

Koloběh živin ve vodě a půdě



Uhlík (C)

Přeměny uhlíku ve vodě a půdě

Fragmentace a vyplavování

Mineralizace

Příjem roztlinami/baktériemi

Srážení a rozpouštění

Respirace

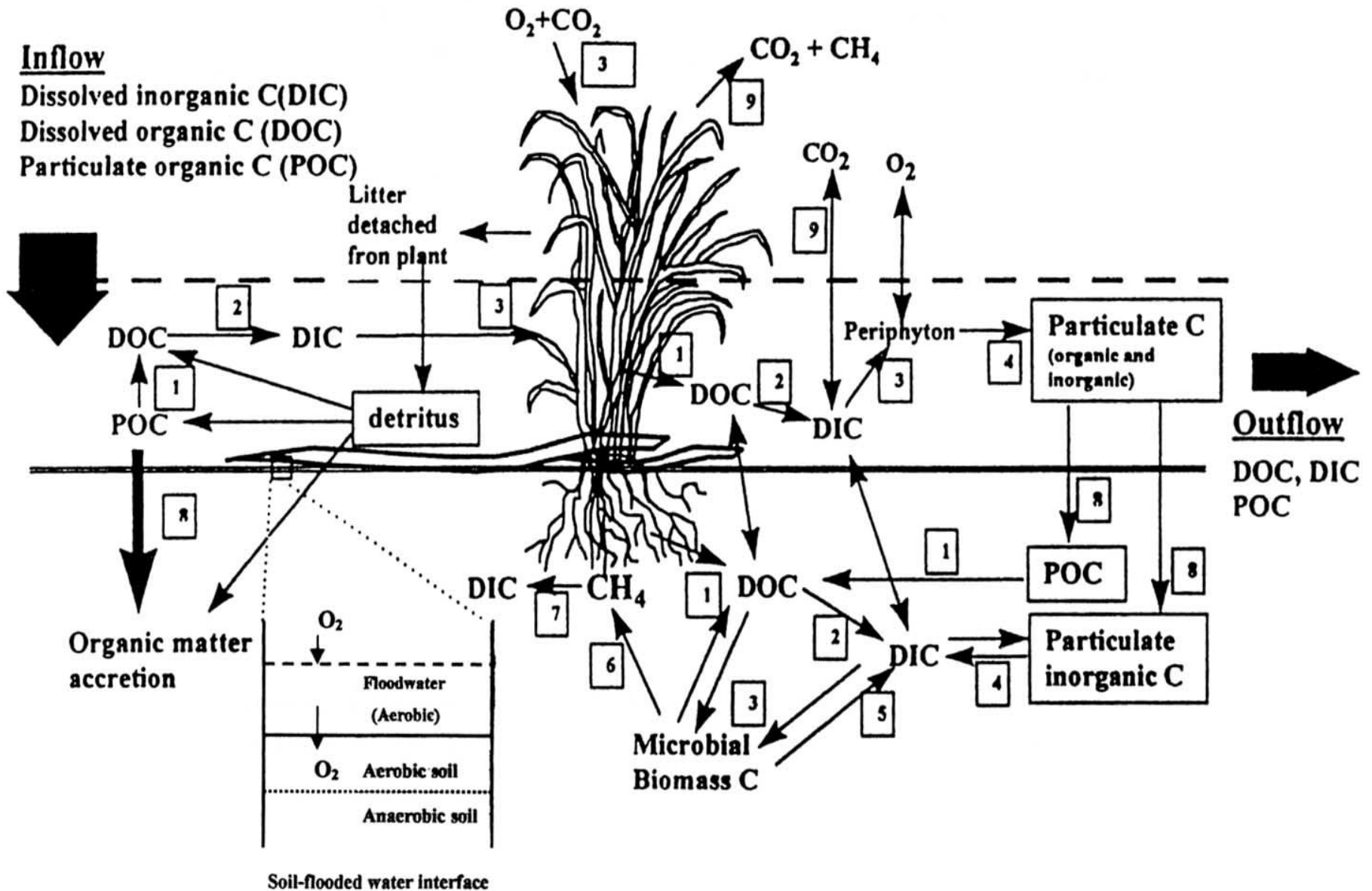
Methanogeneze

Oxidace metanu

Ukládání

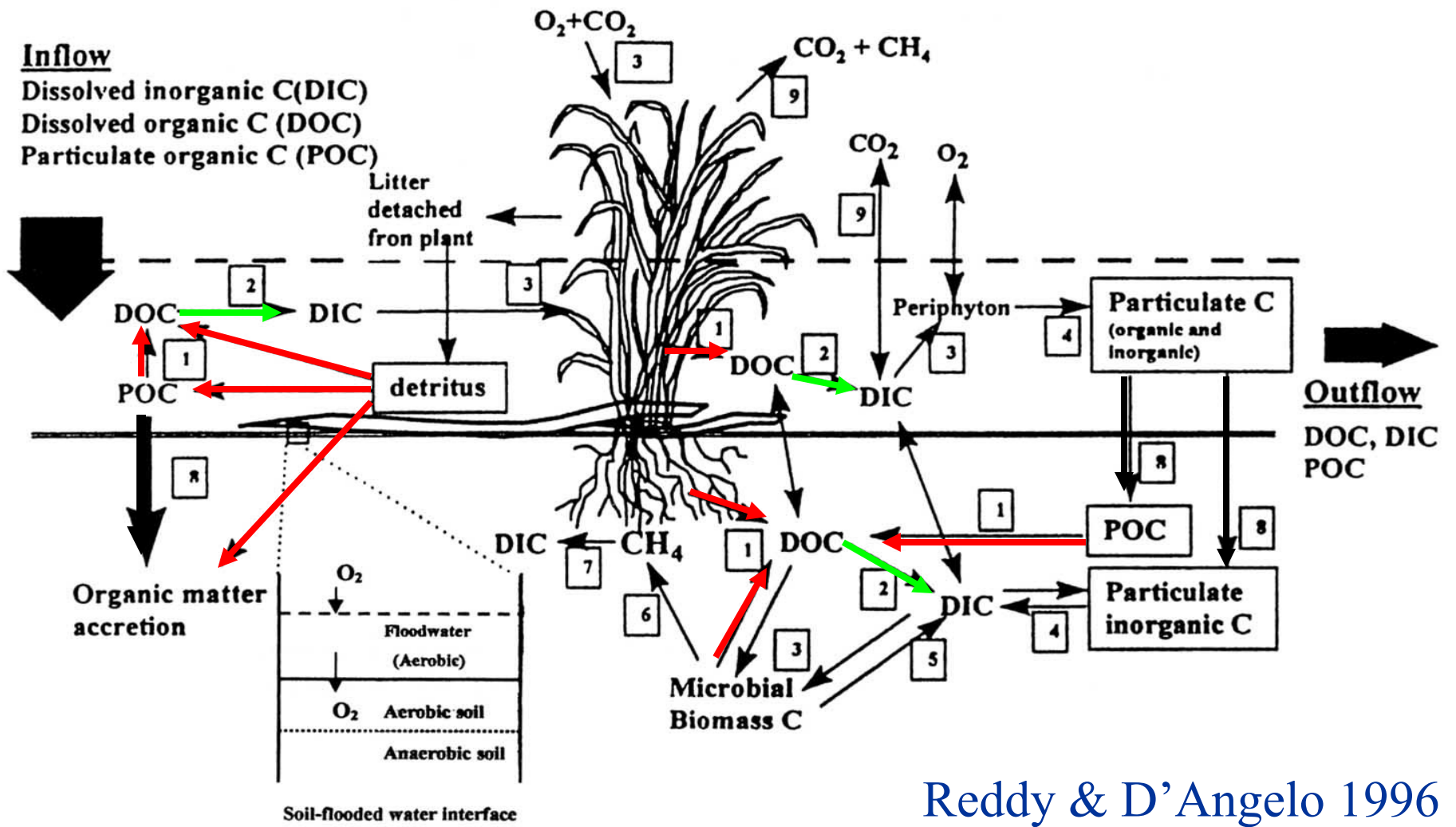
Těkání

Přeměny uhlíku v mokřadních systémech (Reddy & D'Angelo 1996)



1. fragmentace & vyplavování

2. mineralizace



Reddy & D'Angelo 1996

Dekompozice rostlinného materiálu

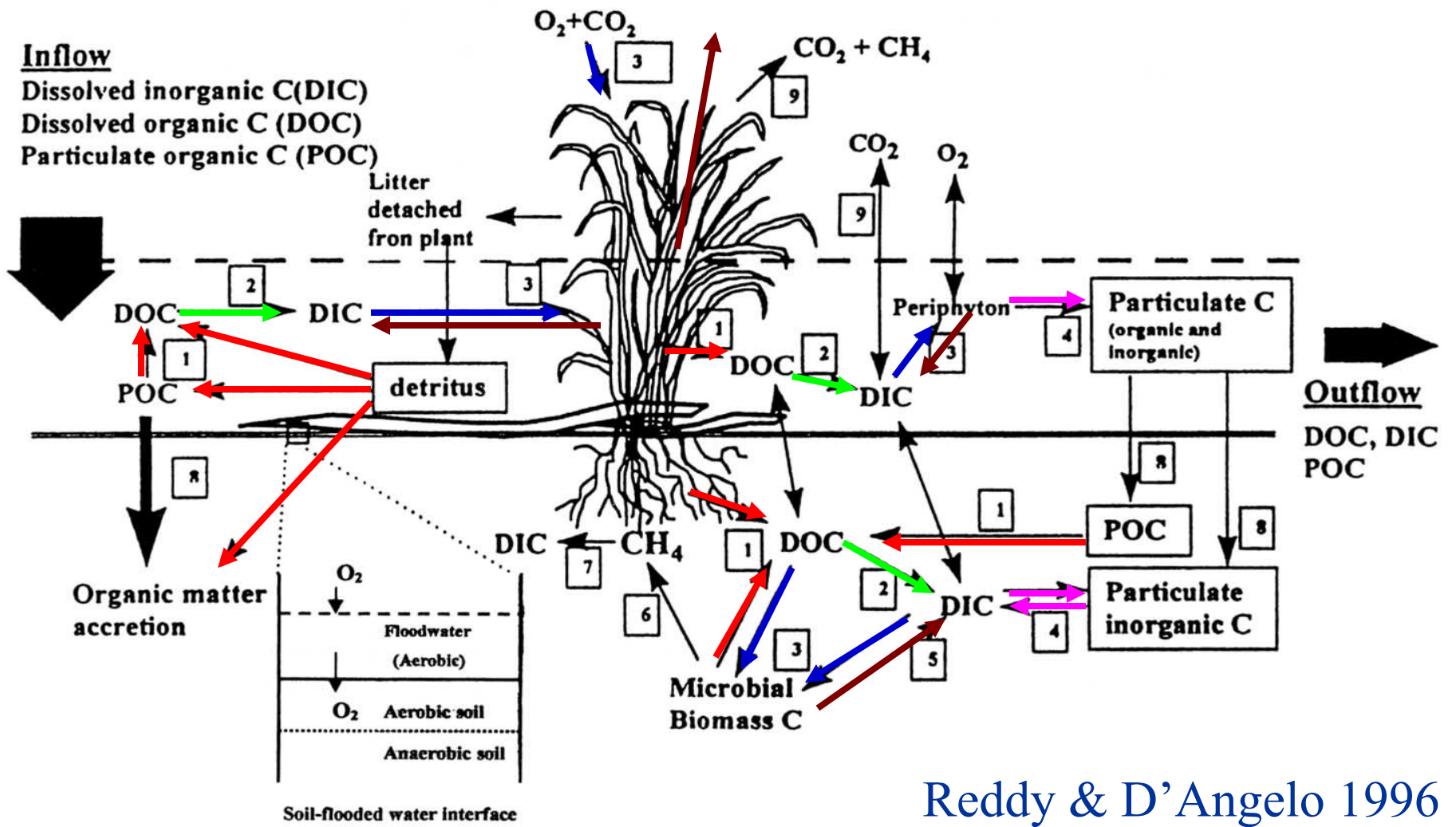
Tři základní procesy, které probíhají současně

1. Fragmentace rostlinného materiálu působením větru, vln, živočichů
2. Vyplavování rozpustných látek (např. Na, K, Ca, Mg, N, P, **labilní organické látky jako cukry, mastné kyseliny nebo aminokyseliny**)
3. Mikrobiální oxidace organických látek bakteriemi a houbami

Proces 2) je velmi rychlý, způsobuje většinu redukce biomasy během prvních fází dekompozice, přičemž většina rozpustných organických látek je uvolněna v průběhu 6-12 měsíců. U submerzních rostlin a rostlin s plovoucími listy způsobuje vyplavování až 50%ní úbytek biomasy během 2-3 dnů.

Dekompozice je charakterizována 50% a 95% úbytkem biomasy

50%: fytoplankton (44 dní), submerzní a volně plovoucí (87 dní), listy opadavých stromů (109 dní), emerzní (223 dní), jehličí (142 dní) dřevo (5331 dní)



Fotosyntéza



Rozklad organických látek



Aerobní

Anaerobní

Aerobní rozklad rozpuštěných organických látek:



(respirace)

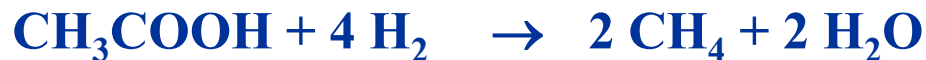
Anaerobní respirace: fakultativně nebo striktně anaerobní bakterie – probíhá ve dvou krocích

1. primární koncové produkty fermentace jsou: a plyny

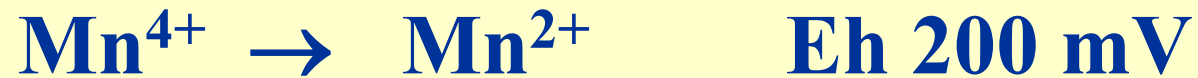
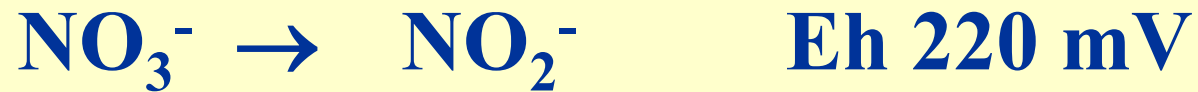


Kyselina octová je nejčastěji vznikajícím produktem z zaplavených půdách a sedimentech

2. Koncové produkty jsou využívány striktně anaerobními sulfát-redukujícími a metan-tvořícími bakteriemi:

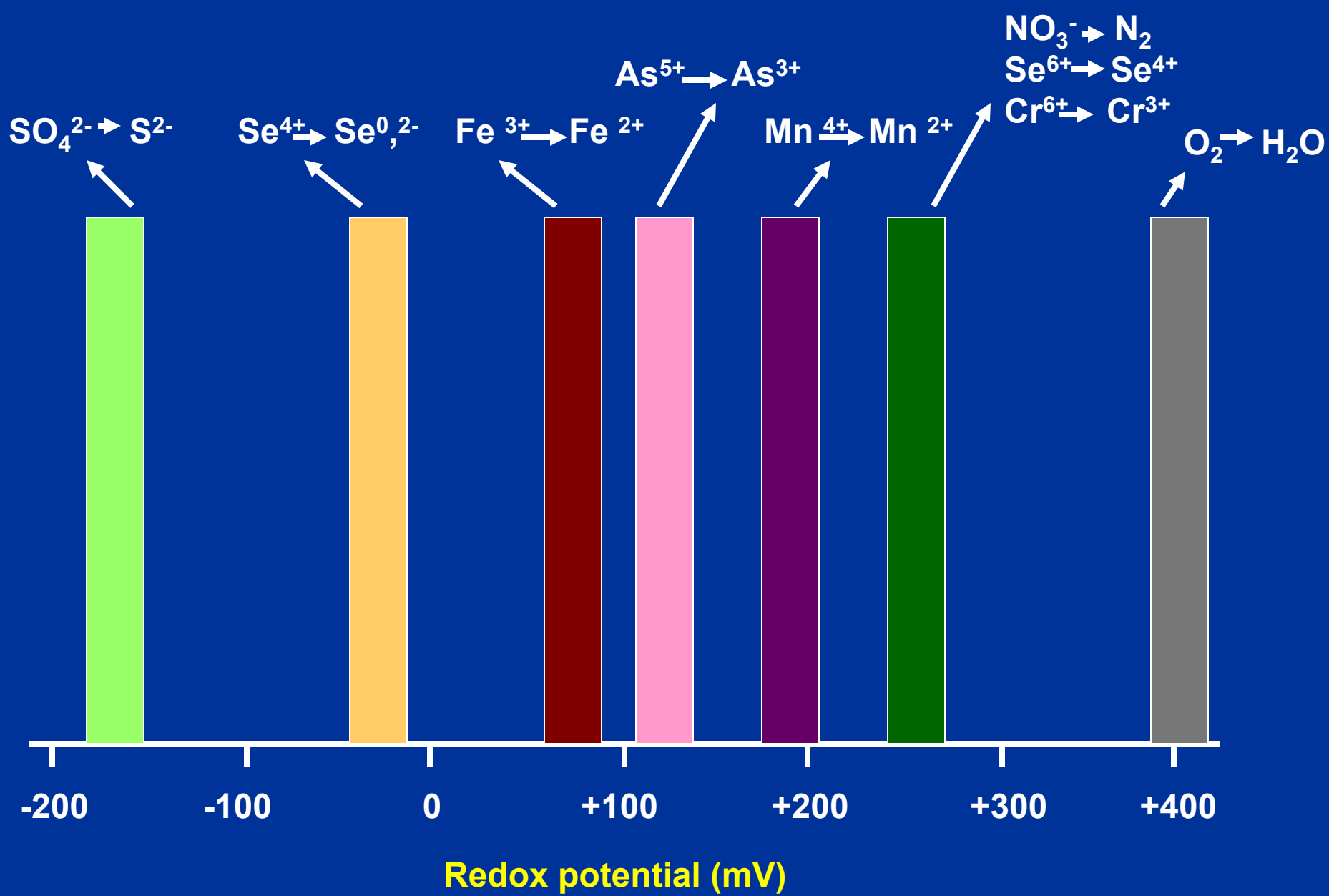


Oxidované a redukované formy některých prvků a přibližné hodnoty redoxního potenciálu, při kterých dochází ke změně



Zatímco předcházející reakce se mohou překrývat, následující reakce nastupují, až když předcházející reakce je ukončena

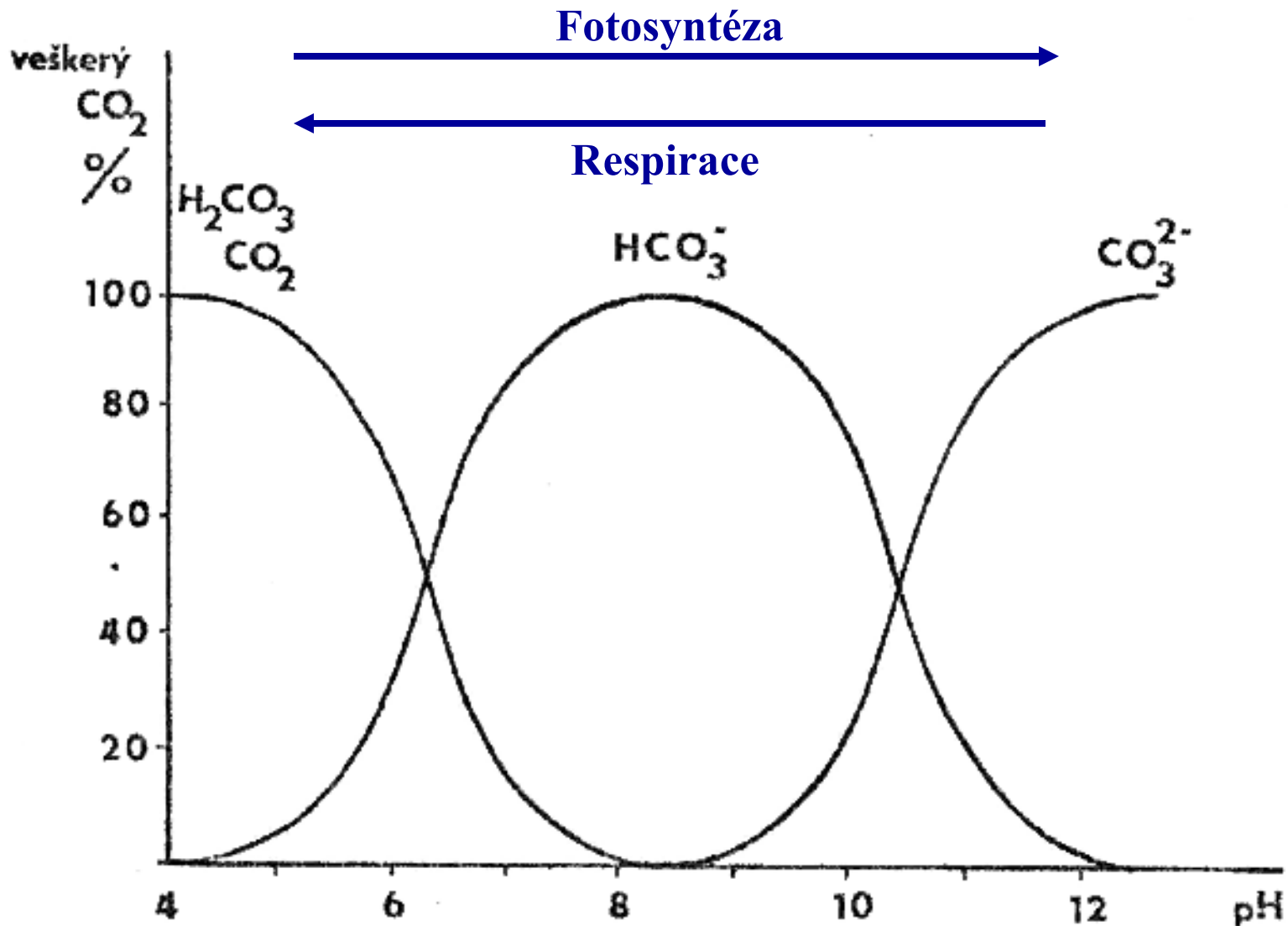






Oxidace železa

Monastery Run,
Pennsylvánie

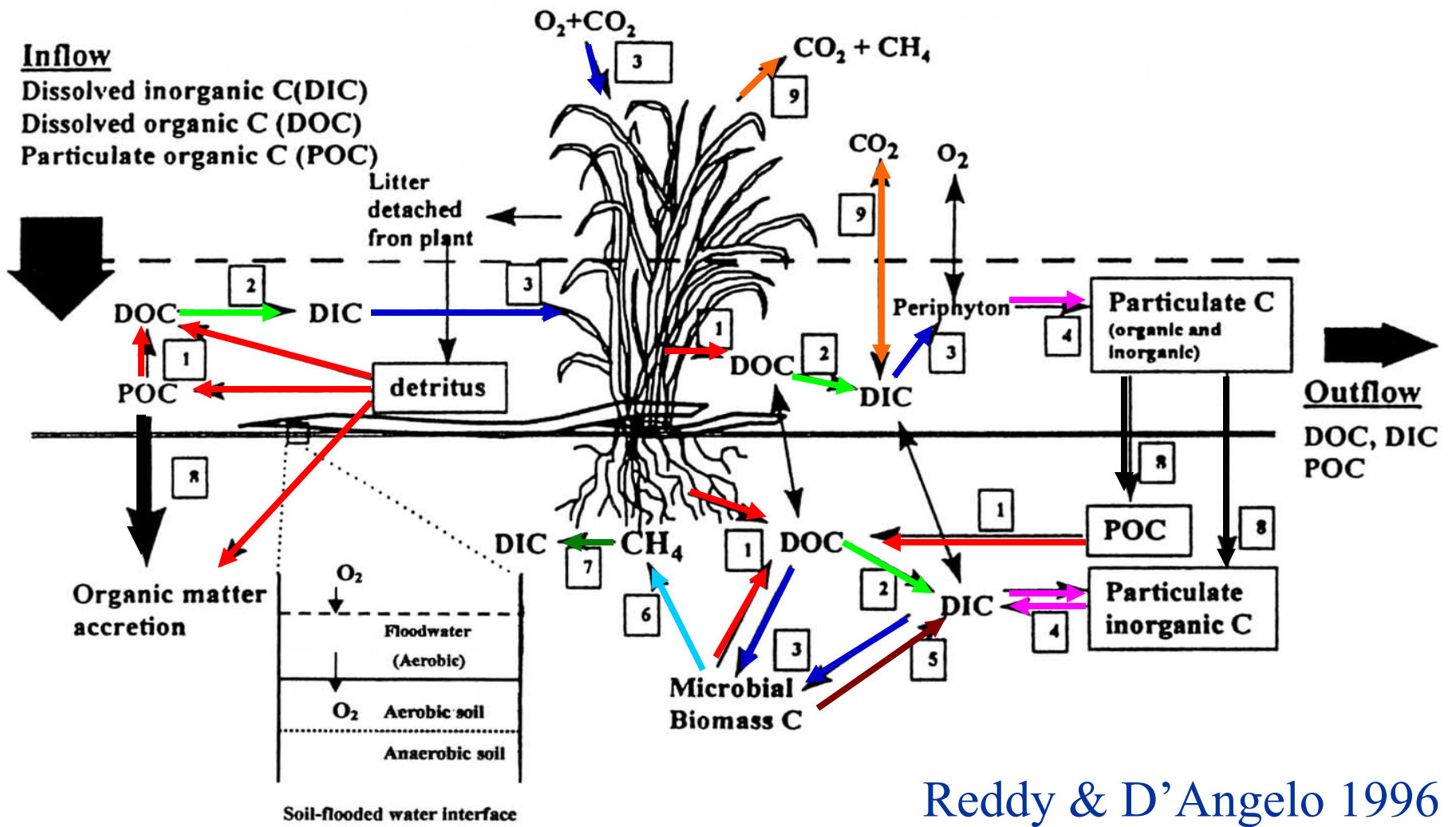


Vztah pH a jednotlivých forem anorganického uhlíku v povrchových vodách

Řasové nárosty pokryté uhličitanem vápenatým. Florida Everglades



- | | | | |
|------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------|
| 1. fragmentace & vyplavování | 2. mineralizace | 3. mikrobiální/rostlinný příjem | 4. Srážení & |
| rozpuštění | 5. respirace | 6. metanogeneze | 7. oxidace metanu |
| | | | 8. ukládání |
| | | | 9. „těkání“ |



Reddy & D'Angelo 1996

Metanogeneze je posledním stupněm anaerobního rozkladu organických látek

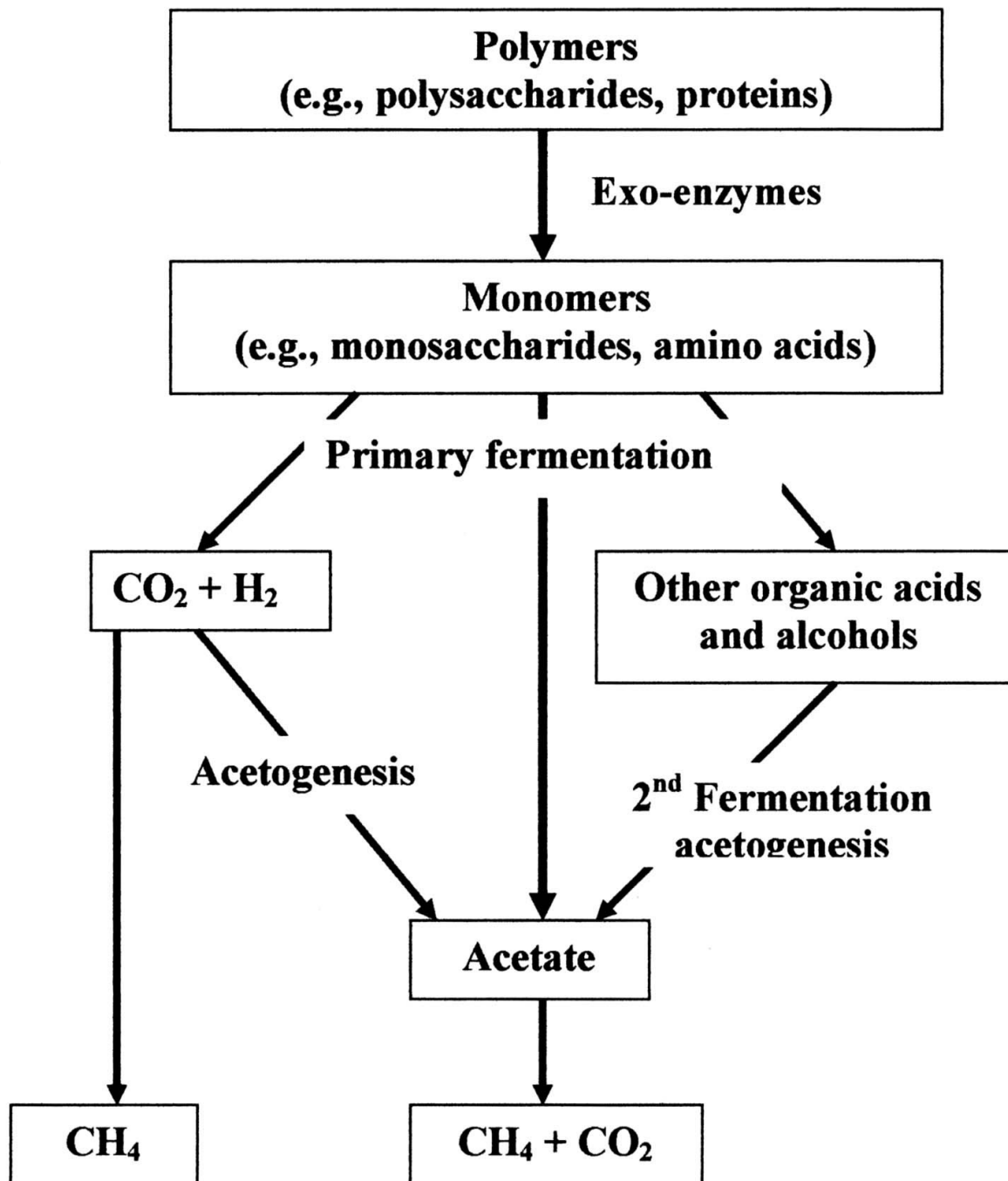


73% metanogenních druhů využívá H₂

10% (2 druhy, *Methanosarcina*, *Methanosaeta*) využívá acetoklastickou metanogenezi

Anaerobní oxidace metanu: $\text{CH}_4 + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{HS}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

Aerobní oxidace metanu : $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$



Dusík (N)

Transformace dusíku v mokřadech

Těkání

Amonifikace

Nitrifikace

Nitrát-amonifikace

Denitrifikace

Fixace N_2

Asimilace

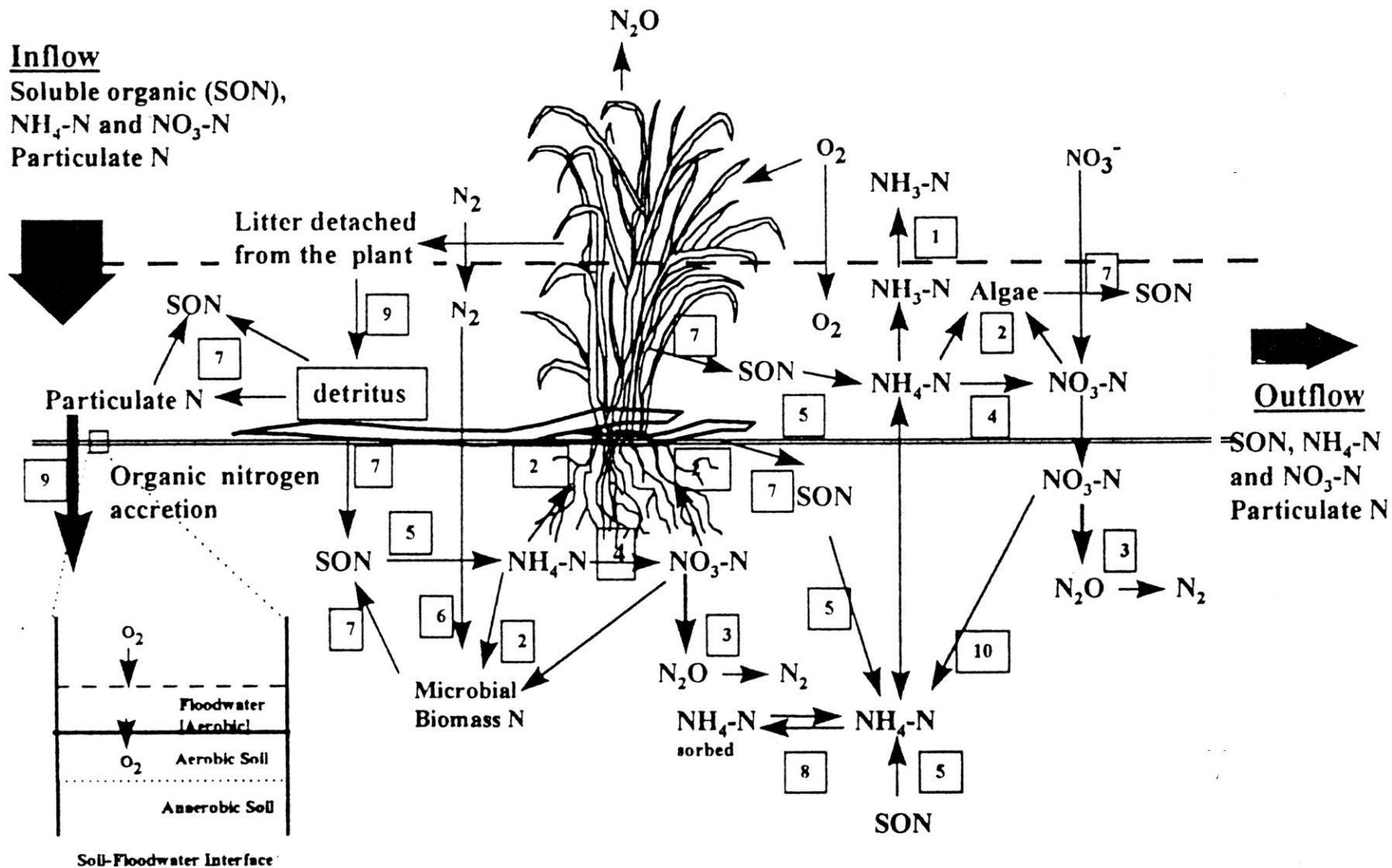
Adsorpce

ammoných iontů

Ukládání oranického dusíku

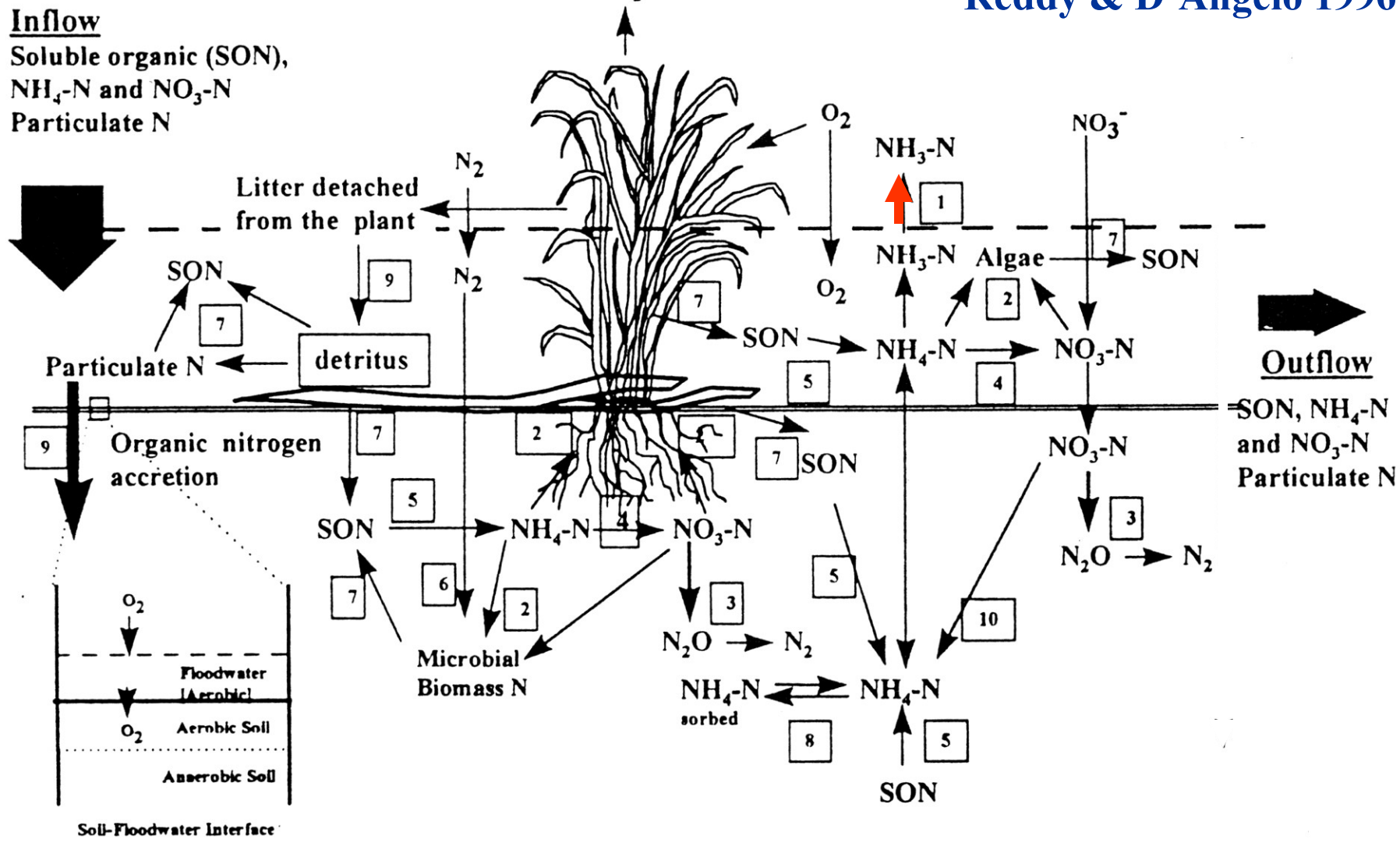
Fragmentace a vyplavování

Transformace dusíku v mokřadních systémech (Reddy & D'Angelo 1996)



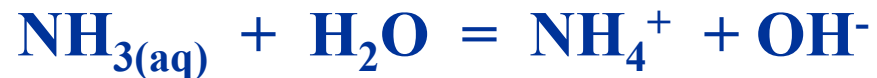
1. Těkání NH₃

Reddy & D'Angelo 1996



Těkání amoniaku

Jde o fyzikálně-chemický proces, při kterém je amoniakální dusík v rovnováze mezi plynnou a vodní (hydroxylovou) formou



Při pH 7.0 je poměr $(\text{NH}_3):(\text{NH}_4^+) = \text{ca. } 1:99,5$

25°C

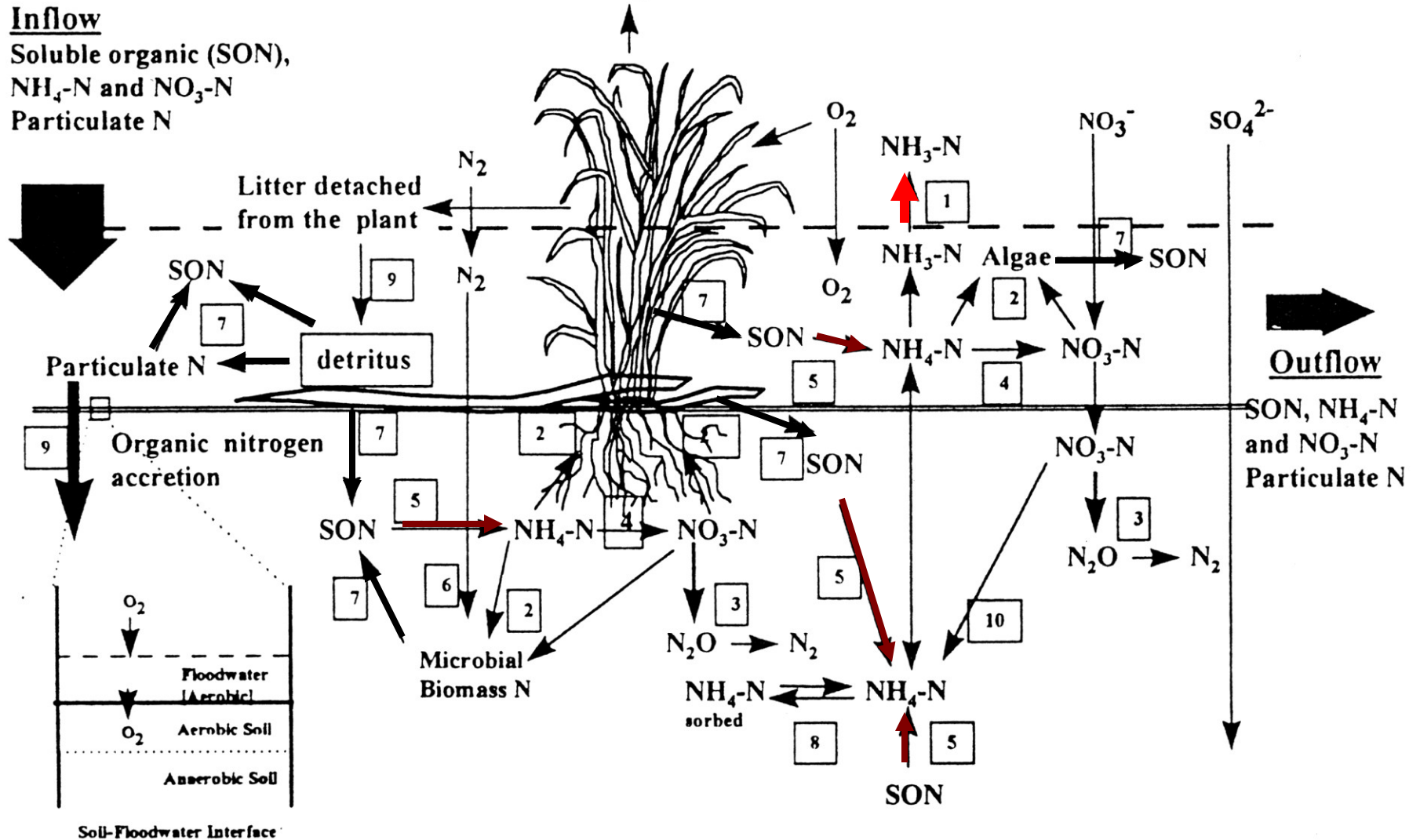
Při pH 8.0 je poměr $(\text{NH}_3):(\text{NH}_4^+) = \text{ca. } 1:95$

Při pH 9.3 je poměr $(\text{NH}_3):(\text{NH}_4^+) = \text{ca. } 1:1$

0°C



ca. 1:80



Mineralizace (amoniifikace)

Amonifikace je proces, při kterém je organicky vázaný N přeměněn na amoniak komplexním několikastupňovým biochemickým procesem, při kterém se uvolňuje energie

Oxidované zóny:

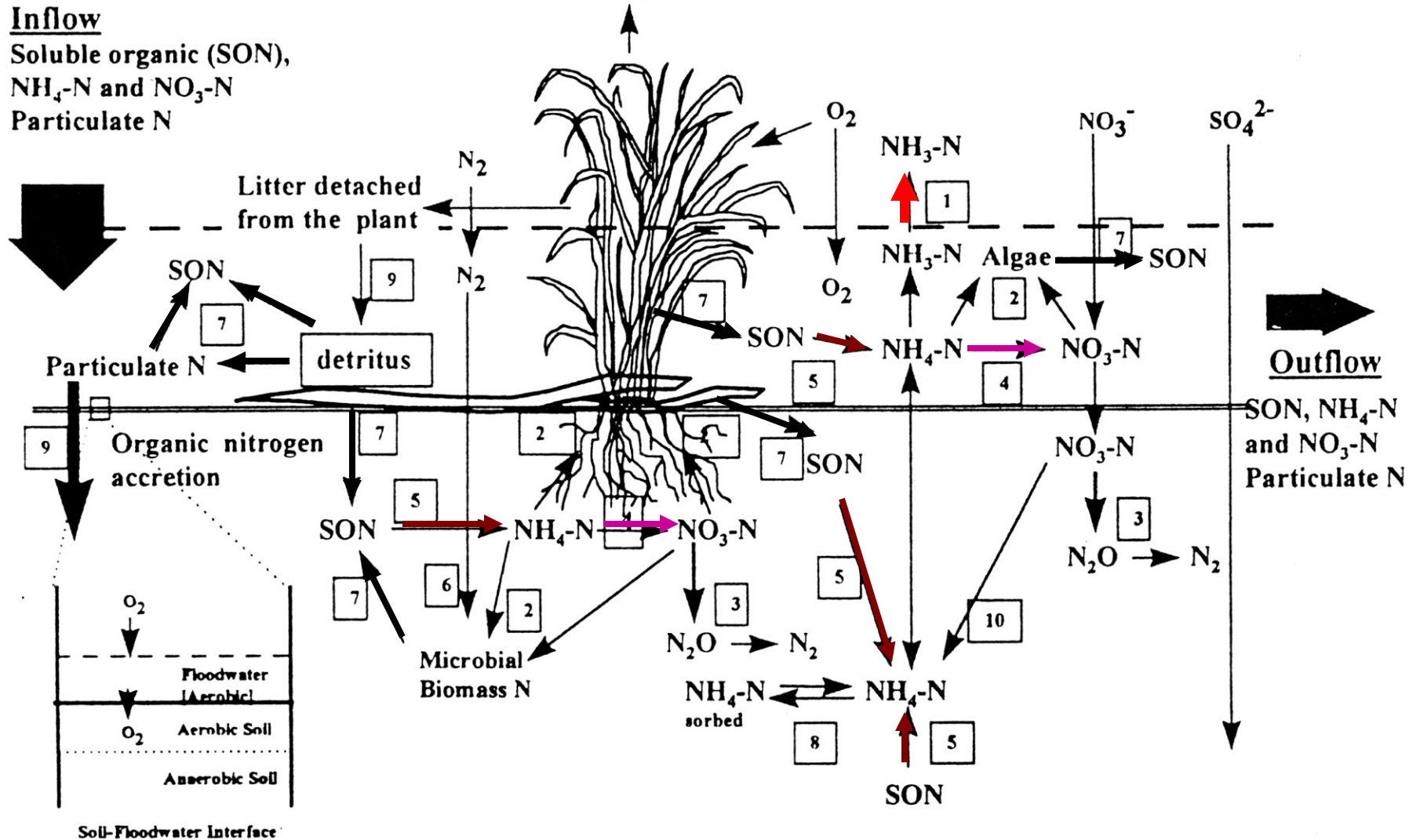
Aminokyseliny → Iminokyseliny → Ketokyseliny → NH_3

Redukované zóny:

Aminokyseliny → Saturevané kyseliny → NH_3

Kineticky je amoniifikace rychlejší než nitrifikace!!!

Mineralizační rychlost je největší v oxidovaných zónách a rychlost mineralizace klesá s přechodem na fakultativně anaerobní a striktně anaerobní mikroflóru



Nitrifikace

Nitrifikace je většinou definována jako biologická oxidace amoniaku na dusičnany s dusitany jako mezistupněm v reakční sekvenci

Nitrifikace je typicky spojována s chemoautotrofními baktériemi, ale v současnosti je známa i heterotrofní nitrifikace, která může být za určitých podmínek velmi důležitá.

Nitrifikace je dvoustupňový proces, který byl prokázán již v roce 1878 (Warington). Jednotlivé bakterie byly však izolovány až v roce 1890 (Winogradsky, Franklad a Franklad)



(*Nitrosomonas europaea*, *Nitrosolobus*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*)





(*Nitrobacter, Nitrococcus, Nitrospira*)

Výsledná rovnice nitrifikace



Heterotrofní nitrifikace

```
graph TD; A[Heterotrofní nitrifikace] --> B[Baktérie]; A --> C[Houby]; B --- B1[Arthrobacter globiformis]; B --- B2[Aerobacter aerogenes]; B --- B3[Mycobacterium phlei]; B --- B4[Pseudomonas spp.]; C --- C1[Aspergillus flavus]; C --- C2[Penicillium spp.]; C --- C3[Cephalosporium spp.]
```

Baktérie

Arthrobacter globiformis

Aerobacter aerogenes

Mycobacterium phlei

Pseudomonas spp.

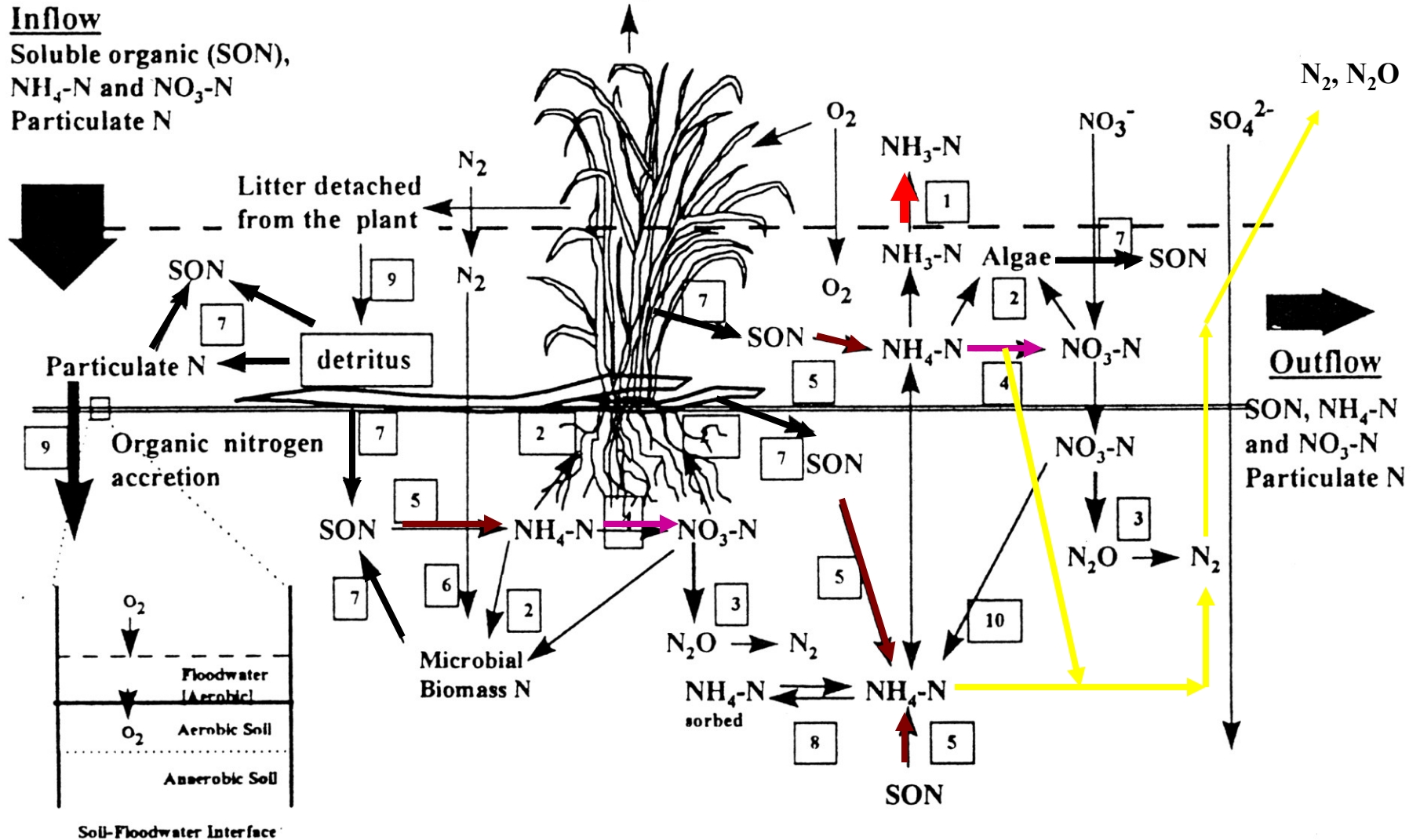
Houby

Aspergillus flavus

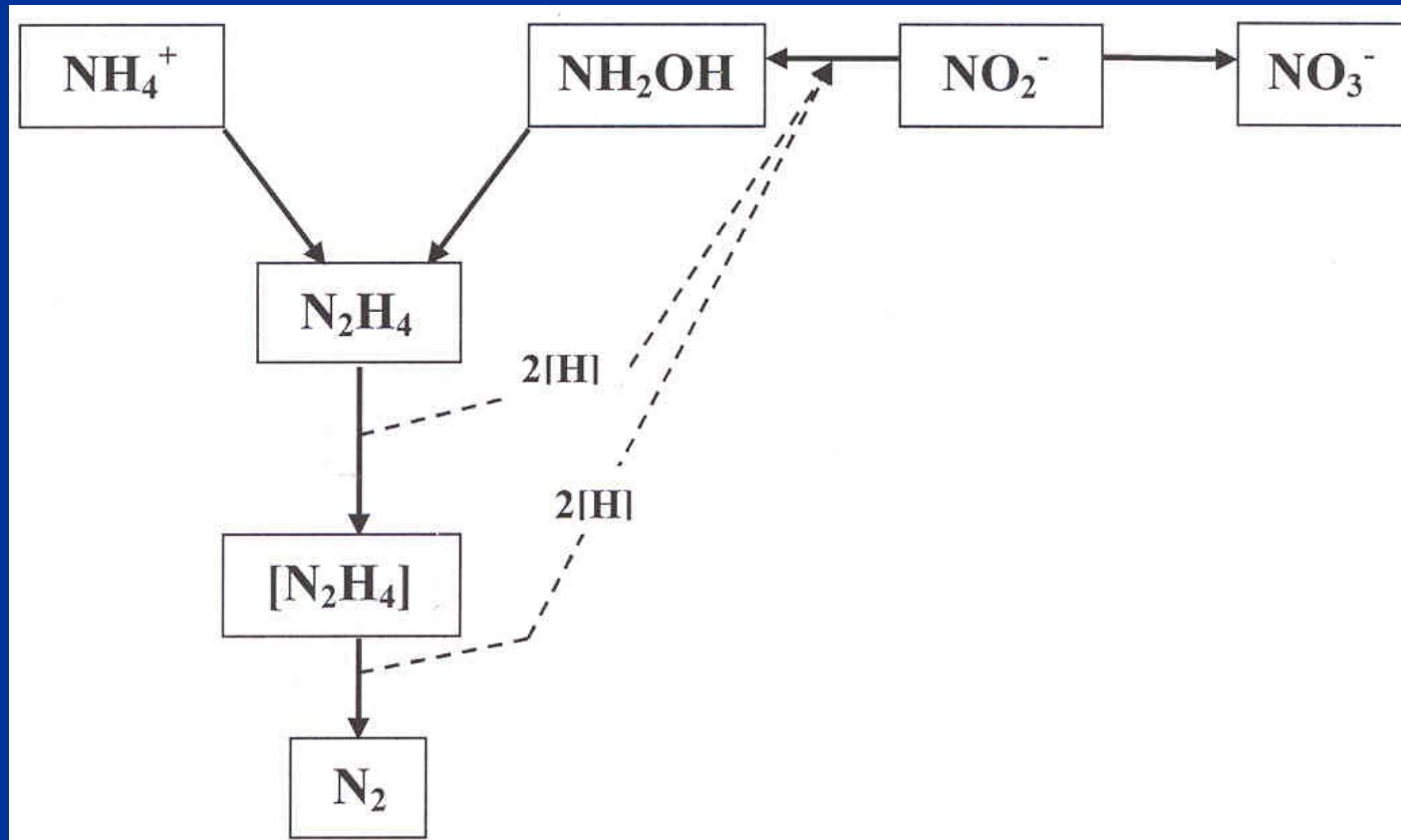
Penicillium spp.

Cephalosporium spp.

Většina heterotrofních nitrifikačních bakterií je zároveň denitrifikačními bakteriemi, takže význam tohoto procesu je v přírodě většinou podhodnocen

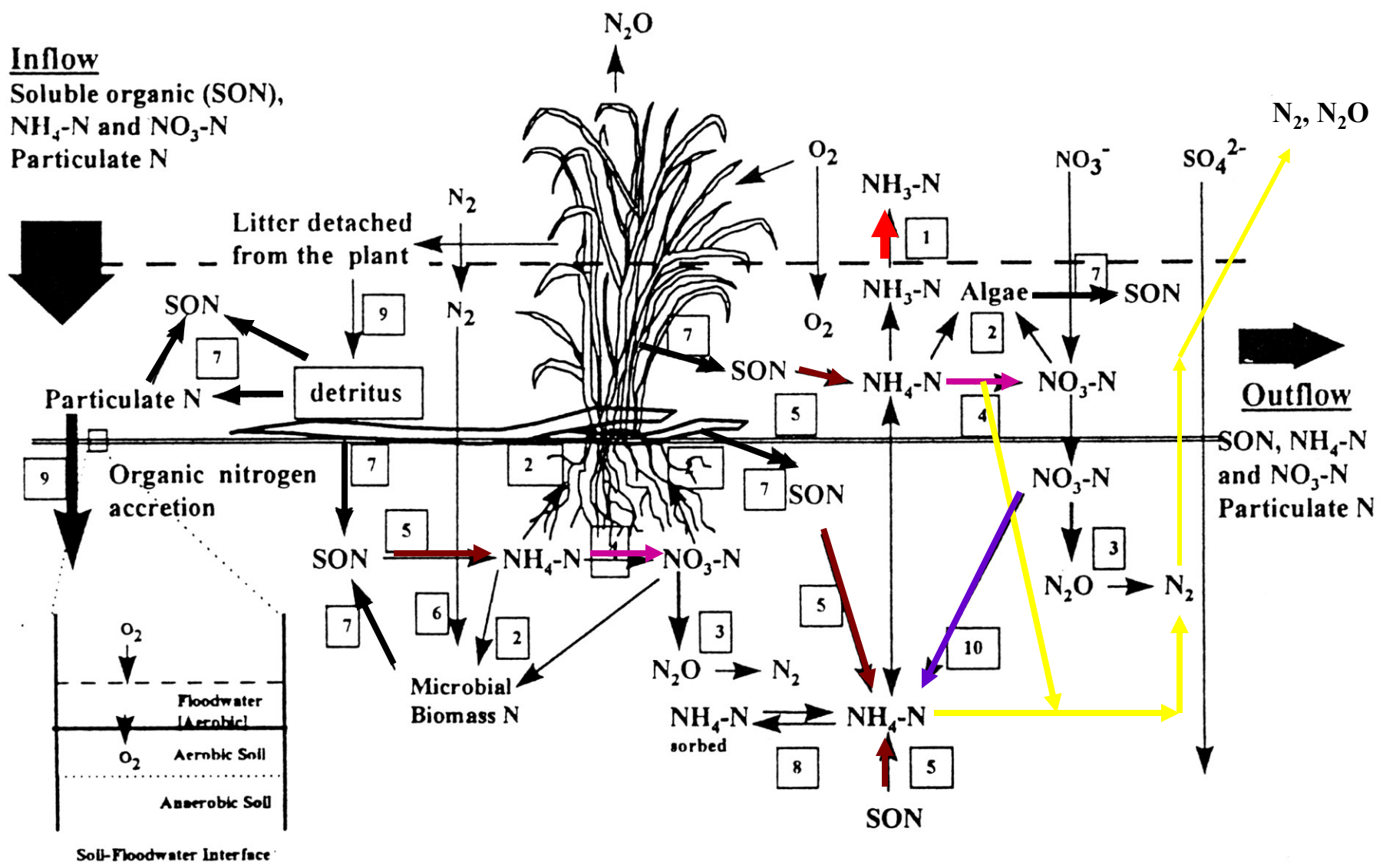


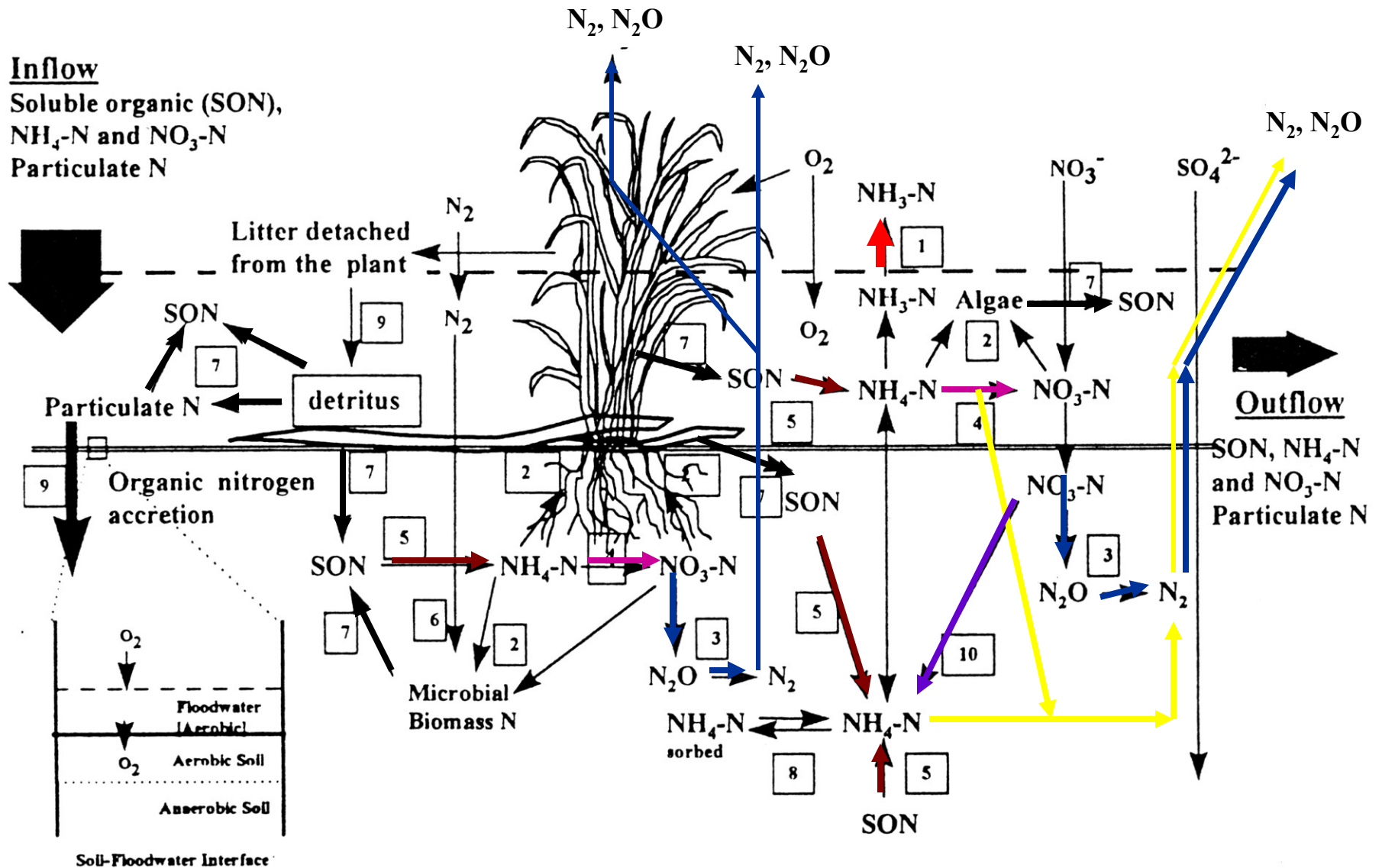
Anammox – anaerobní oxidace amoniaku



Verstaete and Philips, 1998; Van de Graaf et al., 1996

Nitrát-amonifikace





Denitrifikace

Denitrifikace je nejčastěji definována jako proces, při kterém jsou nitráty (NO_3^-) redukovány na plynný dusík (N_2) přes dusitany (NO_2^-), oxid dusnatý (NO) a oxid dusný (N_2O) jako meziprodukty. Proces je znám od roku 1868 (Reiset; Schloessing).



Z biochemického hlediska je denitrifikace bakteriální proces, při kterém oxidy dusíku slouží jako konečný příjemce elektronů pro transport elektronů při respiraci



Reakce je nevratná a probíhá pouze za přítomnosti organického substrátu za anoxických nebo anaerobních podmínek.

Většina denitrifikačních bakterií je chemoautotrofní organismy. Pokud je dostupný kyslík, oxidují tyto organizmy karbohydráty na CO_2 a H_2O

Nejdůležitější rody:

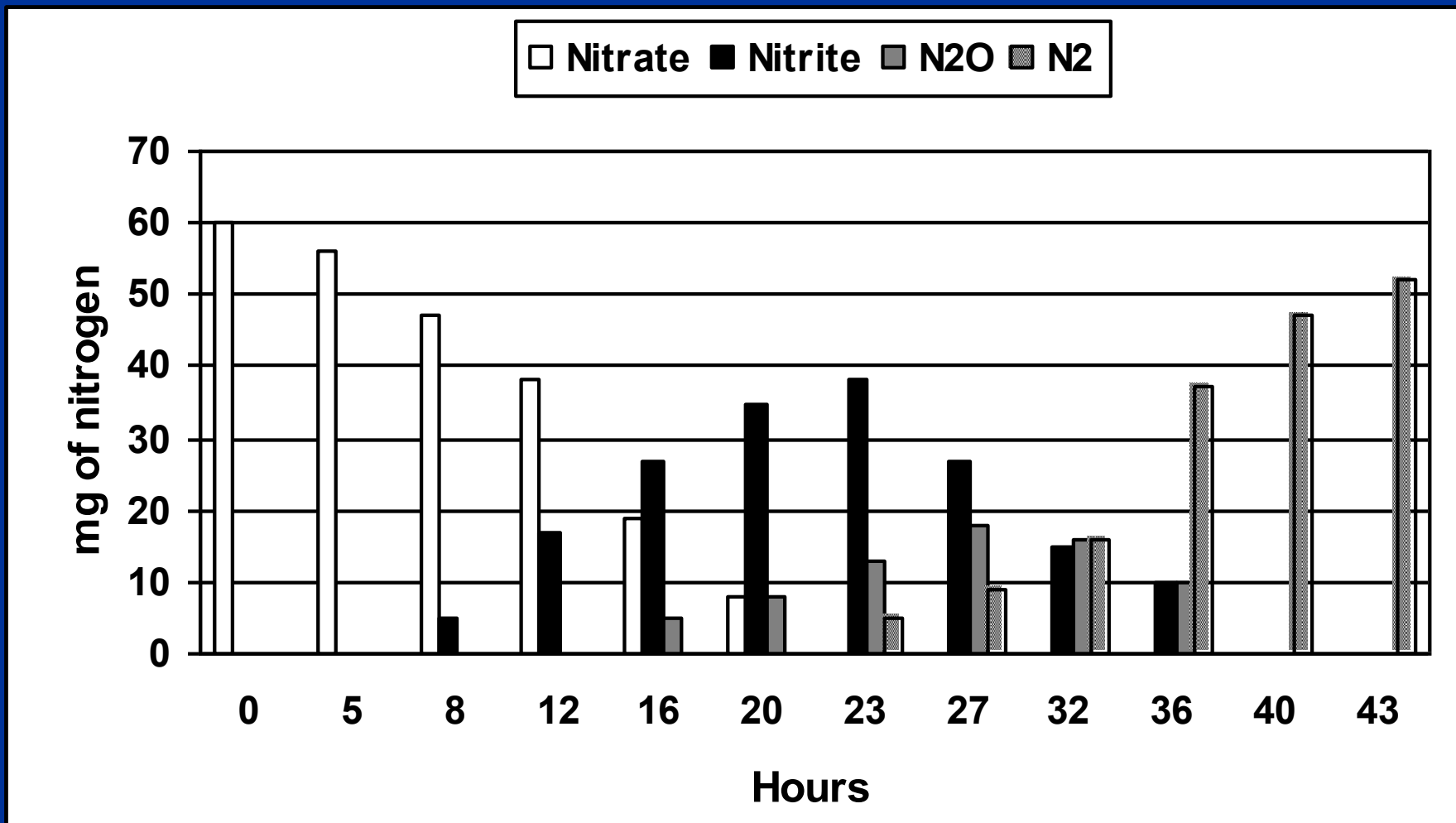
Bacillus, Micrococcus, Pseudomonas, Alcaligenes, Flavobacterium, Vibrio

Při $\text{pH} < 4.5$ je uvolňován jen N_2O , při $\text{pH} > 5.0$ je hlavním produktem denitrifikace N_2

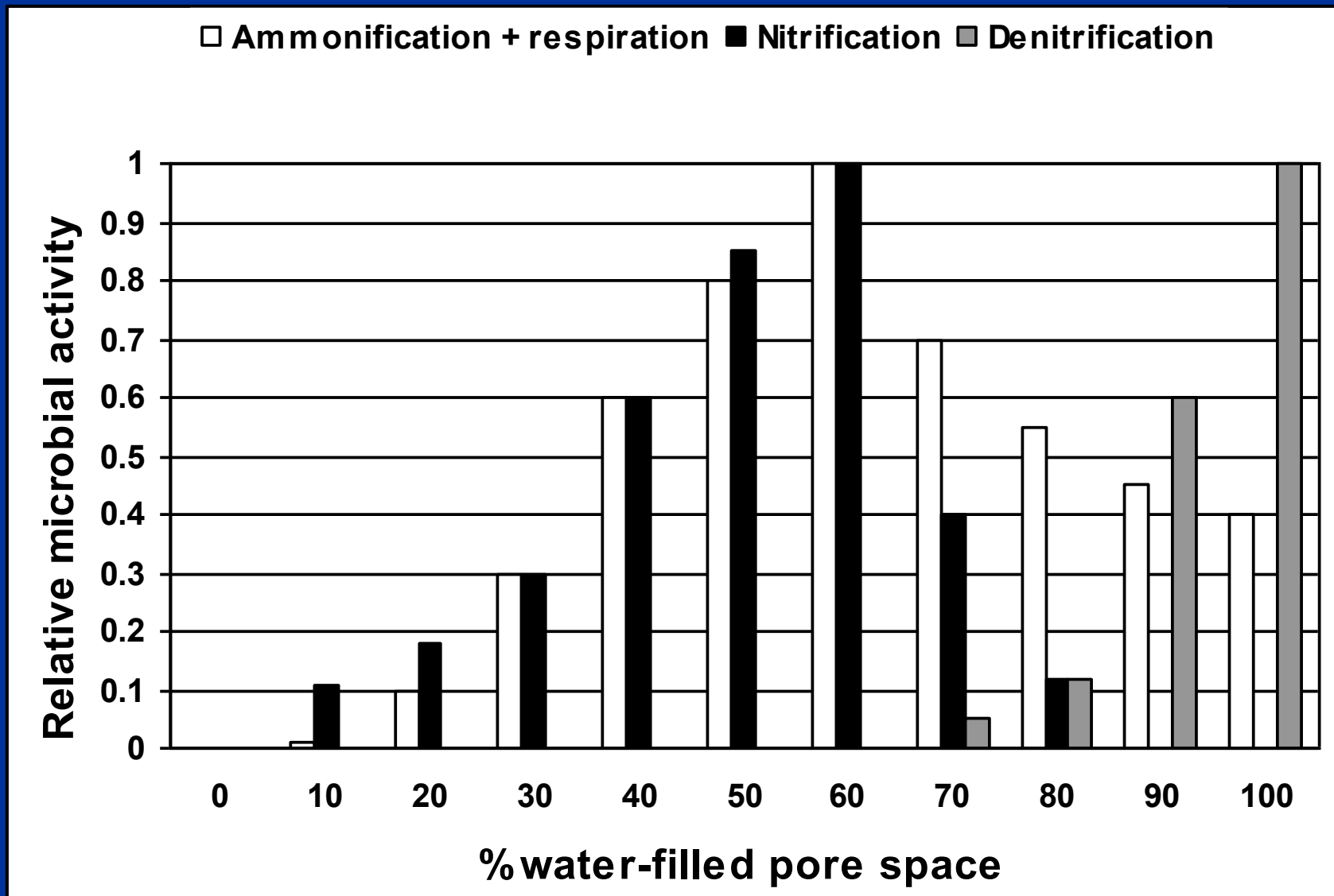
Nitrifikace a denitrifikace probíhají současně ve vodním prostředí a zaplavených sedimentech v případě, že se vyskytují aerobní i anaerobní zóny.

Kombinaci nitrifikace a denitrifikace lze vyjádřit jako: (Patrick & Reddy 1976):

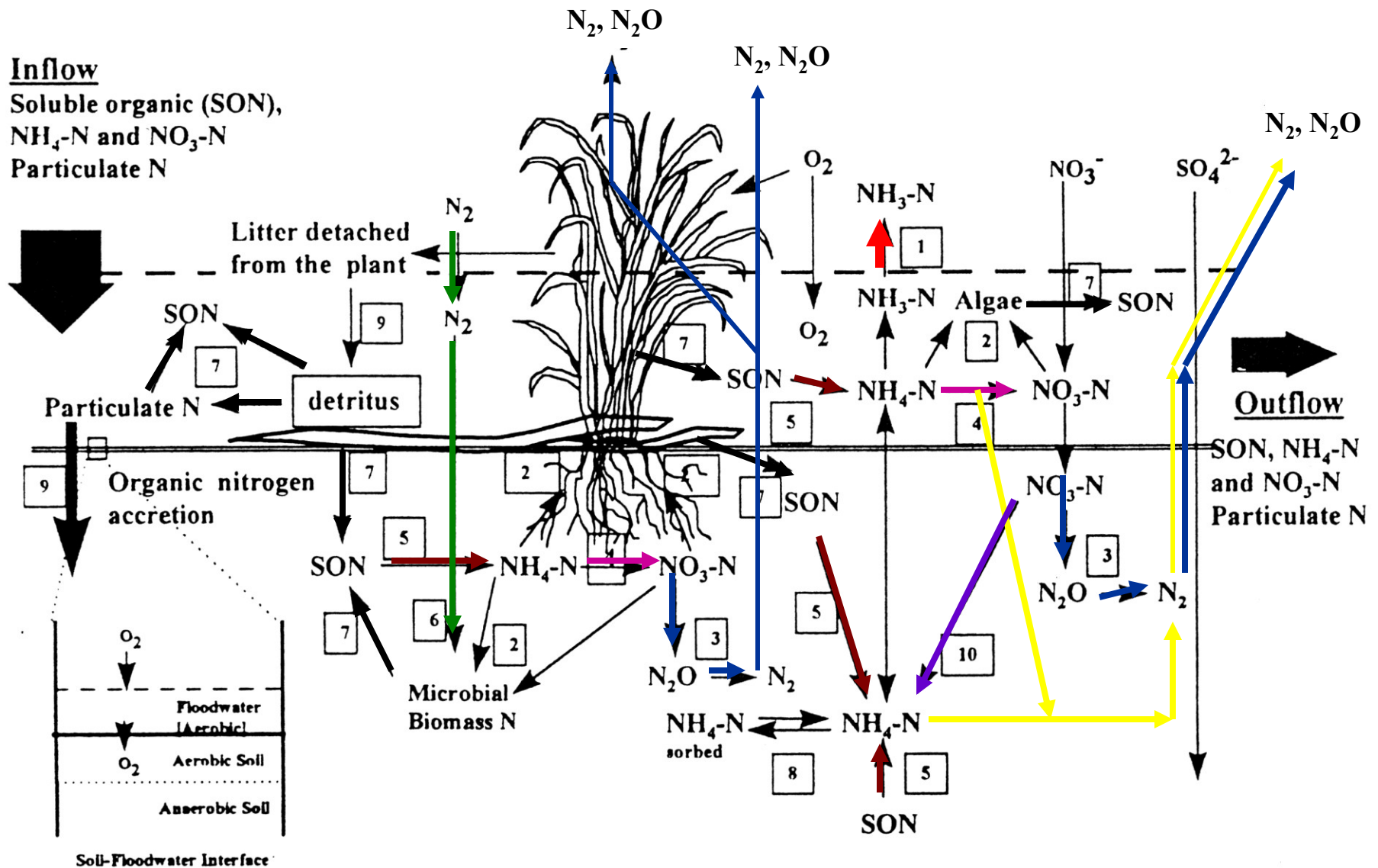




Množství jednotlivých sloučenin dusíku při denitrifikaci (Cooper a Smith, 1963)



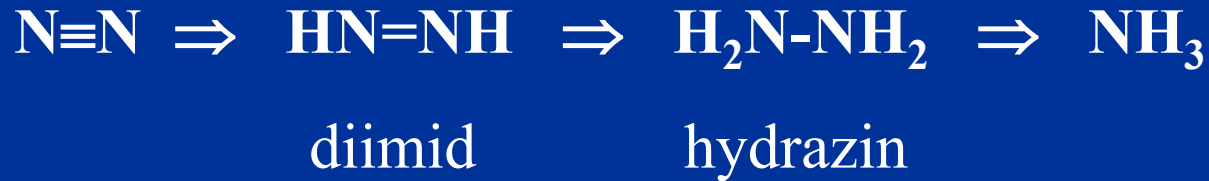
Relativní rychlost půdní denitrifikace a dalších mikrobiálních procesů jako funkce vyplnění půdních pórů vodou (Linn a Doran, 1984)



Fixace N₂

Fixace vzdušného dusíku je konverze plynného dusíku na amoniak

Schopnost fixovat dusík mají aerobní, fakultativně anaerobní a striktně anaerobní organizmy, ale fixace v anaerobních podmínkách je vyšší



Volně žijící bakterie (*Bacillus, Klebsiella*)

Aktinomycety (*Frankia*) - *Alnus glutinosa*

Cyanobaktérie (*Anabaena, Nostoc, Scytonema*)



Nostoc punctiforme



Anabaena laponica

Foto Jan Kaštovský



Tolypothrix elenkini

Foto Tomáš Hauer

Těkání NH_3

Fragmentace a vyplavování

Mineralizace

Nitrifikace

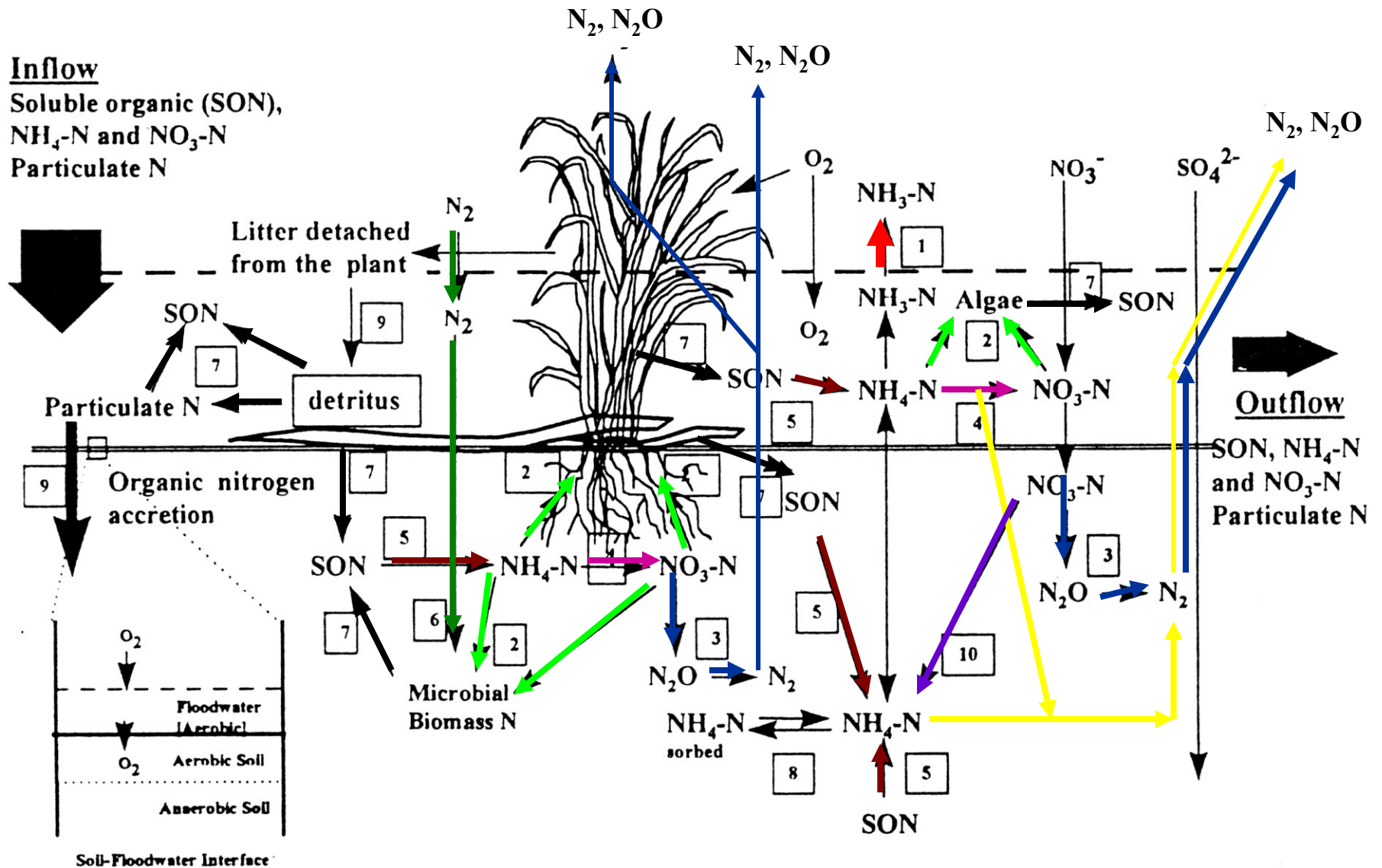
Anamnox

Nitrát-amonifikace

Denitrifikace

Fixace

Příjem rostlinami



Asimilace dusíku je soubor biologických procesů, kterými se transformují anorganické formy dusíku na organické sloučeniny, které slouží jako stavební bloky pro buňky.

Většina vyšších i nižších rostlin je schopna asimilovat jak amoniak tak dusitany a dusičnany. Amoniak jako zdroj dusíku je energeticky výhodnější, protože dusičnany je nutné redukovat (nitrát reduktáza).

Po odumření rostlinných tkání se dusík dostává zpět do vodního prostředí

Těkání NH₃

Fragmentace a vyplavování

Mineralizace

Nitrifikace

Anammox

Nitrát-amonifikace

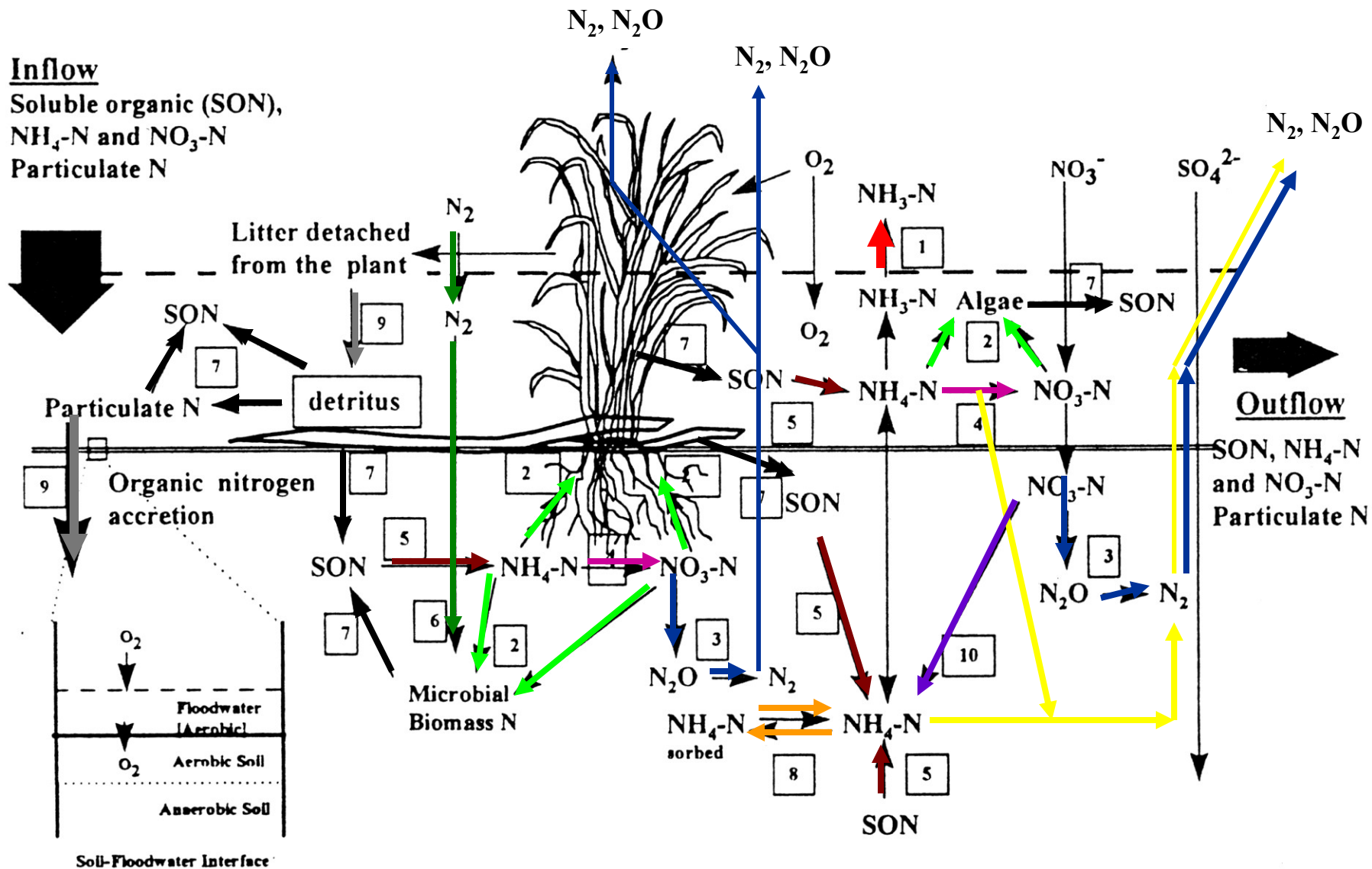
Denitrifikace

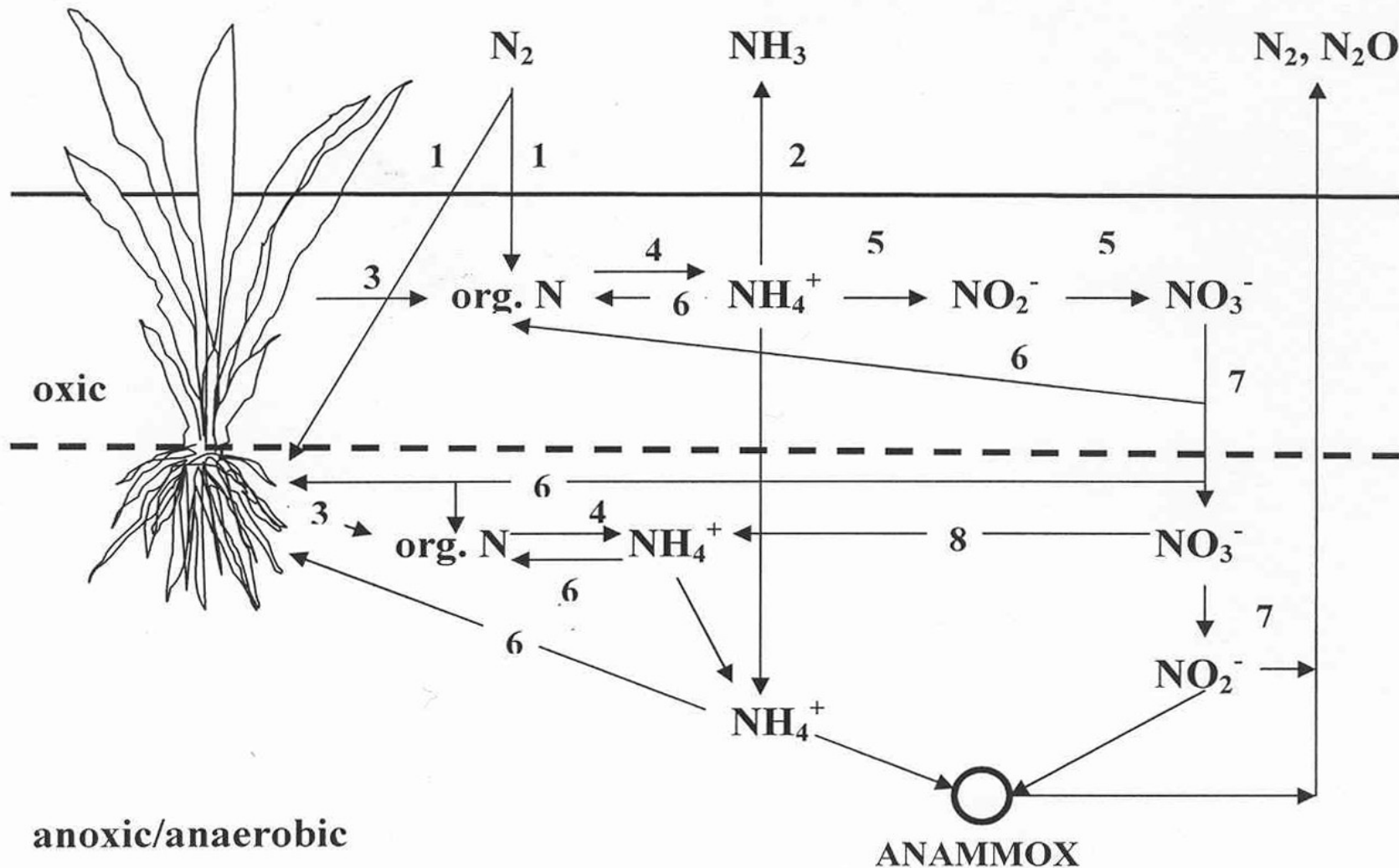
Fixace

Příjem rostlinami

Sorpce a desorpce

Ukládání





Hlavní transformace dusíku v aerobních (oxických) a anaerobních a anoxických zónách akvatického systému. 1-fixace N_2 , 2-těkání amoniaku, 3-vyplavování, 4-ammonifikace (mineralizace), 5-nitrifikace, 6-příjem, 7-difúze nitrátů a následná denitrifikace, 8-nitrát-ammonifikace

Rychlost jednotlivých transformačních procesů, optimální teplota a pH

Proces	Rozpětí (g N m ⁻² d ⁻¹)	Teplota ¹ (°C)	pH ¹
Amonifikace	0.004 - 0.357	40 – 60	6.5 - 8.5
Nitrifikace	0.010 - 0.290	30 - 40	6.6 - 8.0
Denitrifikace	0.003 - 1.020	60 - 75	6.0 - 8.0
Fixace	půda voda rostliny ²	0.00001- 0.120 0.00096 - 0.127 0 - 0.470	5.0 – 8.0
Těkání	up to 2.20		> 8.0
Rostl. příjem	0.018 - 0.510		
emerzní rostliny	0.032 - 0.163		
volně plovoucí	0.018 – 0.510		
Ukládání org. N	0.04 - 0.093		

¹optimální, ²microorganizmy rostoucí na rostlinách

Fosfor (P)

Transformace fosforu v mokřadech

Adsorpce/desorpce

Srážení/rozpouštění

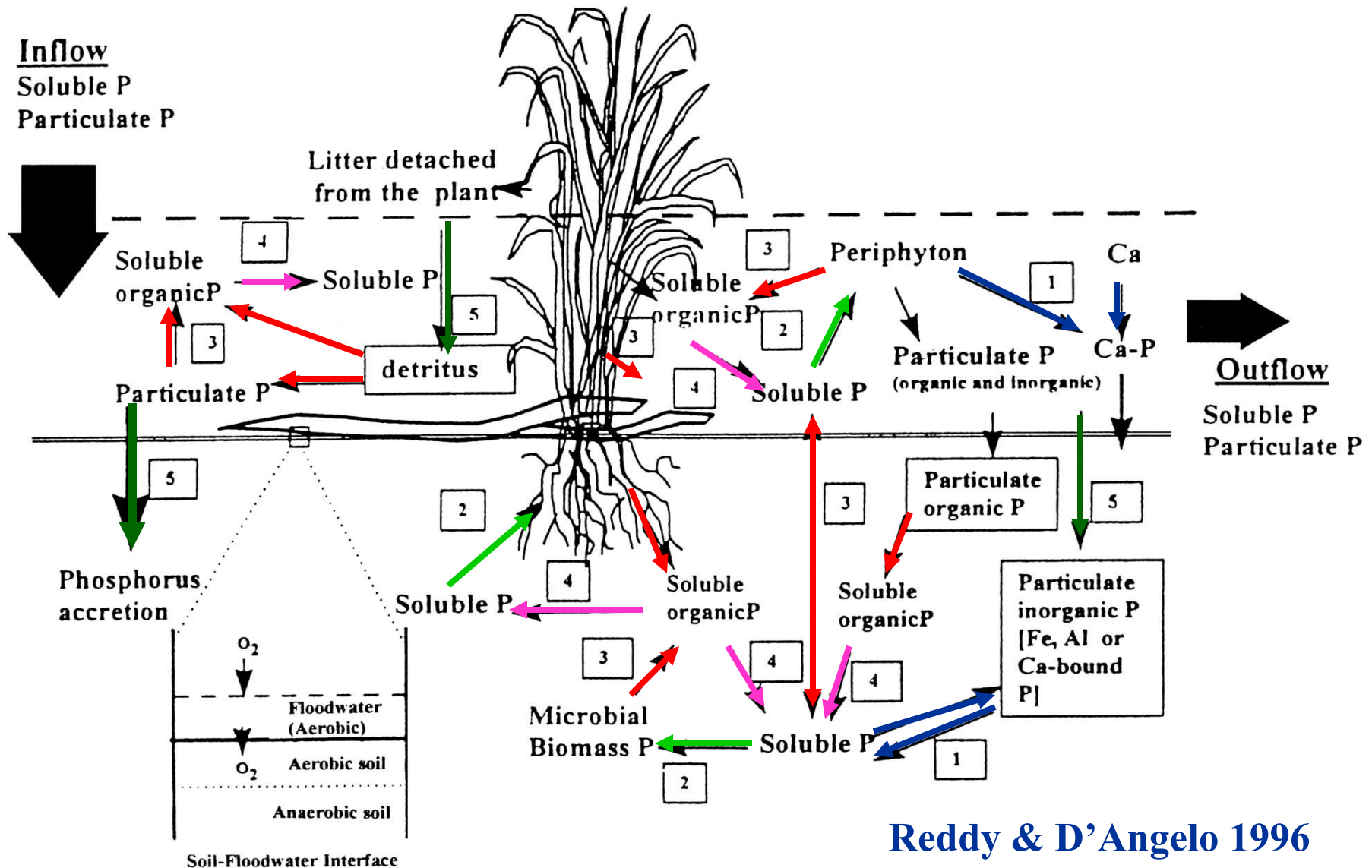
Asimilace (rostliny/baktérie)

Fragmentace a vyplavování

Mineralizace

**Sedimentace (nárůst půdního
profilu)**

Ukládání



Mechanismy kontrolující dlouhodobé (LT) a krátkodobé (ST) ukládání fosforu v akvatických systémech (Richardson 1999)

Mechanismus	Míra	Rychlost
Přirůstání půdního profilu (LT)	vysoká	velmi malá
Adsorpce půdy (LT)	nízká/střední	střední
Srážení (LT)	střední	vysoká
Rostlinný příjem (ST)	nízká/střední	malá
Sorpce detritu (ST)	nízká	vysoká
Mikrobiální příjem (ST)	velmi nízká	velmi vysoká

Krátkodobá a dlouhodobá kapacita ukládání fosforu ve vodních ekosystémech (Houghton Lake, Michigan, USA, Richardson, 1999)

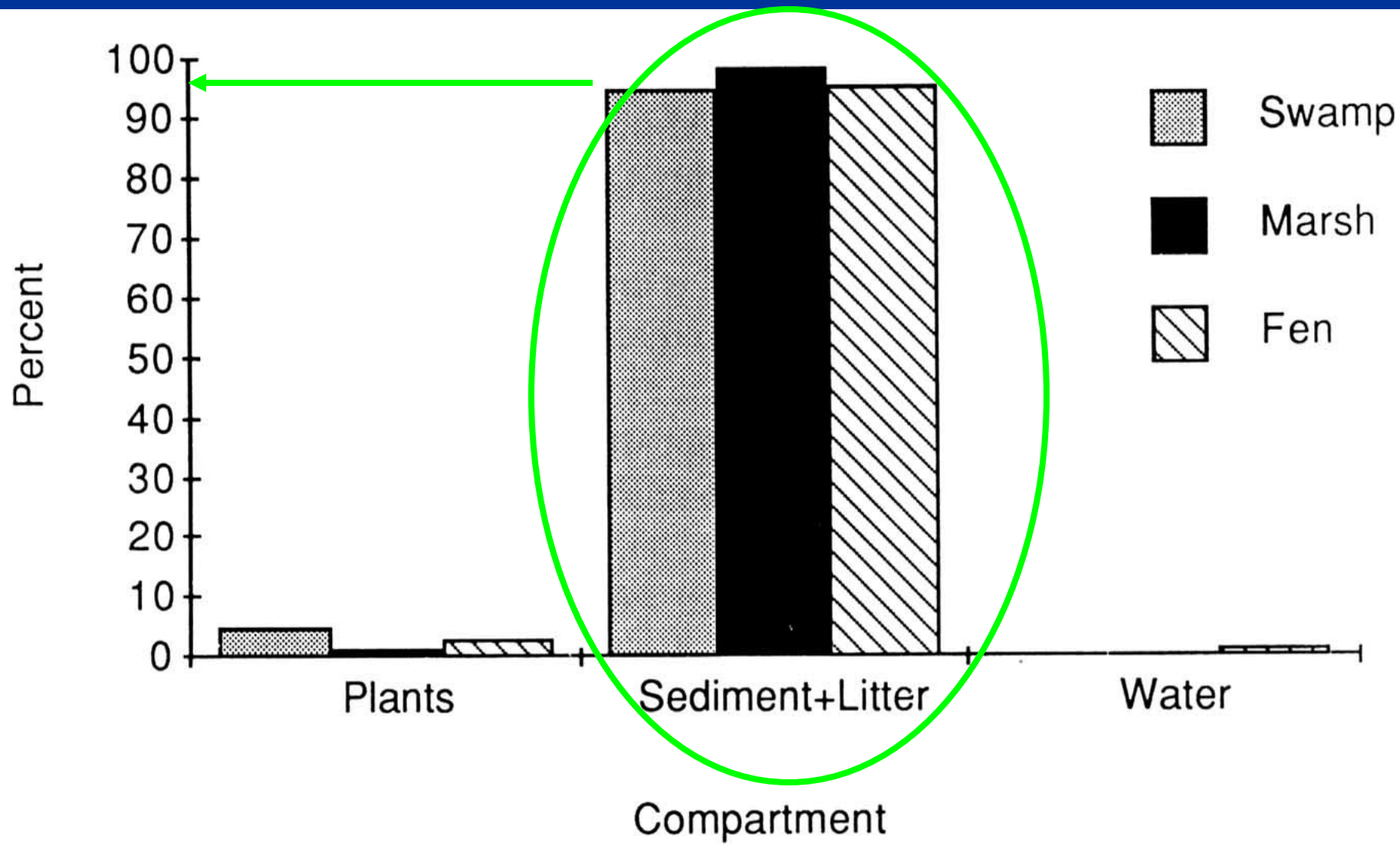
	Rozmezí (g m ⁻² yr ⁻¹)	%
Baktérie	0.5-1.0	12-13
Řasy	1.0	12-25
Makrofyta	1.0-2.5	25-30
Adsorpce půdy	1.5-3.8	38-46

Krátkodobá kapacita 4.0-8.3

Dlouhodobá kapacity (5ti leté sledování)

0.92 0.15

Ukládání fosforu v různých částech mokřadů (Verhoeven 1986)



Transformace síry v mokřadech

Aerobní podmínky

Asimilační redukce sulfátů (rostlinný příjem): $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{org. S}$

Mineralizace: $\text{org. S} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$

Oxidace siričků: $\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{energie}$

Thiobacillus

Oxidace elementární S: $2 \text{S} + 3 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{energie}$

Anaerobní podmínky

Disimilační redukce sulfátů: $\text{SO}_4^{2-} + \text{mléčnan} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{acetát} + \text{CO}_2$

Desulfovibrio

$\text{SO}_4^{2-} + \text{acetát} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2$

Asimilace H_2S : $\text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{S} \rightarrow 2 \text{S}^0 + \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_2\text{O}$

Mikrobiální příjem

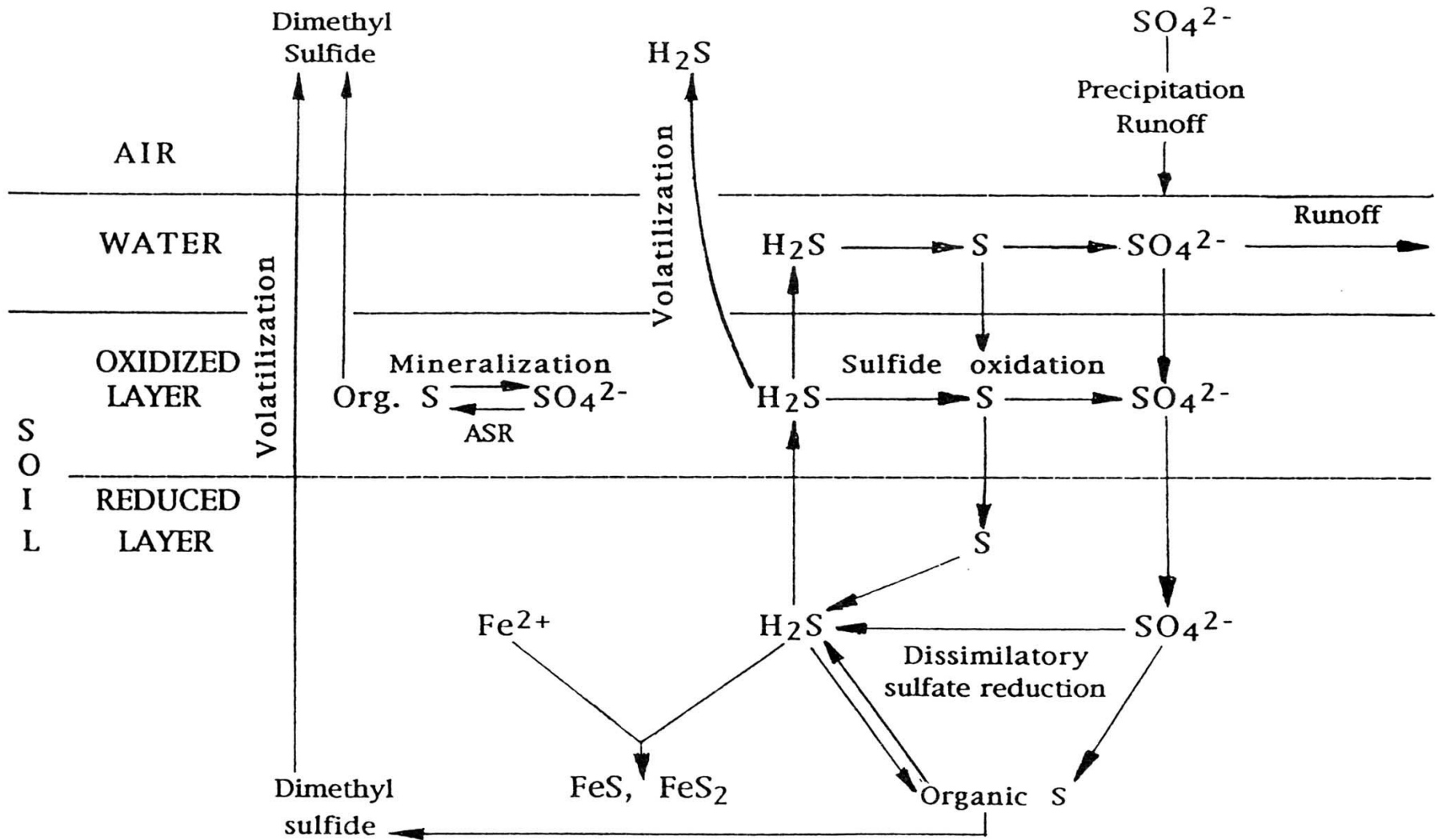
světlo

(Těkání) H_2S , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$

Tvorba Fe sulfidů (FeS , FeS_2)

Fotosyntetické bakterie: fialové (*Chromatium*), zelené (*Chloribium*)

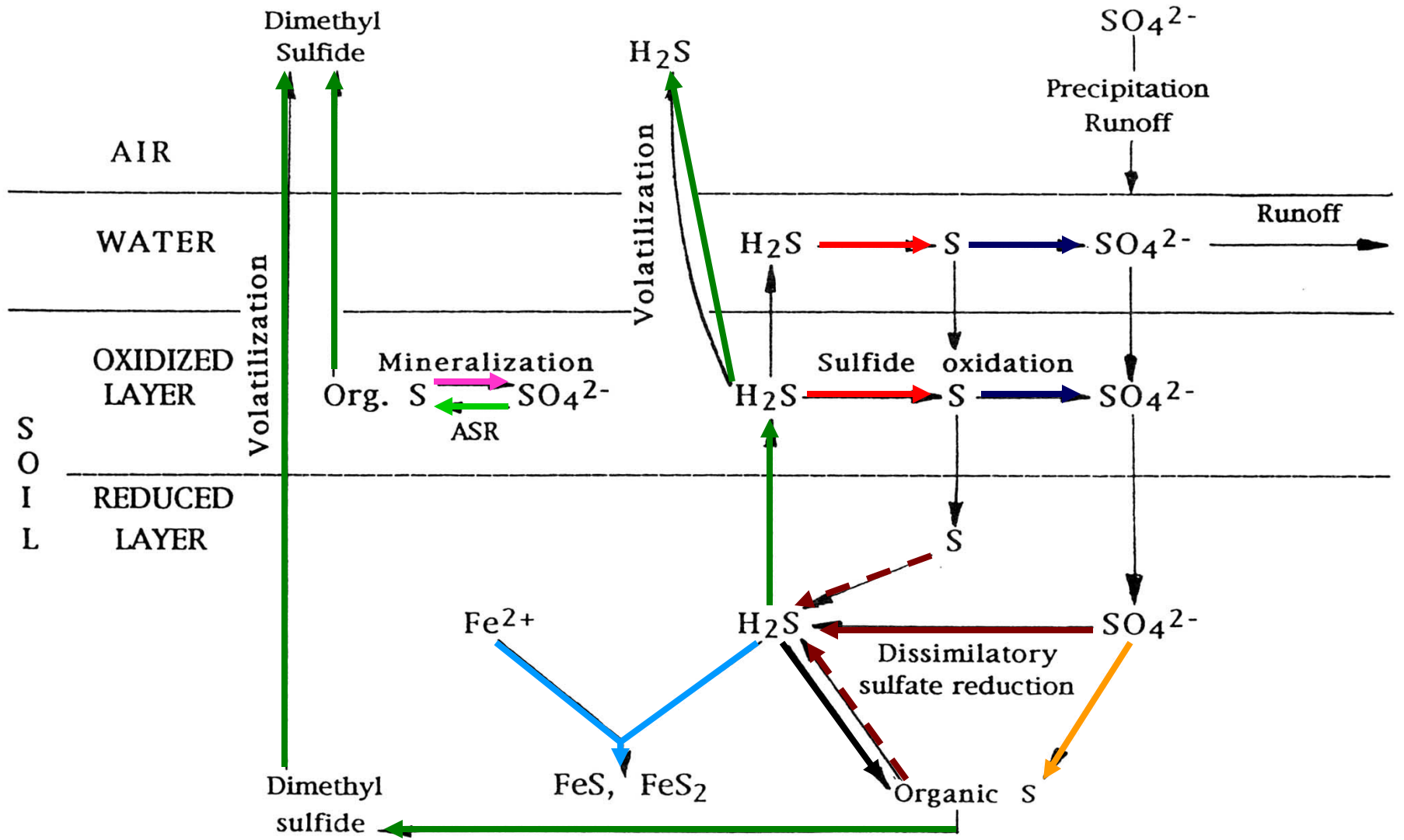
Transformace síry v mokřadech



Asimilační redukce síranů **Mineralizace** **Oxidace sulfidů** **Oxidace elementární S**

Disimilační redukce sulfátů **Microbiální příjem** **Asimilace H₂S** **Těkání**

Tvorba Fe sulfidů



**Elementární síra na
odtoku z ČOV Mořina**



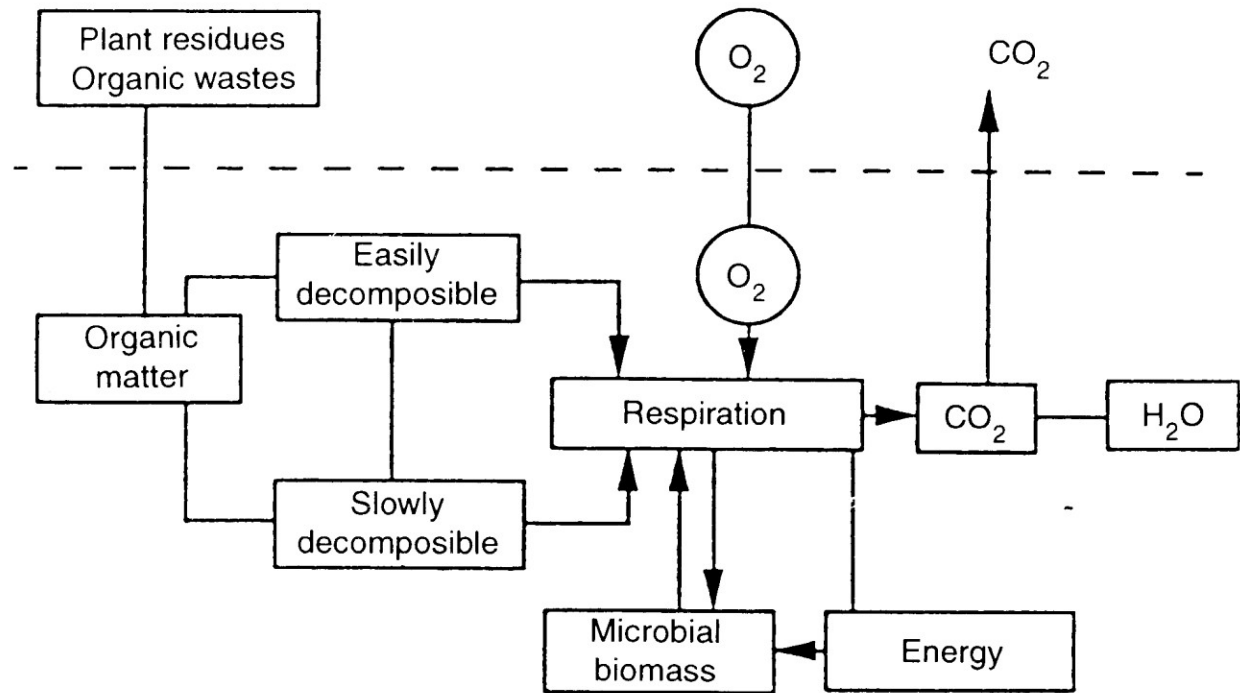
A

Aerobic respiration

O₂ reduction

Eh ≥ 300 mV

Zone I



B

Facultative anaerobic
respiration

Zone II

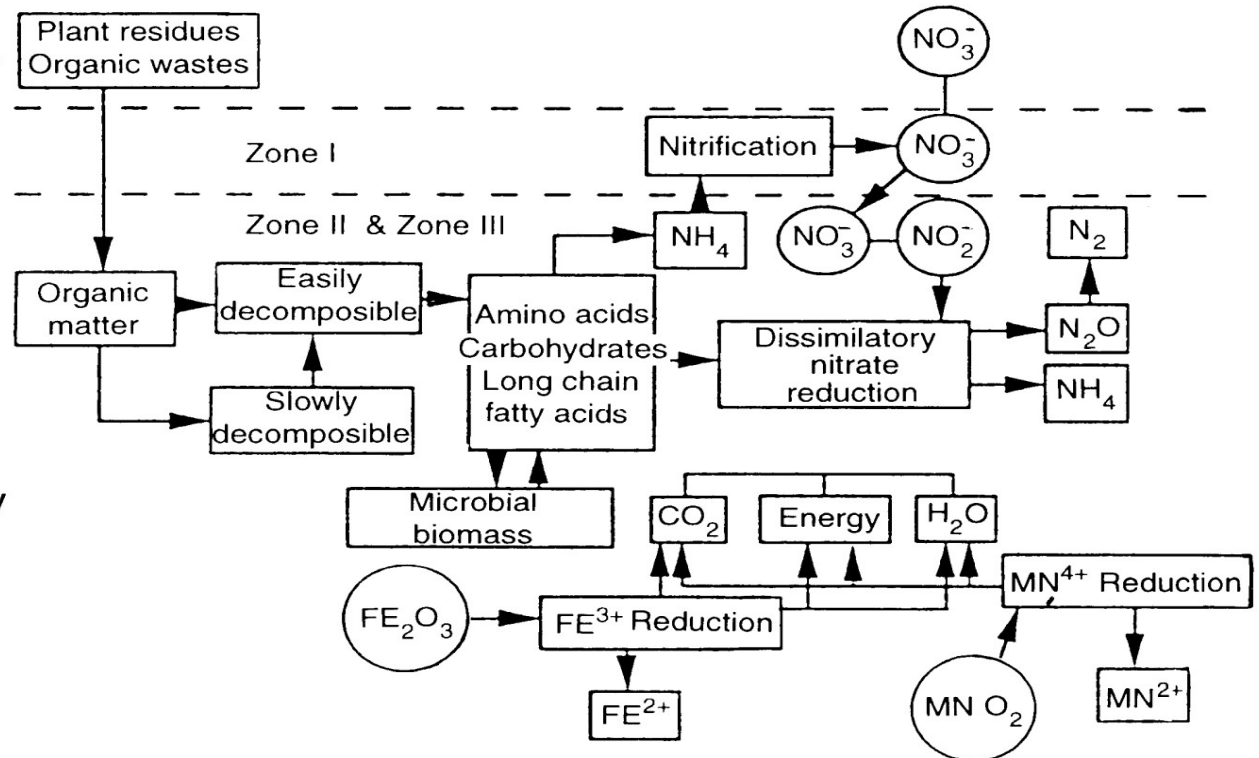
NO_3^- } reduction
 Mn^{4+} }

Eh = 100 to 300 mV

Zone III

Fe^{3+} reduction

Eh = -100 to 100 mV



C

Anaerobic respiration

Zone IV

Sulfate reduction

Eh = -200 to -100 mV

Zone V

Methane formation

Eh = < -200 mV

