem, a tím se ochlazuje. Jeho poměrná vlhkost se proto zvyšuje. V určitém okamžiku dojde ke stavu nasycení vzduchu. Neviditelná vodní pára začíná kondenzovat, tvoří se oblaky a později srážky (Němec a Hladný, 2006). Schopnost vzduchu pojmout vodní páru je závislá na teplotě. Je-li chladnější vzduch s menším obsahem vody je pára zachována, je-li ale teplejší vzduch s větším obsahem vody a ochladí se, začne vodní pára kondenzovat do kapalně nebo tuhé formy, například kapičky vody nebo částičky ledu (Davie, 2002).

Mechanismus vzniku padajících atmosférických srážek (déšť, mrholení, sněžení, kroupy atd.) spočívá v tom, že z určitého důvodu část maličkých oblačných elementů, tj. vodních kapiček, popř. ledových částic, začne intenzivně narůstat na úkor ostatních.

Teorie vysvětlující tento mechanismus, které má meteorologie v současné době k dispozici, lze v podstatě rozdělit do dvou skupin:

1. Ke vzniku srážek je v mírných a vyšších zeměpisných šířkách nezbytná přítomnost ledových částic v oblaku. Při teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ menší část přechlazených maličkých vodních kapiček obsahující vhodná krystalizační jádra zmrzne v ledové částičky. Protože tlak nasycené vodní páry nad ledem je menší než tentýž tak nad kapalnou vodou, vytvoří se pak záhy stav, kdy kapičky přechlazené vody se vypařují, zatímco ledové částice narůstají postupným ukládáním molekul vodní páry na svém povrchu. Kromě toho je přechlazená voda z termodynamického hlediska nestabilní, a jestliže je kapička přechlazené vody zachycena při teplotě pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ledovou částicí, takřka okamžitě zmrzne. Právě naznačenými způsoby dochází k intenzivnímu narůstání ledových částic na úkor přechlazených vodních kapiček. Po dosažení kritické velikosti, kdy jejich pádová rychlost převýší rychlost vzestupných pohybů vzduchu v oblaku, začnou ledové částice padat dolů, v oblasti pod hladinou teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (hladina nulové izotermy) tají a mění se v dešťové kapky. Podle právě popsané teorie je tedy každá dešťová kapka svým původem roztátým kouskem ledu. Počet původních ledových jader přítomných v oblaku obvykle sám o sobě nestačí ke vzniku dostatečného počtu ledových částic. Významným dějem kompenzujícím tento nedostatek je tzv. sekundární nukleace ledu související např. s tříštěním ledových částic při jejich vzájemných srážkách, vznik fragmentů ledu při mrznutí relativně velkých vodních kapek, vnesení ledových krystalků do oblaku zvenčí atd..
2. Skutečnost, že zejména v nízkých zeměpisných šířkách často vypadávají intenzivní srážky, např. ve formě tropických lijáků z tzv. teplých oblaků nalézajících se níže než hladina nulové izotermy, vyvrací představy o výlučné platnosti právě zmíněné teorie. Vzniklou mezeru vyplňuje tzv. koalescenční teorie vzniku srážek.

Mezi kondenzačními jádry se vyskytují obří kondenzační jádra o poloměrech alespoň několik mikrometrů, jejichž koncentrace bývá řádově menší (nejčastěji asi o 4-6 řádů) než koncentrace všech kondenzačních jader přítomných ve vzduchu. Tyto relativně velké částice jsou pravděpodobně tvořeny hydroskopickými krystalky mořských solí a za vhodných podmínek na nich mohou vznikat kapky až o řád větších rozměrů než kapičky tvořené na ostatních kondenzačních jádrech. Takto vzniklé relativně větší kapky pak zachycují při vzájemných srážkách menší kapičky (koalescence – vzájemné splývání srážejících se kapek), narůstají do takových rozměrů, že začnou padat skrze vzestupné proudy vzduchu formující oblak, při pádu dále urychleně narůstají koalescencí s malými kapkami a dorostou-li určité velikosti (poloměr asi 2-5 mm podle konkrétních podmínek uvnitř oblaku), samovolně se rozpadají na několik málo větších zbytků a značný počet mikroskopických kapiček. Vlastní příčinou jejich rozpadu je skutečnost, že blána povrchového napětí už není schopna udržet pohromadě narůstající objem vody a praská. Větší zbytky jsou pak vzestupnými pohyby vzduchu znovu unášeny vzhůru, přičemž opět narůstají koalescencí, znovu začnou padat a celý proces se opakuje. Tímto způsobem vznikne uvnitř oblaku jakousi „řetězovou reakcí“ zásoba větších vodních kapek a stačí pak impuls, například v podobě oslabení vzestupných proudů vzduchu působením tíže nahromaděné vody, aby došlo k jejich vypadnutí. Nezbytnou podmínkou pro vznik srážek podle koalescenční teorie je velký obsah vodní páry a kapalné vody v oblaku, což je typické právě pro oblaky v rovníkové zóně (Kopáček a kolektiv, 2005).

2.1.1.1 Rozdělení atmosférických srážek

Obvykle rozeznáváme atmosférické srážky padající (někdy též vertikální) a k nim patří déšť, mrznoucí déšť, mrholení, mrznoucí mrholení, sníh, sněhové krupky, sněhová zrna, krupky, zmrzlý déšť, ledové jehličky a kroupy. Jako srážky usazené (někdy též horizontální) označujeme rosu, jíní, námrazu a ledovku (Kopáček a kolektiv, 2005).

1. DÉŠŤ

Děšť padá z dešťových oblaků typu Ns, Cb. Vodní kapky mají kulovitý tvar o průměru 0,5 mm a větším. Dešťová voda není chemicky čistá, obsahuje pevné nebo rozpuštěné látky (v závislosti na složení, druhu kondenzačního jádra), dále obsahuje pohlčený kyslík, dusík, oxid uhličitým oxidy dusíku, bakterie a jiné nečistoty, získané z atmosféry. Intenzita deště je v meteorologii rozdělena následovně: Za slabý dešť se považuje takový, který dá úhrn menší než 1 mm za hodinu, mírný dešť dá 1–5 mm, silný 5-10 mm, prudký 10-15 mm, lijavec 15-23 mm, přívalový dešť 23-58 mm, průtrž mračen více než 58 mm za hodinu. Deště můžeme dělit také podle délky trvání na krátkodobé neboli místní a dlouhodobé čili krajinné, regionální (Kemel, 1996).

2. MRHOLENÍ

Poměrně stejnoměrná srážka složená výhradně z jemných vodních kapek (průměr menší než 0,5 mm), které jsou velmi hustě u sebe (Vesecký a kolektiv, 1965).

3. SNÍH

Sníh je jeden ze stavů vody v tuhém skupenství, u kterého se pravidelně měří úhrn denních srážek v mm (pozdolným roztáním sněhu spadlého do ombrometru), výška nového sněhu v cm (které se vytvořila na sněhové desce za poslední den), celková výška sněhové pokrývky (na sněhové lati) a vodní hodnota sněhové pokrývky (v mm vodního sloupce, který vznikne po roztání její celkové výšky) (Němec a Hladný, 2006).

4. SNĚHOVÉ KRUPKY

Sněhové krupky jsou opálově bílé částičky skoro kulového tvaru o průměru 2-5 mm, jejichž povrch je drsný. Po dopadu na zem se rozbíjejí. Vypadávají z Ns nebo z Cb při přízemních teplotách okolo 0 °C (Kemel, 1996).

5. SNĚHOVÁ ZRNA

Jsou též označována jako krupice. Tuhé srážky skládající se z malých zrněk ledu, neprůhledných, obvykle zploštělého nebo polodlouhého tvaru a velikosti menší než 1 mm. Při dopadu neodskakují, ani se nerozbíjejí a nejčastěji vypadávají pouze z malých množství oblaků druhu St nebo z mlhy, nikdy však v přeháňkách (Kopáček a kolektiv, 2005).

6. ZMRZLÝ DÉŠŤ NEBO KRUPKY

Srážka pozůstávající z průhledných nebo průsvitných ledových zrn, kulového nebo nepravidelného tvaru, vzácně též kulovitěho tvaru, o průměru 5 mm nebo méně (Vesecký a kolektiv, 1965).

7. KROUPY

Kroupy vznikají v Cb s bouřkami v letním období jako velké neprůhledné ledové částičky kulového, případně nepravidelného tvaru o průměru 5 až 50 mm, nebo i větším. Vytvářejí se narůstáním mnoha vrstev na sobě, kroupy jsou tím větší, čím déle setrvaly v přechlazeném mraku (padají, vznášejí se i jsou unášeny směrem nahoru silnými stoupavými vzdušnými proudy). Uvnitř je zárodečné sněhové jádro (Kemel, 1996).

8. LEDOVÉ JEHLIČKY

Jednoduché ledové krystalky ve tvaru jehlic vznášející se ve vzduchu nebo klesající malou pádovou rychlostí k zemi. Za velmi nízkých teplot se mohou vyskytovat i při jasné obloze a bývají pozorovány především v polárních oblastech (při ozáření slunečními paprsky označovány jako tzv. diamantový prach), ve středních zeměpisných šířkách pouze v období silných mrazů (Kopáček a kolektiv, 2005).

9. MLHA

Suspenze velmi malých vodních kapiček ve vzduchu, které zmenšují horizontální dohlednost při zemi na méně než 1 km (Vesecký a kolektiv, 1965).

10. ZVÍŘENÝ SNÍH

Množství sněhových částeczek zdvižených od země dostatečně silným a turbulentním větrem (Vesecký a kolektiv, 1965).

11. VODNÍ TRÍŠŤ

Množství vodních kapiček zdvižených větrem z velké vodní plochy, obvykle z hřebenů vln, a přenášených vzduchem na kratší vzdálenosti (Vesecký a kolektiv, 1965).

12. ROSA

Usazenina vodních kapek na předmětech na zemi nebo blízko povrchu země, vznikající kondenzací vodní páry z okolního čistého vzduchu (Vesecký a kolektiv, 1965).

13. JÍNÍ

Krystalická usazenina ledových částic, nejčastěji ve tvaru šupin, jehliček, peříček nebo vějířků (Vesecký a kolektiv, 1965).

14. NÁMRAZA

Ledová usazenina složená ze zrnitých částic, více méně oddělených vzduchovými mezerami, mnohdy bývá zdobena krystalickými útvary v podobě větviček (Vesecký a kolektiv, 1965).

15. LEDOVKA

Vyskytuje se v zimě při postupu relativně teplých a vlhkých vzduchových hmot do oblastí zemského povrchu prochlazených během předcházejícího mrazového období (například při přechodu teplých front) (Kopáček a kolektiv, 2005).

16. TROMBA (SMRŠŤ)

Vzduchový vír, často velmi prudký, projevující se oblačným sloupem nebo oblačným kuželem nálevkovitého tvaru, který vychází ze základny Cb a obvykle končí „keřovitým“ útvarem, složeným buď z vodních kapiček zdvižených větrem z mořské hladiny, nebo z prachových písečných nebo jiných částic zdvižených z povrchu země (Vesecký a kolektiv, 1965).

Základní druhy oblaků

1. Cirrus	Ci	6. Nimbostratus	Ns
2. Cirrocumulus	Cc	7. Stratocumulus	Sc
3. Cirrostratus	Cs	8. Stratus	St
4. Altocumulus	Ac	9. Cumulus	Cu
5. Altostratus	As	10. Cumulonimbus	Cb

(Kemel, 1996)

2.1.2 Celkový odtok

Základní součástí oběhu vody na Zemi je odtok vody z kontinentů do oceánů. Ten probíhá v tzv. velkém oběhu, což je výměna vody mezi oceány a pevninou, to znamená výpar z oceánů → přenos vzduchovými hmotami nad pevninu → srážky na pevninu → odtok řekami a odtok pod zemským povrchem do oceánů (Němec a Hladný, , 2006). Vodní toky odvádějí vodu z krajiny, přičemž jsou zásobovány povrchovým i podpovrchovým odtokem vody. Povrchový odtok se uplatňuje v případě, kdy se srážková voda nestačí vsakovat do půdy, většinou tedy po intenzivních srážkách nebo při rychlém tání sněhu.

Celkový odtok je množství vody, které z území odeče. Je tvořen několika složkami, povrchovým odtokem v potocích a řekách a také podpovrchovým odtokem. Povrchový odtok vzniká při srážkové činnosti. Z vody, která při srážkách napršela do vodních nádrží, do potoků a do řek. Podpovrchový odtok je tvořen vodou podzemní, která pomalu prosakuje póry a puklinami pod povrchem daného území. Podpovrchový odtok je z celkového odtoku jen nepatrnou součástí, výjimkou jsou krasové oblasti, ve kterých se nachází pískovec, který je silně propustný (Pačes, 1982). Rozdíl mezi srážkami a odpařováním v pozemním pásmu je odtok (Davie, 2002).

Velikost odtoku je závislá na intenzitě srážek, na délce a teplotě srážek, typu vegetace, propustnosti hornin a půdy, zastavěnosti terénu, sklonu svahu, drenážních konstrukcí apod. (Pačes, 1982).

2.1.3 Infiltrace

Poměrně největší množství sladké vody se nachází pod zemským povrchem, kde je shromážděno přibližně 97 % pevninské vody v kapalném stavu. Polovina zásob všech podzemních vod je v hloubkách větších než 800 metrů pod povrchem. Podpovrchová voda se zde vyskytuje ve dvou základních formách – jako půdní vláhla nebo hlouběji, jako podzemní voda (Němec a Hladný, 2006). Nepřetržitý oběh vody probíhá jak v atmosféře, tak i na zemském povrchu a také pod povrchem.

Podpovrchový oběh vody začíná infiltrací, neboli vsakováním srážkové, popřípadě i povrchové vody z toků, jezer a vodních nádrží do půdních vrstev. Půdní vodu z části odebírají rostliny a spotřebovávají ji při fyziologických procesech nebo ji vypaří ze svého povrchu (Kříž, 1983).

Infiltrace znamená poměr mezi množstvím vody, která se zachytí ve vegetaci, vodou, která se z jejího povrchu vypaří ihned a vodou, která skutečně spadne na zemský povrch (určuje ji hustota a typ porostu, rychlost větru, intenzita srážek a teplota) (Pačes, 1982). Zachycováním srážek rostlinami je voda, která je k dispozici pro odpařování ještě před tím, než dosáhne povrchu země (Davie, 2002). Když voda dopadne na zemský povrch, je velmi rychle absorbována půdou a zvětralými horninami. Množství vody, které je horninou pohlceno nebo teče po vrstvách, které jsou méně propustné do koryt řek, a část dosáhne hladiny podzemní vody. Tento proces se nazývá infiltrace (Pačes, 1982).

2.1.4 Evapotranspirace

Část vody, která dopadne na zemský povrch, se vrací do atmosféry vypařováním a transpirací rostlin (Pačes, 1982). Odpařování je tedy přenesení kapalné vody do plynného stavu do atmosféry. K tomu, aby se tento jev mohl uskutečnit, je zapotřebí přítomnost dostupné energie ze slunce nebo z atmosféry. Význam odpařování v hydrologickém oběhu závisí do značné míry na množství přítomné vody a na množství energie. Během vlhkých zimních měsíců v mírném podnebí může být odpařování minoritní složkou hydrologického oběhu z důvodu malého množství energie. Toto se ale mění v průběhu léta, kdy je dostatek energie a odpařování má potenciál se stát významnou částí vodní bilance. Odpařování nad povrchem půdy se vyskytuje dvěma způsoby - buď jako skutečné odpařování z matice nebo jako transpirace půdy z rostlin. Kombinace těchto dvou částí je nazýváno evapotranspirace (Davie, 2002).

3. POPIS VZNIKU SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH EPIZOD

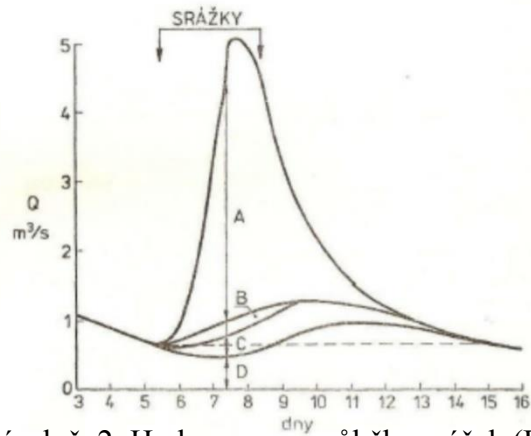
Přeměnu srážek na odtok jako přírodní náhodný proces lidé ovlivňovali a využívali záměrně i bezděčně odnepaměti mnoha způsoby. Změny srážko-odtokových vztahů jsou v mnoha oblastech projevem zásahů do hydrologického cyklu jako celku, i když tento cyklus, v globálním pojetí, je výsledkem oběhu vody nejen na pevnině (Červený a kolektiv, 1984).

S růstem nadmořské výšky vzrůstá srážkový úhrn a klesá vlivem poklesu teplot vzduchu i velikosti výparu. To znamená, že se vzrůstem nadmořské výšky budeme za normálních okolností pozorovat zákonitý vzrůst odtoku. Proto se u nás zvyšuje průměrný roční specifický odtok s nadmořskou výškou, tj. klesá ve směru proudu, tedy se zvětšováním plochy povodí (Kemel, 1996).

3.1 HYDROGRAM

Hydrogram je grafickým vyjádřením naměřených hodnot hydrologického jevu v závislosti na čase. V tomto smyslu rozeznáváme hydrogramy vodních stavů, průtoků a dalších jevů. Prostým názvem hydrogram se míní obvykle hydrogram průtoků, někdy též zvaný čára průtoků. Hydrogram sestavený z průtoků zaznamenaných jednou denně je stupňovitou čarou, která se někdy nahrazuje lomenou čarou vedenou jako spojnice hodnotami denních průtoků. Při plynulém zaznamenávání vodních stavů a průtoků je hydrogram souvislou plynulou křivkou (Šilar, 1996).

Viessmann a Lewis (2003) říká, že hydrogram se skládá ze čtyř prvků: přímý povrchový odtok, průtok, hladina podzemních vod nebo hladina základního toku, a srážky. Rostoucí část hydrogramu je známá jako koncentrační křivka, oblast v blízkosti vrcholu se nazývá hřeben segmentu, padající část se nazývá recese. Tvar hydrogramu závisí na vlastnostech srážek a vlastnostech povodí.



Obrázek č. 2: Hydrogram v průběhu srážek (Pačes, 1982).

Odtok vody v řece Q sestává z povrchového ronů (A), ze srážek dopadlých na hladinu řeky (B), odtoku mezilehlé vody (tzv. hypodermický odtok) do řeky (C) a odtoku podzemní vody (D); čárkovaná čára odděluje přibližně tzv. přímý odtok, tj. odtok povrchové a mezilehlé vody od tzv. základního odtoku tvořeného podzemní vodou (Pačes, 1982).

3.2 INTENZITA SRÁŽEK

Vlivem vysokých intenzit srážek krátkého trvání (např. vyšší intenzity tání sněhu) jsou na malých povodích specifické odtoky, např. stoletého průtoku q_{100} vyvolaného deště vyšší než odtoky téhož významu způsobené táním. S nárůstem plochy povodí se však uplatňuje velmi rychlý pokles intenzity deště (zasahujícího uvažovanou plochu), takže pak specifické odtoky q_{100} odpovídající povodním z tání jsou od určité velikosti povodí vyšší. Uvedené platí zpravidla v místech, kde k počátku jarního tání jsou dostatečné zásoby sněhu, není tomu tak vždy (Kemel, 1996).

- **BOUŘKA**

Červený a kolektiv (1984) uvádí, že bouřka je složitý atmosférický jev, který vzniká jako důsledek fyzikálních pochodů v atmosféře, jejímž charakteristickým projevem jsou elektrické výboje mezi oblaky, v oblaku samotném, nebo mezi oblakem a zemí, provázené hřměním. Téměř vždy se při tomto jevu vyskytují přivalové srážky a ničivý vítr. Většina bouřkových oblaků přechází přes území České republiky natolik rychle, že i značně vydatné srážky za kratší dobu nevyvolají kromě drobnějších lokálních škod bleskové povodně ani na menších tocích. Přesto se však vyskytne každoročně několik případů, kdy k tomuto typu povodní dochází. To nastává při velmi pomalém postupu bouřkové oblačnosti., anebo při opakování lijáků nad určitou lokalitou (Němec a Hladný, 2006).

3.3 POVODNĚ A SUCHO

- **POVODNĚ**

Povodeň je přechodné zvýšení hladiny toku nad úroveň břehů, způsobené náhlým zvětšením průtoků anebo zmenšením průtočnosti koryta (například ledovou zácpou, ucpáním mostních otvorů). Je-li výrazný vzestup průtoků následován poklesem, vytváří se povodňová vlna, kterou v daném příčném profilu na toku charakterizuje tvar, vrchol a objem. Na našich tocích se mohou povodně vyskytnout i několikrát za rok, a to v kterémkoliv ročním období. Četnost výskytu kulminačních průtoků se statisticky zpracovává jako n-leté průtoky. Maximální průtok n-leté povodně je hodnota, která je překročena nebo dosažena v průměru jednou za n let, tj. v některých letech může být překročena několikrát a v jiných letech k jejímu překročení nedojde (Červený a kolektiv, 1984).

- **SUCHO**

Dle Němce a Hladného (2006) není sucho hydrologicky jednoznačně definovatelný pojem. Čím je stav sucha pro jednoho, nemusí být ještě tou samou situací pro druhého. Prakticky sucho nastává za situace, kdy není dostatek vody ve vodním zdroji pro účelovou potřebu určitého uživatele. Takto mohou být v různé době a rozdílně postiženi zemědělci, průmyslové podniky nebo například běžní uživatelé pitné vody. Z odborného hlediska jde o nejednoznačný výraz znamenající v zásadě nedostatek vody v půdě, rostlinách, atmosféře, nebo také v korytech toků, ve vodních nádržích apod. Na rozdíl od povodní, u kterých jde většinou o krátkodobý výskyt nadprůměrného množství vody, je sucho v rámci oběhu vody opačný extrém. Podle trvání se může vodní deficit vyskytovat po omezenou dobu (s délkou v řádu několika dnů, měsíců či sezón) anebo se může projevovat dlouhodobě (například v jednom roce nebo ve více letech až trvale).

4. POPIS FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍ ODTOK PŘI SRÁŽKO-ODTOKOVÉ EPIZODĚ

Tyto faktory ovlivňují jednak samotné množství vody, které je k dispozici pro povrchový odtok, jednak jeho časové rozdělení. Mezi nejdůležitější faktory patří reliéf (tj. morfologické vlastnosti povodí a samotného koryta), poměry geologické, pedologické, charakteristiky vegetačního pokryvu a v neposlední řadě výskyt přirozených nebo umělých nádrží (jezernatost, bažinatost apod.). Působením těchto faktorů je určeno, jaký podíl srážek odeče po povrchu, kdy a v jakém sledu se jednotlivé části srážek dostanou do koryta, zda voda steče rychle po povrchu a způsobí povodeň, nebo vsákne do půdy a dále rozmnoží (nyní již v podstatě mimo přímý dosah výparu) zásoby podzemních vod, které postupně zásobují větší toky a tak se podílejí na jejich nepoměrně vyrovnanějším průtokovém režimu (Kemel, 1996).

- **RELIÉF**

Vliv reliéfu je dán sklonitostními poměry povodí. Čím je sklon území větší, tím jsou rychlosti stékání větší a možnost vsaku vod do terénu menší. Tam, kde je reliéf plošší, voda zůstává po určitou dobu v prohlubních a může se tak výrazně uplatnit výpar i vsak. V prohlubních terénu se zadržené množství vody nemůže zúčastnit rychlého procesu odtoku - tvorby povodňové vlny. Ve vyšších nadmořských výškách je průměrná sklonitost větší, takže velkým dynamickým účinkem rychle proudící vody jsou produkty zvětrávání uvolňovány a odnášeny níže. Odtud plyne, že povrch výše položených území je vytvářen pevnými horninami překrytými vrstvou půdy zpravidla o nepatrné tloušťce. Tato skutečnost vysvětluje všeobecnou zákonitost poklesu specifických odtoků s nárůstem plochy povodí. V zimním období, zvláště pak na jeho konci, jsou v horských oblastech rozloženy zásoby sněhu velmi nerovnoměrně, a to mnohdy vlivem značně rozdílných nadmořských výšek, různého stupně zastínění před sluncem (různá orientace svahů vůči světovým stranám) apod.

Tyto faktory způsobují, že sníh odtává z jednotlivých částí povodí postupně - výsledkem je poměrně značná vyrovnanost horských toků (Kemel, 1996).

Kříž (1983) uvádí, že obecně je možno vliv reliéfu zemského povrchu na vznik i oběh podzemních vod vyjádřit zhruba v tom smyslu, že může spolu s dalšími činiteli (geologická stavba, hydrologické, klimatické aj. podmínky) ovlivnit infiltraci srážkových vod do propustných hornin. V území tvořeném rovinami akumulárního rázu, pánvemi, kotlinami a plochými pahorkatinami, v nichž převládá rovný až mírně zvlněný povrch s menší výškovou členitostí, mohou být příznivější podmínky pro vsak srážkových vod než v členitých pahorkatinách, vrchovinách a zejména hornatinách, kde naopak bývá zpravidla vyšší povrchový odtok vody.

- **HUSTOTA ŘÍČNÍ SÍTĚ**

Hustota říční sítě vykazuje určitou provázanost s nadmořskou výškou. V oblastech s větší sklonitostí a vyššími srážkovými úhrny (při jinak stejných podmínkách) vzniká erozní činností členitější terén s podélnými rýhami, kterými permanentně nebo jen občas teče srážková voda. Těmto oblastem tedy odpovídá zpravidla větší hustota říční sítě, a tedy i lepší možnost povrchového odvodnění. Nízká hustota říční sítě je nepřímým ukazatelem určitých geologických a pedologických poměrů, kdy půda je v průměru propustnější, srážková voda dobře infiltruje a tak povrchový odtok nebývá výrazný (Kemel, 1996).

- **VELIKOST A TVAR POVODÍ**

Velikost a tvar povodí patří mezi charakteristiky rozhodující o čase potřebném k tomu, aby voda, vypadlá na různých dílčích plochách povodí dotekla do uzávěrového profilu. Ovlivňování rychlosti stékání znamená rovněž ovlivnění ztrát výparem a vsakem. Velikost a tvar povodí ovlivňují tvorbu velkých povodní. Jak plyne z metody izochron, velikost plochy povodí, maximální doba dobíhání T_{max} (doba koncentrace) a kritická doba deště (a tedy i intenzita výpočtového deště) spolu velmi úzce souvisejí.

Specifický odtok n-letých průtoků s prodlužováním doby dotoku, tj. se zvětšováním plochy povodí rychle klesá. Jarní sněhové povodně se v důsledku zvětšování plochy povodí ve své základně prodlužují- to je způsobeno nerovnoměrností tání a nesoučasností dobíhání vod z jednotlivých dílčích částí povodí do uzávěrového profilu (Kemel, 1996).

- **FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮDY**

Tyto vlastnosti ovlivňují zásadní měrou intenzitu vsaku vody do půdy. S množstvím nekapilárních pórů intenzita vsaku roste. Změna struktury půdy vyvolává změnu intenzity vsaku a pohybu vody v půdě. Pakliže způsobíme radikálnější změnu vlastností půd, dojde ke změnám vodního režimu v ní. Tam, kde je povodí tvořeno propustnými půdami, se srážková voda vsakuje do nižších horizontů, rozmnožuje zásoby podzemních vod - hlavní zdroj vodnosti toků dané oblasti. Takové toky se vyznačují vyrovnaným režimem s poměrně nízkými povodňovými průtoky a dostatkem vody i v období dlouhotrvajícího sucha, např. v letním nebo podzimním období (Kemel, 1996). Škodlivému působení vod v zemědělství je možno účinně čelit vodohospodářskou úpravou povodí toků, zejména zlepšením odtokového režimu srážkových vod, protierozní ochranou povodí, akumulací přívalových vod v nádržích a úpravou vodních toků (Zachar a kolektiv, 1987). Většinu vsáklého množství vody do půdy napomáháme různými agrotechnickými opatřeními, např. orbou po vrstevnicích. Takto vytvořené brázdy jsou překážkou vodě při proudění ve směru největšího sklonu, zadržují ji a tak může dobře infiltrovat do půdy. Uvedeným způsobem snižujeme značnou měrou plošnou a rýžkovou erozi a tím zabraňujeme velmi negativnímu jevu, jakým je odnášení a transport úrodné půdy do toků. V případě, že půda na podzim dostatečně vodou nasáklá, v zimě (nechráněna sněhovou pokrývkou) zmrzne, chová se v období jarního tání jako prakticky nepropustná - za těchto podmínek mohou vznikat velmi nebezpečně povodně, zvláště je-li tání sněhu současně doprovázeno dešti (Kemel, 1996).

- **GEOLOGIKÉ POMĚRY**

Dle Klinera a kol. (1978) rozlišujeme horniny dle schopností nasáknout vodu, kterou v sobě zadržují nebo ji dále vedou a také rozlišujeme horniny dle různých stupňů propustnosti. Koeficient filtrace udává, jaké množství protéká jednotkovým profilem horniny za jednotku času při jednotkovém hydraulickém sklonu. Propustnost hornin je závislá především na tvaru, velikosti, složení i vazbě horninových částic a na tektonických poměrech horninových komplexů. Zcela nepropustná není žádná hornina.

Geologické poměry rovněž mají značný vliv na hydrologické děje na povodí. Geologická stavba území spolu s podmínkami klimatickými určují i výsledek procesu zvětrávání - zda se vytvoří dobře propustné nebo v podstatě nepropustné povrchové půdní vrstvy. Toky odvodňující povodí složená z nepropustných hornin, příp. nepropustných krycích horních vrstev, jsou ve svém režimu povodňových průtoků velmi extrémní a chudé na podzemní vody. Tak je tomu u nás v oblastech flyše, např. v Beskydech. Značně vyrovnanější charakter mají toky v povodích s půdami propustnými, kde bohaté zásoby podzemních vod jsou významným regulátorem odtoku v řekách. Z tohoto hlediska jsou významné aluviální náplavy v údolích většiny řek, jež mají pro své značné objemy schopnost pojmout velké množství vody a postupně ji předávat do toků (Kemel, 1996).

- **VEGETAČNÝ POKRYV**

Vegetační pokryv na povodí, zvláště les je velmi významným činitelem, jenž ovlivňuje hydrologický režim toků. Tlumící vliv vegetační pokrývky, zvláště lesa, na kulminační průtoky je jednoznačně uznáván. Povodí pokryté dokonalou vegetací, např. zdravým smíšeným lesem, se zpravidla vyznačuje nízkými kulminačními průtoky. Je to způsobeno především existencí intercepce - tj. zachycováním srážek na tělech rostlin, v korunách stromů. Množství vody, které se dostane na povrch půdy pod korunami stromů a je případně k dispozici pro povrchový odtok, je o toto množství intercepce menší.

Rostliny potřebují ke svému životu odebírat živiny z půdy, odpařovat vodu z listů pro své ochlazení v období vyšších teplot vzduchu. Potřebnou vodu odebírají z půdy svými kořenovými systémy (Kemel, 1996).

Jůva a kolektiv (1981) uvádějí, že lesní porosty představují nejen fyziognomicky výraznou krajinnou část, nýbrž i velmi specifickou sféru fyzikálních dějů v přízemní vrstvě ovzduší. Ve srovnání s jinými rostlinnými společenstvy jsou lesy nejrozměrnější jak výškově, tak i v geografické rozloze a rozsahu účinné povrchové plochy, jsou nejhmotnější svou biomasou, nejdrsnější jako podložka ovzduší, obvykle i nejtmavší při posuzování odrazivosti záření a přitom též časově nejtrvalejší. Proto i jejich účinky na meteorologické děje a klimatogenetické procesy v přízemí, tj. v mikroklimatické a mezoklimatické sféře, jsou nejvýraznější.

Tato zóna je hustě prorostlá kořeny, s velkým obsahem pórů, takže je schopna pojmout značnou část srážkového množství, mnohdy takovou, že nezbývá na vznik povrchového odtoku. Schopnost akumulovat vodu v horních vrstvách půdy je mnohdy zvýrazněna, zvláště v lese, tvorbou hrabanky a humusu, tj. vrstvy jehličí a listí, jejíž tloušťka postupem doby postupně narůstá, rozkládá se a mění ve velmi kyprou vrstvu schopnou pojmout značné množství srážkové vody a postupně ji předávat spodním vrstvám. Vegetační pokryv ovlivňuje proces odtoku ještě jiným způsobem: podle druhu a hustoty rostlinných jedinců působí značné odpory proti proudění povrchové vody - to znamená, že celkovou dobu prodlužuje, a tedy ve svém konečném efektu snižuje kulminační průtoky, snižuje množství erodovaného materiálu z povodí (Kemel, 1996).

- **JEZERA A BAŽINY**

Jezera jsou přírodní vodní nádrže. Rozeznávají se jezera sladkovodní a slaná. Za slaná se považují jezera, jejichž celková mineralizace je větší než 1000 mg l^{-1} . Od toků se jezera odlišují hloubkou a dobou průtoku. Je v nich v podstatě stagnující voda. Doba průtoku se pohybuje od několika desítek dnů i do více než 1 roku. V hlubších jezerech dochází k vertikální stratifikaci teploty a některých složek.

Jejich zvláštní charakteristikou je, že řízením odtoku lze do určité míry měnit chemické složení vody. Ovlivnit lze koncentrace jak anorganických, tak i organických látek (Pitter, 1999).

Kemel (1996) říká, že v našich podmínkách se zpravidla jezera vyznačují regulujícím účinkem na odtok, průtoky z nich vytékající mají stálejší charakter, menší variační rozpětí. Funkce jezer však závisí významně na klimatických podmínkách. V oblastech, kde srážkové výšky jsou v porovnání s velikostí možného výparu malé, jezera mohou režim průtoků řek z nich vytékajících naopak ještě zhoršovat. Za příznivých okolností mohou být kulminační průtoky snižovány i bažinami. Působení bažin je však složité, v některých situacích, např. v období sucha, rašeliny samy vysychají a jako mořská houba vodu vážou a vůbec nevydávají. Může být tedy režim průtoků v úseku toku pod bažinami z hlediska rozdělení vodnosti zhoršen, nízké průtoky ještě více sníženy.

- **USPOŘÁDÁNÍ ŘÍČNÍ SÍTĚ**

Tento faktor je velmi významný, zvláště při tvorbě povodní. Tam, kde říční síť má uspořádání vějířovité, jsou postupové doby na přítocích zhruba stejné, takže se kulminačními průtoky v místě soutoku střetávají. V místě soutoku a pod ním pak vznikají značně vysoké kulminace. Opačně je tomu u stromkovitého uspořádání říční sítě, zde se kulminační průtoky jednotlivých přítoků postupně vystřídají, takže režim kulminačních průtoků je příznivější. Významný je i směr pohybu dešťového centra. V případě jeho pohybu ve směru proudu mohou vznikat nebezpečné povodňové situace i u stromkovitého uspořádání. Přemísťuje-li se těžiště deště do ústí k prameni, nebezpečí vzniku velkých povodní zpravidla tolik nehrozí (Kemel, 1996).

Technické úpravy vodních toků spočívají ve stabilizaci koryt, změnách trasy, sklonu toku nebo průtočného profilu. Úpravy zahrnují i budování objektů, komunikačních propustků, změny vegetačního doprovodu apod.. Antropogenní změny koryt našich řek jsou nedílnou součástí celkové přeměny jejich údolních niv. Cílem úprav je především ochrana pozemků ležící v nivě před povodněmi (Němec a Hladný, 2006).

- **AKUMULAČNÍ SCHOPNOST ŘÍČNÍ SÍTĚ**

Akumulační prostor koryta, zvláště pak inundačních úseků, působí v podstatě dvojnásobně. Především tak, že voda po vybřežení zaplní terénní deprese inundačního území a pak již nemůže přispět svým objemem k tvorbě povodňové vlny. Kromě toho se mnohdy poměrně velký objem, v závislosti na okamžitých podmínkách, ztrácí infiltrací do zaplaveného území. Výsledným efektem účinku je prodlužování základny povodňové vlny, takže při nepřilíš výrazném příspěvku odtoku z mezipovodí pozorujeme směrem po toku snižování kulminačních průtoků (určitého hospodářského významu), pozorujeme tzv. transformaci povodňové vlny. Vrchol povodňové vlny se v toku pohybuje v závislosti na samotném vývoji odtoku z povodí a na geometrických a hydraulických charakteristikách koryta proměnlivou postupovou rychlostí, která je u velkých toků, s poměrně pravidelným korytem, o něco větší než průměrná (střední) rychlost průřezová. (Kemel, 1996).

- **LEDOVCE A VĚČNÝ SNÍH**

Tyto faktory jsou významným zdrojem vodnosti vysokohorských toků. Režim toku je v úzké vazbě na časovém průběhu teplot vzduchu a na slunečním záření. Můžeme zde zřetelně vypořovat roční, v některých případech zvláště u malých toků, i denní chod vodnosti. Tak například Dunaj, jehož zdrojem vodnosti jsou ledovce, má maximum vodnosti v letních měsících – tj. v měsících, kdy na ostatních tocích klesají průtoky na minimum. Vysokohorské toky uvedeného typu jsou značně vyrovnané a mají vysoké specifické odtoky. Z tohoto důvodu jsou významným potenciálním zdrojem energie (Kemel, 1996).

- **ČINNOST ČLOVĚKA**

Činnost člověka se na hydrologickém režimu toků projevuje v posledních desetiletích čím dále výrazněji. Především sem patří výstavba přehrad, úpravy toků, výstavba husté silniční sítě, zábory půdy a následná výstavba na ní, urbanizace atd.. V oblastech bohatých na surovinové zdroje různého druhu se provádí těžba - např. v severočeské uhelné pánvi těžba hnědého uhlí v povrchových dolech a jejich postup, si vynucoval (hlavně v 70. a 80. letech) snad nejradikálnější zákroky a změny. Šlo o výstavbu nových ochranných a zásobních nádrží, přeložky celého rozsáhlého systému toků, rušily se a znovu na jiných místech se budovaly nové železniční a silniční spoje, rušily se obce apod.. To vše znamená radikální zásah do přírody a vyvolává změnu mnohého, včetně režimu povrchových i podzemních vod (Kemel, 1996).

5. FOSFOR

Fosfor je nejméně hojný biogenní prvek. V atmosféře je pouze ve stopách v podobě aerosolů. V zemské kůře je zastoupen v množství asi 0,1 %. Sloučeniny fosforu jsou málo rozpustné ve vodě, proto je jeho obsah v hydrosféře velmi nízký. Nejčastější nerozpustnou formou jsou fosforečnany hliníku, vápníku a železa. Chemické vlastnosti fosforu nejsou příliš pestré ani nijak výjimečné, přesto však je obsažen v živé hmotě, v každé buňce v poměrně vysoké koncentraci. Ve všech buňkách mají sloučeniny fosforu klíčovou funkci při přeměnách různých forem energie (Císař a kolektiv, 1987).

Fosfor řadíme, stejně jako dusík, mezi základní biogenní prvky. Podílí se především na tvorbě nukleových kyselin a sloučeniny ATP, která v tělech všech organismů konzervuje chemickou energii. Řada organismů, člověka nevyjímaje, není schopná přijímat anorganickou podobu fosforu (Šafarčíková, Kouřil, 2006).

Fosfor je po dusíku druhou hlavní živinou. Je prvkem, na jehož množství a dostupnosti v půdě podstatně závisí růst rostlin a jejich produktivita. Fosfor je naprosto nezbytný pro růst a funkce buněk všech organismů. Vzhledem k relativně nízkému obsahu fosforu v půdách i vzhledem k tomu, že se jej většina nachází v málo rozpustných nebo nerozpustných formách a v organických sloučeninách, je ve velké většině půd nedostatek přijatelného fosforu. Přijatelnost fosforu významně ovlivňuje půdní reakce (Šimek, 2003).

5.1 ZDROJE FOSFORU

Ve srovnání s dusíkem nebo draslíkem obsahují půdy fosforu jen málo, a to většinou ve formách pro organismy nedostupných. K udržení vyšší hladiny přijatelného fosforu v zemědělských i lesních půdách a k náhradě fosforu odčerpaného v biomase plodin se používá hnojení fosforečnými hnojivy. Po vnesení rozpustných, a tedy pro organismy přijatelných sloučenin fosforu do půdy, je však často většina fosforu fixována chemickými a fyzikálními mechanismy do nerozpustných sloučenin.

Fosforečná hnojiva se proto obvykle aplikují v dávkách několikrát převyšující potřeby plodin. Nadměrné vnášení fosforečných sloučenin do prostředí ve formě hnojiv i mnoha dalších výrobků má negativní důsledky na eutrofizaci vod (Šimek, 2003).

Do přírodního geochemického cyklu fosforu zasahuje člověk ještě významněji než do cyklů ostatních biogenních prvků. „Pohyb“ způsobený lidskou činností, spojený s těžbou fosfátových hornin, je v globálním úhrnu přibližně stejně velký, jako přirozený geochemický oběh fosforu, spojený s geologickým látkovým cyklem (Císař a kolektiv, 1987).

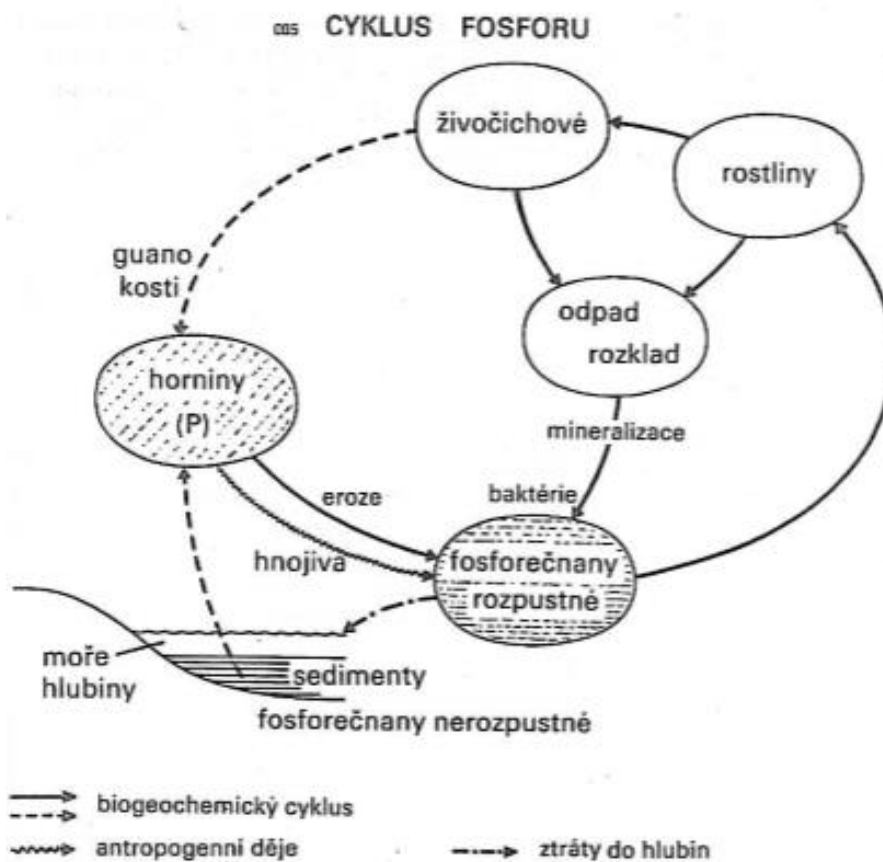
Přírodním zdrojem fosforu ve vodách je rozpouštění a vyluhování některých minerálů a zvětralých hornin. Hlavním primárním minerálem je apatit, variscit, strengit a vivianit. Antropogenním zdrojem anorganického fosforu je především aplikace fosforečných hnojiv a odpadních vod z prádelen, do kterých se dostávají fosforečnany z pracích prostředků (fosforečnanové prací prostředky obsahují až 5 % fosforu a někdy i více). Dalším zdrojem jsou polyfosforečnany používané v čistících a odmašťovacích prostředcích a jako protikorozní a protiinkrustační přísady. Zdrojem organického fosforu je fosfor obsažený v živočišných odpadech. Člověk vylučuje denně asi 1,5 g fosforu, který přechází do splaškových odpadních vod. Dalším zdrojem fosforu organického původu je rozkládající se biomasa fytoplanktonu a zooplanktonu usazující se na dně jezer, nádrží a toků. Sloučeniny fosforu se dostávají do povrchových vod i z atmosférických depozic (Pitter, 1999).

5.2 GLOBÁLNÍ CYKLUS FOSFORU

Celkově je v pohybu poměrně málo fosforu, přibližně polovina množství je do koloběhu uvedena činností člověka (Šafarčíková, Kouřil, 2006). Cyklus fosforu, na rozdíl od cyklů uhlíku a dusíku, nezahrnuje masivní přenos fosforu mezi vodními a suchozemskými ekosystémy a atmosférou, stejně jako fosforečné sloučeniny neslouží jako zdroj energie pro mikroorganismy. Naproti tomu, podobně jako v případě uhlíku a dusíku, v cyklu fosforu mají významnou úlohu půdní mikroorganismy. Podstatně se podílejí na rozpouštění (sublimaci) anorganických sloučenin fosforu a na rozkladu (mineralizaci) organických sloučenin.

Primárním zdrojem fosforu, z něhož vznikl i současný největší zásobník – sedimenty, jsou horniny. V nich se fosfor nachází především jako minerál apatit (Šimek, 2003).

Koloběhu fosforu se říká sedimentační, protože anorganický fosfor nakonec vždy opouští pevninu a odchází do oceánů, kde se včleňuje do sedimentů (Šafarčíková, Kouřil, 2006). V globálním měřítku a v dlouhodobém horizontu se tedy v případě fosforu spíše než o typický cyklus jedná o jednosměrný přesun fosforu z hornin do sedimentů. Ty ovšem mohou být v geologicky významných časových intervalech ze dna moří vyzdvíženy, mohou zformovat usazené horniny a z nich může být posléze fosfor opět zvětráván a dalšími procesy uvolňován a přesouván do nových sedimentů. Cyklus fosforu zásadním způsobem urychluje člověk těžbou fosforečných minerálů (fosfátů, apatitů) a jejich použitím jako hnojiva a celé řady výrobků, z nichž se uvolněný fosfor opět nakonec vrací do sedimentů moří a oceánů (Šimek, 2003).



Obrázek č. 3: Cyklus fosforu dle Císaře a kolektivu (1987)

5.3 VÝSKYT FOSFORU VE VODÁCH

Sloučeniny fosforu hrají významnou úlohu v přírodním koloběhu látek. Jsou nezbytné pro nižší i vyšší organismy, které je přeměňují na organicky vázaný fosfor. Po uhynutí a rozkladu organismů se fosforečnany opět uvolňují do prostředí. Zvláště významně se fosforečnany uplatňují při růstu zelených organismů ve vodě (řas a sinic). Proto bývá jejich koncentrace v letním období ve vodě nádrží a jezer, probíhala-li intenzivní fotosyntetická asimilace, nejmenší. Fosfor má klíčový význam pro eutrofizaci povrchových vod.

Hygienický význam fosforečnanů ve vodách je malý. Jsou zdravotně nezávadné. V požadavcích na jakost pitné vody nejsou uvedeny. To se týká i požadavků na jakost užitkových vod. V podzemních vodách mají fosforečnany indikační význam. Pokud jejich koncentrace v těchto vodách náhle vzroste, svědčí to o možnosti fekálního znečištění (pokud lze vyloučit znečištění způsobené fosforečnanovými hnojivy). Protože se snadno zadržují v půdě chemickými procesy a adsorpcí, má vzrůst jejich koncentrace značnou indikační hodnotu. Vzhledem k eutrofizaci je celkový fosfor uveden jako ukazatel přípustného znečištění povrchových vod (hodnota pro vodárenské toky je $0,15 \text{ mg l}^{-1}$ a proto ostatní povrchové vody $0,4 \text{ mg l}^{-1}$). Povrchové vody nádrží a jezer s koncentrací rozpuštěného reaktivního fosforu pod $10 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ lze považovat za oligotrofní. Celkový fosfor patří mezi ukazatele přípustného znečištění městských odpadních vod vypouštěných do vod povrchových v závislosti na velikosti zdroje znečištění (Pitter, 1999).

6. DUSÍK

Dusík patří mezi základní biogenní prvky, je čtvrtou nejhojnější složkou živé hmoty. Hraje nezastupitelnou roli při tvorbě jednoho ze základních stavebních kamenů všeho živého - bílkovin (Šafarčíková, Kouřil, 2006). Je naprosto nezbytný pro tvorbu biomasy a životních funkcí všech organismů, je nezbytným stavebním prvkem všech aminokyselin (bílkoviny obsahují v průměru 15 % hmotnostního dusíku), ribonukleových kyselin (RNA) a deoxyribonukleových kyselin (DNA), chlorofylu, chitinu a peptidoglykanů tvořící buněčné stěny mnoha jiných látek včetně enzymů (Šimek, 2003).

Dusík je v zemském ovzduší přítomen v molekulární formě (N_2) a chová se jako inertní, tj. chemicky netečný plyn. V troposféře zaujímá 78,08 % objemu. V mnohem menší koncentraci jsou v ovzduší zastoupeny sloučeniny dusíku: oxidy, amoniak a dusičnanové ionty, které jsou naopak chemicky reaktivní. V horninách a v hydrosféře je dusíku, na rozdíl od ovzduší, poměrně velmi málo, průměrný obsah v litosféře je jen 0,002 % (Císař a kolektiv, 1987).

Rostliny i mikroorganismy přijímají dusík ve formě jednoduchých iontů, jakými jsou nitráty (NO_3^-), nitrity (NO_2^-) a amonné ionty (NO_4^+). Některé bakterie a sinice mají navíc schopnost asimilovat molekulární dusík (N_2). Půdy obsahují relativně značné množství dusíku, avšak rostliny a mikroorganismy jej také mnoho odčerpávají. Podobně je tomu u fosforu a draslíku, proto se dusík musí do zemědělských i některých lesních půd pravidelně dodávat ve formě anorganických i organických hnojiv. Pro zajištění dobrého růstu plodin se dusíkatá hnojiva často aplikují v nadbytku, což vede ke ztrátám dusíku z půd a k uvolnění dusíku do vod i ovzduší. Pro cyklus dusíku jsou zcela zásadní mikrobiální přeměny dusíkatých látek (Šimek, 2003).

6.1 ZDROJE DUSÍKU

Dusík se do půdy dostává vedle přirozených procesů cestou intenzivní zemědělské výroby. Jedná se zejména o hnojení přírodními (hnůj, kejda, močůvka) i umělými hnojivy (různé druhy ledků, síran amonný). Během devadesátých let sice spotřeba dusíkatých hnojiv oproti roku 1990 poklesla o třetinu, ale od roku 1999 byl zaznamenán znatelný růst hnojení. Meziroční nárůst spotřeby hnojiv 2003/2004 činil téměř 25 %.

Spotřeba dusíkatých hnojiv byla v roce 2004 vyčíslena na 75,8 kg/ha (udávanou hmotností se myslí čistá hmotnost živin). Současné zemědělství uměle posiluje biologickou fixaci dusíku, když používá osivo vybavené kulturou mikroorganismů, které vážou vzdušný dusík. Obsah dusíku v půdě se navyšuje i pěstování bobovitých rostlin, jejichž kořínky přirozeně osidlují vazači vzdušného dusíku - hlízkové bakterie (Šafarčíková, Kouřil, 2006).

Dle Šimka (2003), ke zdrojům dusíku v ekosystémech patří:

1. Suchý a mokrý spad

V ovzduší se vyskytuje řada dusíkatých látek, a to jak organických (převážně biologického původu), tak anorganických. Jejich depozice na povrch Země se označují jako suchý a mokrý spad. Nejvýznamnější redukovanou sloučeninou dusíku v atmosféře je amoniak. Plynný amoniak (NH_3) v ovzduší poměrně rychle reaguje s vodní párou a přechází na iontovou formu (NH_4^+ - amonium). Se sírany tvoří amoniak síran amonný, jehož vymývání srážkami představuje hlavní mechanismus odstraňování amoniaku z ovzduší. Nejvýznamnějšími oxidovanými dusíkatými sloučeninami v ovzduší jsou oxidy, zvláště N_2O , NO , NO_2 a N_2O_5 . Chemickými reakcemi těchto plynů s jinými sloučeninami a prvky vzniká v atmosféře kyselina dusičná. HNO_3 a dusičnany jsou hlavní dusíkatou složkou tzv. kyselých dešťů.

2. Fixace molekulárního dusíku

Fixátoři dusíku jsou bakterie (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhizobium* aj.), aktinomycey (*Frankia*) a sinice (*Nostoc*, *Anabaena* aj.). Žijí a molekulární dusík fixují buď volně, samostatně nebo velmi často v různých asociacích a symbiózách a jinými organismy. Biologická fixace N_2 má zásadní význam pro zásobení mnoha ekosystémů dusíkem. Většina dusíku v biomase a v organických humusových látkách byla v minulosti fixována ze vzduchu. Velikost biologické fixace N_2 je velice různá a závisí na mnoha okolnostech, nejvýkonnější fixační systémy mohou fixovat až $600 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

3. Mineralizace organické hmoty

Nejběžnější minerální formou dusíku uvolňovaného mineralizací organických látek je amonná forma- proto se tento proces často nazývá amonifikace (také amonizace). Velká většina dusíku v půdách a sedimentech je pevně vázána v různých organických látkách. Mineralizací se tento vázaný dusík uvolňuje jako živina pro rostliny a mikroorganismy.

4. Hnojiva

Hnojení anorganickými i organickými hnojivy představuje často hlavní zdroj dusíku v mnoha agroekosystémech a také v některých lesních ekosystémech. Přísun dusíku do biosféry ve formě hnojiv je v současnosti řádově stejný jako přísun biologickou fixací molekulárního dusíku.

Dalším významným zdrojem dusíku jsou odpady ze zemědělství (z živočišné výroby a splachy ze zemědělsky obdělávané půdy hnojené dusíkatými hnojivy), z potravinářského průmyslu a některé průmyslové odpadní vody (např. z tepelného zpracování uhlí). Splašky odpadní vody jsou jedním z významných zdrojů anorganických a organických sloučenin dusíku. Důležitá je specifická produkce dusíku připadajícího na 1 obyvatele za 1 den. Liší se podle vybavenosti bytů, podle počtu obyvatel připojených na veřejnou kanalizaci a podle podílu průmyslových odpadních vod.

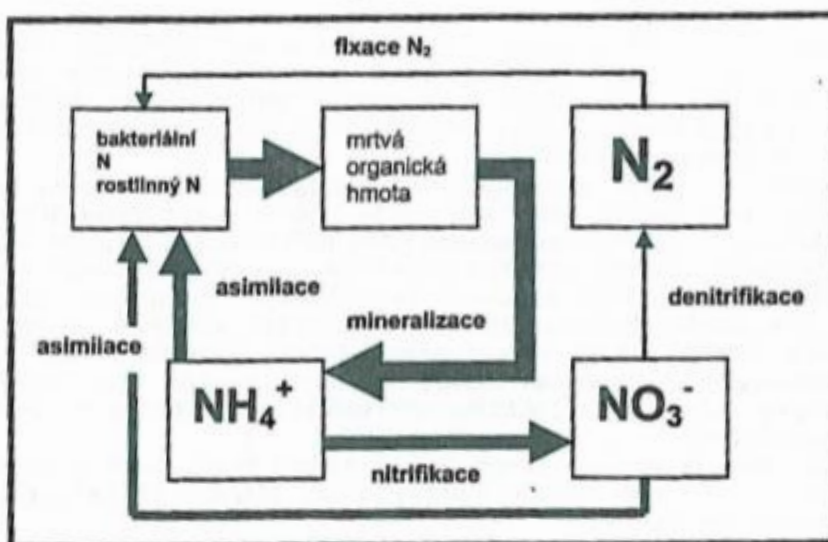
Při průzkumu v rámci „Projektu Labe“ byly v devadesátých letech zjištěny tyto hodnoty produkce dusíku připadající na jednoho obyvatele za 1 den:

celkový dusík	11 g – 23 g
organický dusík	3 g – 16 g
anorganický dusík	8 g – 10 g

(Pitter, 1999)

6.2 GLOBALNÍ CYKLUS DUSÍKU

Přeměny dusíku v prostředí, tj. jeho transformace z jedné formy do druhé formy, souvisejí zejména s metabolismem organismů, jen z velmi malé části jde o fyzikální a chemické procesy. Cyklus dusíku v suchozemském ekosystému sestává většinou z několika základních procesů, které jsou popsány v obrázku č. 4.

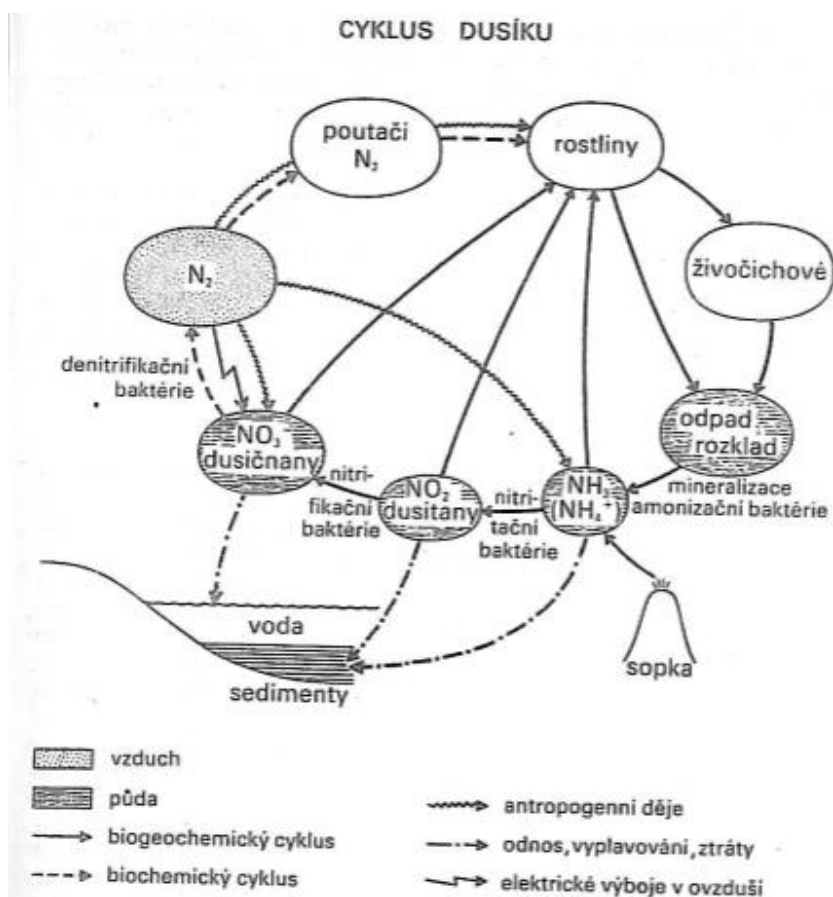


Obrázek č. 4: Základní přeměny dusíku v ekosystémech dle Šimka (2003)

Plynný N_2 je procesem fixace molekulárního dusíku redukován na amoniak (NH_3 , respektive NH_4^+). Fixace N_2 probíhá i v atmosféře účinkem elektrických výbojů a působením slunečního záření (Šimek, 2003).

V předprůmyslovém období byl dusíkový cyklus v globálním měřítku pravděpodobně ustálen, dnes však do něho člověk rovněž podstatně zasahuje. Významné jsou zejména dvě činnosti: jednak pěstování luštěnin a jiných plodin se symbiotickými bakteriemi, které poutají vzdušný dusík, jednak výroba minerálních dusíkatých hnojiv. Tímto způsobem se volný atmosférický dusík převádí na různé sloučeniny, podobně jako při spalování. Sloučeniny dusíku se dostávají ve zvýšené míře do vod i půdy. Konečným výsledkem je urychlování celkového cyklu dusíku a zvýšení koncentrací nejrůznějších sloučenin dusíku v prostředí.

Ve vodách stoupá především obsah nitrátů (dusičnanů), které významně zhoršují kvalitu povrchových i podzemních vod. V ovzduší se pak zvyšuje obsah vyšších oxidů dusíku, které snadno reagují s vodou a způsobují okyselení dešťů. Oba tyto procesy mají tedy negativní důsledky pro kvalitu prostředí (Císař a kolektiv, 1987).



Obrázek č. 5: Cyklus dusíku dle Císaře a kolektivu (1987)

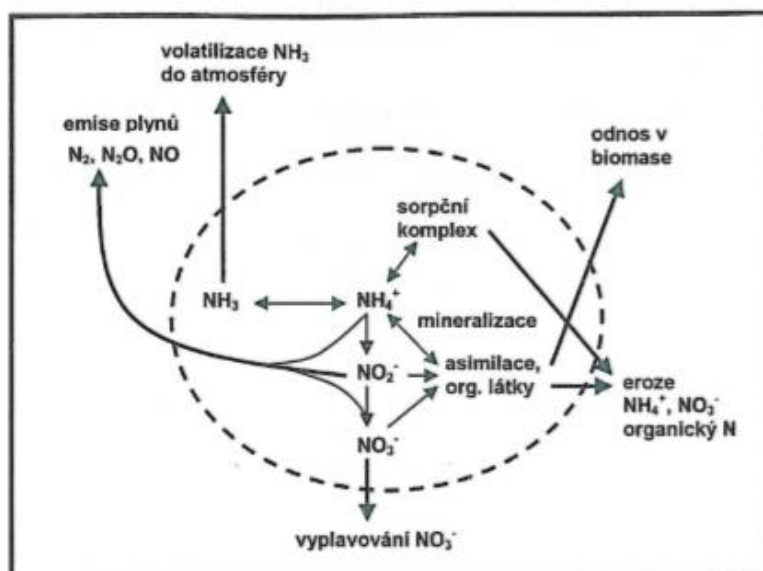
6.3 VÝSKYT DUSÍKU VE VODÁCH

Dusík se vyskytuje ve vodách v různých oxidačních stupních, v iontové i neiontové formě. V úvahu přicházejí tyto oxidační stupně dusíku:

- III	amoniakální dusík (NH_4^+ , NH_3), kyanatany (CNO^-), kyanidy (CN^-)
0	elementární dusík (N_2)
+ I	hydroxylamin (NH_2OH), oxid dusný (N_2O)
+ III	dusitanový dusík (NO_2^-)
+ V	dusičnanový dusík (NO_3^-)

(Pitter, 1999)

Organicky vázaný dusík se ve vodách vyskytuje ve formě bílkovin a jejich rozkladných produktů (peptidů, aminokyselin), močoviny, alifatických a aromatických aminů, aminosacharidů, heterocyklických dusíkatých sloučenin apod., včetně dusíkatých látek vznikajících rozkladem biomasy mikroorganismů. Sloučeniny dusíku jsou ve vodě málo stabilní a podléhají závislosti na oxidačně-redukčním potenciálu a hodnotě pH zejména biochemickým přeměnám. Kromě toho mohou probíhat i přeměny chemické (Pitter, 1999).



Obrázek č. 6: Hlavní přeměny dusíku v půdě a mechanismy jeho ztrát (Stevenson, Cole, 1999).

7. KONCENTRACE ŽIVIN VE VODÁCH

Zdroje znečišťování povrchových vod jsou trojího druhu: bodové (zdroj, ze kterého je znečištění do vodního útvaru přiváděno soustředně a je možné zjišťovat jeho kvalitu i kvantitu, např. odpadní vody z městských čistíren a přímé vstupy průmyslové, městské a dešťové kanalizace do toků), plošné (splachy z okolní půdy, především zemědělsky obdělávané, atmosférické depozice) a difúzní (rozptýlené bodové zdroje) (Pitter, 1999).

Dle studie Bouraoui a Grizzetti (2011), která se zabývá hydrologickými podmínkami řek Labe a Loira potvrzují, že zvýšené koncentrace nežádoucích látek se projevují ve vodních zdrojích se zpožděním několika let. V roce 2005 tvořil v řece Labi základní odtok 75 % z celkového odtoku a 63 % z celkové zátěže dusičnany. Z výpočtu koncentrací jednotlivých složek odtoku je zřejmé, že koncentrace dusičnanů v celkovém odtoku je vyšší než v základním odtoku. Studie uvádí prodlevu 8 let mezi nadbytkem dusíku a koncentrací v základním odtoku. To znamená, že zvýšená koncentrace dusíku se v základním odtoku projeví nejdříve za 8 let od znečištění toku. V řece Loiře tvořil základní odtok 75 % z celkového odtoku a 83 % z celkové zátěže dusičnany. Na rozdíl od Labe, je koncentrace dusičnanů v základním odtoku vyšší než v celkovém odtoku. V řece Loiře se zvýšené koncentrace dusičnanů v základním odtoku projevují se zpožděním 14 let.

Zdrojem sloučenin dusíku jsou zejména atmosférické depozice, dále zemědělství a obyvatelstvo (spláskové vody). Například, v povodí Labe pochází asi 50 % sloučenin dusíku z plošných a difúzních zdrojů znečištění. Zejména koncentrace amoniakálního dusíku bývají větší než u podzemních vod (u čistých toků dosahují setin až desetin mg l^{-1} a u znečištěných toků až jednotek mg l^{-1}). Dusičnanový dusík pochází především ze splachů z hnojených polí a z atmosférických depozic. V čistých povrchových vodách jsou jeho koncentrace nízké (obvykle pod 1 mg l^{-1}), avšak ve znečištěných vodách mohou přesahovat i 10 mg l^{-1} (Pitter, 1999).

Buzek a kolektiv (2009) pojednávají o tom, že drenážní systémy umožňují včasnou ochranu polní plodiny. Nicméně umělé odvodňovací systémy zkracují dobu zadržení vody v biologicky aktivních zónách a podstatně mění vodní režim. To má za následek zvýšení ztráty dusičnanů ze zemědělských oblastí.

Kvítek a kolektiv (2009) prováděl analýzu s cílem zjistit, jak reaguje koncentrace dusičnanů ve vodách na přeměnu zemědělské půdy na louky a pastviny (s následným snížením používání hnojiv). Výzkum probíhal ve dvou okresech (Český Krumlov a Pelhřimov) v České Republice. I přes snížení používání minerálního dusíku v hnojivech v okrese Pelhřimov žádné zásadní změny v koncentracích $N - NO_3$ v povrchových vodách nebyly pozorovány. Z 23 sledovaných povodí dvě ukázala významný rostoucí lineární trend v koncentracích $N - NO_3$ a tři ukázaly významný klesající trend. V okrese Český Krumlov došlo k výraznému snížení koncentrací $N - NO_3$ v povrchových vodách. Významný lineární klesající trend byl zjištěn ve všech povodích. To je způsobeno významným nárůstem trvalých travních porostů na úkor obdělávané zemědělské půdy. Výzkum ukázal, že nejdůležitější faktor životního prostředí na vliv znečištění dusičnany je podíl zorané půdy v povodí (spojený s intenzivnějším hnojením), čím vyšší je podíl zorané půdy, tím větší je znečištění dusičnany z odtoku.

Pokud se týká sloučenin fosforu, jsou jejich antropogenním zdrojem zejména splaškové odpadní vody (P obsažený ve fekáliích a pracích prostředcích) a splachy ze zemědělsky obdělávané půdy. V povodí Labe pocházejí asi dvě třetiny fosforu z bodových a difúzních zdrojů a jedna třetina z plošných zdrojů. Je nutné počítat s přísunem fosforu z atmosférických depozic. Koncentrace fosforečnanového fosforu se obvykle pohybují jen setinách až desetínách $mg\ l^{-1}$, protože ve spojení s Ca, Mg, Fe, Al a jinými kovy se tvoří velmi málo rozpustné fosforečnany. Kromě toho dochází také k jejich adsorpci na nerozpuštěných látkách a sedimentech (Pitter, 1999).

Koncentrace celkového fosforu se ve stojatých vodách příliš neliší od koncentrací v tekoucích vodách, protože probíhají obdobné chemické a biochemické procesy. Avšak u stojatých vod může docházet k významné stratifikaci sloučenin fosforu v nádrži, protože na jedné straně je fosfor importován do nově se tvořící biomasy, ale na druhé straně je z ní opět uvolňován do vody při jejím rozkladu (Pitter, 1999).

Dle výzkumu Blažkové (2002) byl v roce 2001 měřen ukazatel celkový fosfor (P-celk.) v povodí Labe ve 155 profilech s mezí stanovitelností 0,1 mg/l. Mediány jsou ve všech profilech nad mezí stanovitelnosti. Kritérium 0,2 mg/l (pro aritmetický průměr) je překračováno v 65 profilech. Standard environmentální kvality 0,15 mg/l pro C_{90} se zdá velmi přísný a obtížně dosažitelný.

Původní rostlinná společenstva se vyvíjela v rámci působení cyklu „voda v půdě a rostlinách – výpar – místní srážky“. Umělými zásahy vedoucími ke zrychlenému odvádění povrchových vod a snížení hladiny podzemních vod byl tento cyklus na řadě míst ČR pozměněn. Poklesem úrovně podzemních vod tak dochází k většímu ohřívání půdního povrchu a tím k rychlejší mineralizaci organických látek v půdě. Ty se snadněji vyplavují do vodních toků. Je známo, že takto dnes ubývá přes 1000 kg rozpuštěných živin z hektaru orné půdy ročně (Němec a kolektiv, 2006).

7.1 VLIV SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH UDÁLOSTÍ NA KONCENTRACI ŽIVIN VE VODÁCH

Dle Schillinga a Zhang (2004) jsou ztráty dusičnanů variabilní a jsou ovlivněny průtokem. Největší jsou typicky na jaře od března do června a pozdě na podzim od srpna do září. Poor a McDonnell (2007) prezentují výsledky ze tří sousedních horských povodí v západním Oregonu (USA) s podobnými atmosférickými depozicemi, velikostí a geologií, ale s různým prostorově konzistentním využíváním půdy: les, zemědělské plochy a obytné plochy. Klima v západním Oregonu se řídí zřetelným vzorem - tři měsíce bez deště v létě, mnoho bouří na podzim a v zimě, a tlumení bouří na jaře. Reakce dusičnanů na bouřkové události jsou v každém povodí jiné. V zalesněném a v obytném povodí se množství dusičnanů zvyšuje s rostoucím průtokem během všech třech bouří (1-léto, 2-podzim/zima, 3-jaro). Koncentrace byly pozorovány během všech bouřkových událostí. Koncentrace dusičnanů poklesly se zvyšujícím se průtokem během bouře 1 a 2, a zvyšovaly se se zvětšujícím se průtokem během bouře 3.

Salvia-Castellví a kolektiv (2005) zkoumá vliv využití půdy a velikost povodí na změnu koncentrace živin. Všechna studovaná povodí se nachází v Ardenách (Belgie - Lucembursko), a proto mají podobné hydrologické režimy. Výsledky ukazují významné sezónní reakce dusičnanů a celkového fosforu, které jsou úzce spojené například s bouří. Koncentrace dusičnanů a fosforu představují typicky pravidelný vzor s vysokou koncentrací během tzv. mokrého období a nízké hodnoty v období sucha.

Podobné výsledky získal i Molenat a kolektiv (2008), který provádí studii, jejímž cílem je identifikovat hydrologické procesy a kontrolovat koncentrace dusičnanů v základním průtoku. Studie je založena na hydrologickém a hydrochemickém monitorování průtoku a mělké podzemní vody. Výsledky ukazují, že koncentrace dusičnanů závisí na tom, kolik vody teče do potoka a ne na rozdělení průtoku v průběhu roku. Výsledky se lišily v každém povodí. Tyto výkyvy jsou řízeny hloubkou podzemní vody a dynamikou svahu.

Zhang a kolektiv (2008) zkoumali koncentrace dusičnanů v základním odtoku a jeho sezónní variace v japonských tocích v jehličnatých oblastech. Bylo zkoumáno pět regionů, které byly dusíkem rozdílně nasyceny. Studie ukázala, že koncentrace dusičnanů v základním odtoku během vegetačního období je výrazně vyšší než v průběhu mimo vegetační období.

Ollesch a kolektiv (2008) provádí studii, na jejímž základě získali výsledky, které ukazují vysokou roční a meziroční dynamiku odtoku z tajícího sněhu jako hlavní část hydrologického procesu. Celková změna koncentrace fosforu z povodí je nízká (0,03-0,35 kg/ha/období tání sněhu). Nicméně se celková koncentrace fosforu liší podle jednotlivých událostí tání sněhu a může dosáhnout vysoké koncentrace, například v roce 2005 tání sněhu zvýšilo změnu koncentrací o 10,4 % za rok. Zcela v rozporu je studie Girmay a kolektiv (2009) při níž nebyla pozorována žádná významná ztráta živin i přes vyšší počet srážko-odtokových událostí.

Shigaki a kolektiv (2007) provedli výzkum, jehož výsledky jasně ukazují vliv srážko-odtokových na koncentraci fosforu v povrchovém odtoku. V každé intenzitě srážek použité v této studii došlo k výraznému exponenciálnímu nárůstu odtoku a koncentrace fosforu byly vyšší v první fázi události, ale poté došlo ke snížení.

8. ZÁVĚR

Znečištění vody živinami znamená zamoření povrchových a podzemních vod jejich nadměrnými koncentracemi. Přírozený výskyt těchto živin je nezbytným předpokladem pro růst organismů. Tento druh znečištění je typickým důsledkem vlivu lidské činnosti. Pochází většinou z bodových zdrojů, jako jsou obecní čistírny odpadních vod a průmyslové emise. Další zdroje se projevují plošně a mají svůj původ v aplikaci komerčních hnojiv a organického odpadu používaného k hnojení na zemědělské půdě. Výrazně zamořují podzemní vody a jsou splavovány atmosférickými srážkami do potoků, jezer a řek (Němec a Hladný, 2006).

Ze shromážděných poznatků vyplývá, že k tomuto procesu koncentrace živin mimořádně přispívají srážko-odtokové události, které na celou situaci mají významný vliv. To je dáno zejména nadměrnou aplikací fosforečných a dusičnanových hnojiv, které jsou následně těmito událostmi splavovány do vod. Tyto zvýšené koncentrace živin se mohou v podzemních vodách projevit se zpožděním až několik desítek let.

Zvýšená koncentrace fosforu a dusíku v podzemních vodách má velký vliv na kvalitu pitné vody. Dalším rizikem je přesycení vodních toků živinami. Z těchto studií a výsledků je jasné, že zamezení zvýšení koncentrace živin při srážko-odtokových událostech není zcela možné. Proto by bylo vhodné se této problematice více věnovat.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BLAŽKOVÁ, Š. *Výzkum v povodí Labe, projekt Labe III*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský, 2002. 32 s
2. BOURAOUI, F., GRIZZETTI, B. *Long term change of nutrient concentrations of rivers discharging in European seas*. Science of The Total Environment, 2011, vol. 409, no. 23, p. 4899-4916
3. BUZEK, F., BYSTRICKÝ, V., KADLECOVÁ, R., KVÍTEK, T., ONDR, P., SANDA, M., ZAJÍČEK, A., ŽLÁBEK, P. *Application of two-component model of drainage discharge to nitrate contamination*. Journal of Contaminant Hydrology, 2009. 99-117
4. CÍLEK, V. a kolektiv. *Voda v krajině*. Praha: Consult, 2004. 207 s. ISBN: 80-902132-7-8
5. CÍSAŘ, V., a kolektiv. *Člověk a životní prostředí*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1987. 264 s.
6. ČERVENÝ, J. a kolektiv. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984. 414 s.
7. DAVIE, T. *Fundamentals of hydrology*. London: Routledge, 2008. 200 s. ISBN: 978-0-415-39987-6
8. GIRMAY, G., SINGH, B.R., NYSSSEN, J., BORROSEN, T. *Runoff and sediment-associated nutrient losses under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia*. Journal of hydrology, 2009. 70-80
9. JŮVA, K., KLEČKA, A., ZACHAR, D. a kolektiv. *Ochrana krajiny ČSSR z hlediska zemědělství a lesnictví*. Praha: Academia ČSAV, 1981. 563 s.
10. KEMEL, M. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 289 s. ISBN 80-01- 01456-8
11. KLINER, K., KNEŽEK, M., OMLMER, M. *Využití a ochrana podzemních vod*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1978. 295 s.
12. KOPÁČEK, J., a kolektiv. *Jak vzniká počasí*. Praha: Karolinum, 2005. 226 s. ISBN 80-246-1002-7
13. KRÍŽ, H. *Hydrologie podzemních vod*. Praha: Academia, 1983. 292 s.

14. KVÍTEK, T., ŽLÁBEK, P., BYSTRICKÝ, V., FUČÍK, P., LEXA, M., GERGEL, J., NOVÁK, P., ONDR, P. *Changes of nitrate concentrations in surface waters influenced by land use in the crystalline complex of the Czech Republic*. Physics and Chemistry of the Earth, 2009. 541-551
15. MOLENAT, J., GASCUEL-ODOUX, CH., RUIZ, L., GRUAU, G. *Role of water table dynamics on stream nitrate export and concentration on agricultural headwater catchment (France)*. Journal of Hydrology, 2008. 363-378
16. NĚMEC, J., HLADNÝ, J. *Voda v České republice*. Praha: Consult, 2006. 253 s. ISBN 80-903482-1-1
17. OLLESCH, G., DEMIDOV, V., VOLOKITIN, M., VOSKAMP, M., ABBT-BRAUM, G., MEISSNER, R. *Sediment and nutrient dynamics during snowmelt runoff generation in a southern Taiga catchment of Russia*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008. 229-242
18. PAČES, T. *Voda a Země*. Praha: Academia, 1982. 176 s.
19. PITTER, P. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. 568 s. ISBN 80-7080-340-1
20. POOR, J., CARA, McDONNELL, J., JEFFREY. *The effects of land use on stream nitrate dynamics*. Journal of Hydrology, 2007. 54-68
21. SALVIA-CASTELLVÍ, M., IFFLY, J.F., VANDER BORGHT, P., HOFFMANN, L. *Dissolved and particulate nutrient export from rural catchments: A case study from Lucembourg*. Science of the Total Environment, 2005. 51-65
22. SHIGAKI, F., SHARPLEY, A., PROCHNOW, L.I. *Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays*. Science of the Total Environment, 2007. 334-343
23. SCHILLING, K., ZHANG, Y. *Baseflow contribution to nitrate export from a large, agricultural watershed, USA*. Journal of Hydrology, 2004. 305-316
24. STEVENSON, F. J., COLE, M. A. *Cycles of soil : Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York: John Wiley and Sons, 1999. 427 p. ISBN 0-471-32071-4 In: ŠIMEK, M. *Základy nauky o půdě: 3. Biologické procesy a cykly prvků*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2003. 151 s. ISBN 80-7040-630-5

25. ŠARARČÍKOVÁ, S., KOUŘIL, M. *Živiny v krajině: dusík, fosfor, eutrofizace půdy a vody, indikace dusíku*. České Budějovice: DAPHNE ČR- Institut aplikované ekologie, 2006. 16 s.
26. ŠILAR, J. *Hydrologie v životním prostředí*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1996. 136 s. ISBN: 80-7078-361-3
27. ŠIMEK, M. *Základy nauky o půdě: 3. Biologické procesy a cykly prvků*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2003. 151 s. ISBN 80-7040-630-5
28. VESECKÝ, A., a kolektiv. *Mezinárodní atlas oblaků pro pozorovatele meteorologických stanic*. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1965. 72 l.
29. VIESSMANN, W., LEWIS, G. *Introduction of hydrology*. Pearson Education, 2002. 612 s. ISBN 0-67-399337
30. ZACHAR, D., JÚVA, K. *Využití a ochrana vod ČSSR z hlediska zemědělství a lesního hospodářství*. Praha: Academia ČSAV, 1987. 567 s.
31. ZHANG, Z., a kolektiv. *Seasonal changes of nitrate concentrations in baseflow headwaters of coniferous forests in Japan: A significant indicator for N saturation*. *Catena*, 2008, vol. 76, no. 1, p. 63-69