

o důmyslně fungující rybníční soustavy, tehdy vystavěné spíše ojedinělé rybníky dosahovaly značných rozměrů. Jako příklad rybníků pocházejících z konce 14. století jmenujme dodnes svému účelu sloužící Dvořiště (obr. 3) nebo Holnou na jihu Čech a výše uvedené Máchovo jezero.

Klasickou dobou výstavby rybníků se ale stalo až období konce 15. a začátku 16. století, kdy zde působili nejvýznamnější čeští rybníkáři – Jakub Krčín z Jelčan a Sedlčan, Josef Štěpánek Netolický a Mikuláš Ruthard z Malešova. Postupně byla zdokonalována technika výstavby, která umožňovala budování vyšších a delších hrází, a tudíž i plošně větších rybníků. Největší vznikly jednak z iniciativy Viléma z Pernštejna (dnes neexistující Blato u Poděbrad a Čeperka na Pardubicku, jejichž rozloha dosahovala až téměř 1 000 ha), jednak na panstvích Rožmberků – především v Českobudějovické (Bezdrav) a Třeboňské pánvi (Rožmberk, Svět, Opatovický rybník ad.). Většinou se tyto rybníky stavěly hlavně kvůli velmi výnosnému chovu ryb, a to i na export do ciziny. Zmínit musíme také Staňkovský rybník, který v r. 1559 s původním názvem Velký Soused založil Mikuláš Ruthard z Malešova. Jde v podstatě o údolní nádrž – byla vybudována hlavně jako protipovodňová ochrana na Koštěnickém potoce, který se pravidelně na jaře rozvodňoval. V současnosti je rybník ležící na hranici s Rakouskem nejhlubším a nejobjemnějším v ČR.

Poměrně vzácné byly nádrže vystavěné hlavně pro čerpání pitné vody. Město Tábor

z tohoto důvodu nechalo vybudovat r. 1492 nádrž Jordán, která bývá dodnes někdy označována jako nejstarší přehrada u nás (tak ji vede např. i česká verze Wikipedie). Obvykle městům stačily rozvody vody z blízké řeky, nebo z vodního příkopu, který město obepínal. Ten bylo navíc možné využít i k obranným účelům – zajímavě měl tento systém vybudován např. Nymburk, což má evidentní souvislost s tím, že město založili kolonisté z dolního Německa nebo přímo dnešního Nizozemska.

Kromě rybníků najdeme u nás i nádrže vzniklé jako důsledek těžební činnosti a sklářské výroby. Hornictví potřebovalo pro praní vytěžené rudy velké množství vody, kterou zadržovaly menší vodní nádrže na blízkých potocích a říčkách. Další vodní plochy vznikly jako pozůstatek po těžbě nebo propadnutím důlních chodeb. Hornická činnost na jihu Čech je doložena již ve třetím až čtvrtém století našeho letopočtu, tehdy budované nádrže byly často později přestavěny na rybníky. Dokládají to mnohé názvy rybníků, někdy i zkomolené, vztahující se ke sklu a rudám: Blyskota, Měděnice, Kališ, Kalus, Sklenářský, Klenot. Podle Jana Němce a Josefa Hladného (2006) nazývali Němci tyto vodní stavby jako Waschteiche, přičemž se někde název zachoval (např. Prádlo, Přádelný, Práč).

Závěrem

Pátrání po středověkých vodních plochách nás odkazuje pouze na kroniky, listiny a další historické zdroje. Mapové podkla-

dy nelze využít, ty se začaly vytvářet až mnohem později, navíc pro vodní plochy v poměrně nedostatečném měřítku; archeologické prameny pak někdy limituje skutečnost, že krajina v okolí starých vodních ploch byla zcela přeměněna (např. v severočeských pánvích). V raném středověku šlo vesměs o přírodní vodní nádrže, teprve od 13. století a ve větší míře až ke konci středověku se objevují nádrže vytvořené lidskou rukou, ať již kvůli chovu ryb, nebo i z dalších důvodů včetně zásobování vodou nebo pohonu mlýnů a jiných zařízení.

Samozřejmě se zcela jistě ve středověku na našem území nacházela spousta dalších vodních ploch např. kolem meandrujících toků. Tato jezera mohla v závislosti na velikosti toku dosahovat i značných rozměrů. Současně platí, že v období středověku, kdy naše toky nebyly nijak výrazně regulovány a upravovány, se zřejmě jejich počet mohl poměrně rychle měnit. Hlavním impulzem k tomu byly každé větší povodňové průtoky. Pozůstatky bývalých koryt se v dnešní krajině objevují v době, kdy dojde při povodních k vylití vody do okolní údolní nivy. Zejména při pohledu z výšky se pak původní koryto toku, které mohlo nějakou dobu být i jezerem, znovu objeví. Naši předkové věděli, kde se tyto plochy nacházely. Informace o nich se nám mohou hodit např. při plánování nových staveb.

Použitá literatura je uvedena na webové stránce Živy.

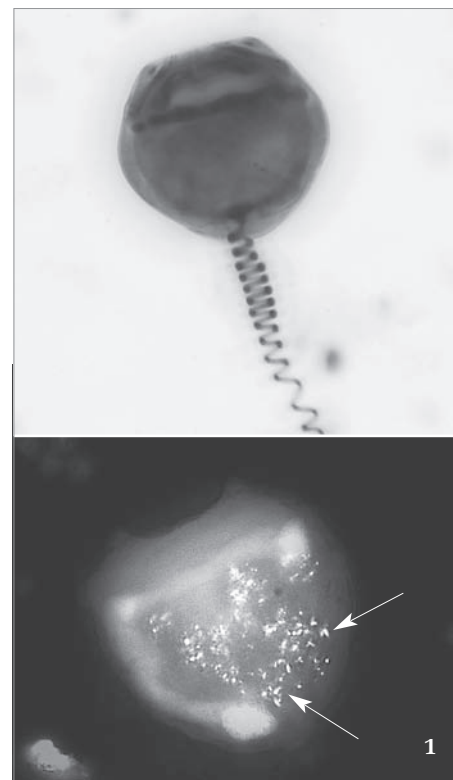
Martin Rulík

Mikrobiální smyčka a její význam ve vodních ekosystémech

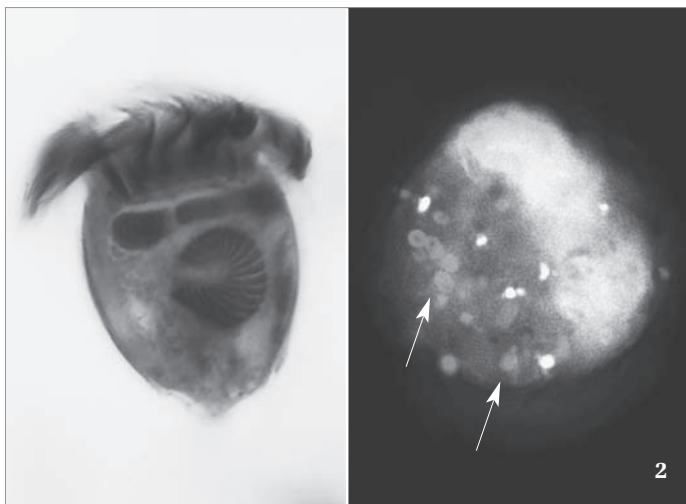
Do konce 80. let 20. století neexistovala ucelená představa, jaká je vlastně úloha mikroorganismů ve vodních ekosystémech. Zásadní role v toku uhlíku byla přisuzována především primárním producentům (řasám a sinicím), jejichž biomasa tvoří potravu a zdroj uhlíku pro zooplankton a ten je dále konzumován rybami. Prakticky scházela jakákoli kvantifikace role mikrobiálních procesů v globálním měřítku, a tudíž i možnost odpovědět na otázku, jaký mají podíl na transformaci a koloběhu látek včetně limitujících živin v různých vodních ekosystémech. Obecně tak byla mikroorganismům, tedy bakteriím a heterotrofním prvokům, ve fungování ekosystémů přisuzována spíše okrajová role, což bylo částečně dáno i tím, že chyběly vhodné a citlivé metody umožňující jejich studium.

Koncem 80. let 20. století však došlo k rychlému rozvoji epifluorescenční mikroskopie a metod fixace planktonních vzorků s prvky, které umožnily nejen identifikaci a kvantifikaci mikroorganismů vyskytujících se ve vodě, ale rovněž získání důležitých poznatků o jejich roli a funkci v různých typech prostředí. Pří-

kladem bylo např. zjištění, že 60–90 % celkové respirace a regenerace živin ve vodě je zprostředkováno mikroorganismy menšími než 10 µm. Tyto poznatky, vycházející především ze studia mořského prostředí, přivedl tým vědců ze Scripps Institution of Oceanography v Kalifornii pod vedením Farooqa Azamy v r. 1983 k formulování



konceptu „mikrobiální smyčky“, která se pokusila vysvětlit rychlý koloběh organického uhlíku, oxidu uhličitého a anorganických živin ve vodách vzájemnou interakcí mikroorganismů zahrnujících drobné řasy a sinice, bakterie, bičíkovce a nálevníky. S trochou nadsázky bychom mohli říci, že i čeští mikrobiologové mají



1 *Pelagovorticella natans* – všežravý nálevník, konzumující potravní částice od velikosti bakterií do asi 5–6 μm . Vyznačuje se zejména vysokou rychlostí příjmu bakterií (označeny šipkou).

2 Nálevník *Rimostrombidium* sp. s pohlcenými bakteriemi (fluorescenčně značené bakterie – svítící body) a malými řasami (šipky). Současná přítomnost fluorescenčně značených bakterií i větších buněk fytoplanktonu v potravních vakuolách dokumentuje všežravost nálevníků. Barevné verze obr. 1 a 2 najdete na webové stránce Živa.

3 Transport uhlíku a živin v mikrobiální smyčce a její propojení s pelagickým potravním řetězcem. DOC – rozpuštěný organický uhlík. Blíže v textu. Podle M. Rulíka kreslila R. Bošková.

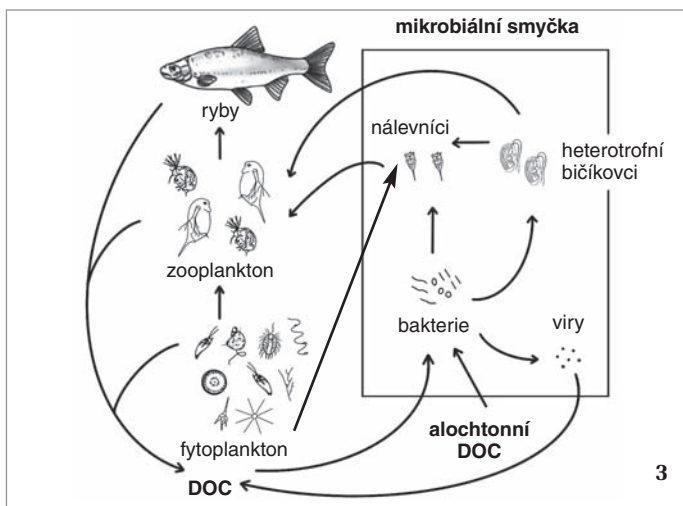
na této koncepci svou zásluhu: Farooq Azam, dnes již emeritní profesor Scrippssova institutu a University of California v San Diegu, pochází z pákistánského města Lahor, vědeckou dráhu však začal jako aspirant v Mikrobiologickém ústavu tehdejší Československé akademie věd v Praze, kde v r. 1968 obhájil disertační práci, a odtud se pak vydal za oslnivou kariérou mořského mikrobiálního ekologa do Spojených států amerických.

Klasická koncepce mikrobiální smyčky předpokládala, že řasy a sinice využívají v procesu primární produkce oxid uhličitý uvolňovaný během respirace bakteriemi a dalšími mikroorganismy, což umožňuje růst fytoplanktonu, a naopak část jeho primární produkce je uvolňována do okolí extracelulárně v podobě rozpuštěného organického uhlíku (Dissolved Organic Carbon, DOC) jako exudáty. Difuzí se do vodního prostředí může dostávat až 15 % cukrů syntetizovaných řasami, primární producenti tak dodávají do prostředí uhlík v organických sloučeninách jak v podobě rozpuštěných exudátů, tak v podobě své biomasy, kterou následně konzumují prvoci a zooplankton (ve sladkých vodách hlavně drobní korýši, tedy perloočky a buchanky, a také vířníci). Zooplankton pak může vyloučit až 20 % rozpuštěného organického uhlíku v důsledku „sloppy feeding“, při němž je kvůli nedokonalé konzumaci řasových buněk část snadno rozložitelných organických látek z potravy ztracena do volné vody, dále exkrecí (až 80 % uvolně-

ného DOC) a vyluhováním z fekálních pelet. Na význam posledního zdroje rozpuštěných látek se názory liší, skutečnosti ale zůstává, že produkce DOC zooplanktonem představuje zejména v mořském prostředí důležitý zdroj potravy pro bakteriální společenstvo. Odhady ztrát DOC do vodního sloupce tak kolísají v rozmezí 20–60 % celkové primární produkce.

Naprosto klíčovou roli v tomto systému hrají heterotrofní bakterie, které využívají rozpuštěné organické látky pocházející z řas a dalších autochtonních zdrojů (vzniklých uvnitř vodního systému, např. lyze, exkrece zooplanktonu) a dále DOC z alochtonních zdrojů (mimo vlastní vodní systém; huminové látky v rašeliništích nebo boreálních jezerech). Rovněž ale rozkládají odumřelou organickou hmotu, čímž se rozhodující měrou podílejí na regeneraci limitujících živin (fosforu a dusíku). Vytvořená bakteriální biomasa, bohatá na fosfor, je posléze zpracována především heterotrofními bičíkovci nebo menšími druhy nálevníků (obr. 1), ti jsou pak sežráni tradičním zooplanktonem. Tak se organicky vázaný uhlík, dusík a fosfor dostávají do vyšších trofických článků. Při konzumaci bakterií a řas současně dochází k uvolnění limitujících živin, které jsou prostřednictvím respirace a exkrece opět dostupné primárním producentům. Tím se cyklický proces, připomínající smyčku, vrací do výchozího bodu. Část rozpuštěných látek (zejména DOC), která by se jinak do potravního řetězce nedostala a byla by ztracena v okolním prostředí, je tak mikrobiální smyčkou přeměněna na biomasu konzumovatelnou sekundárními producenty a využita dalšími konzumenty.

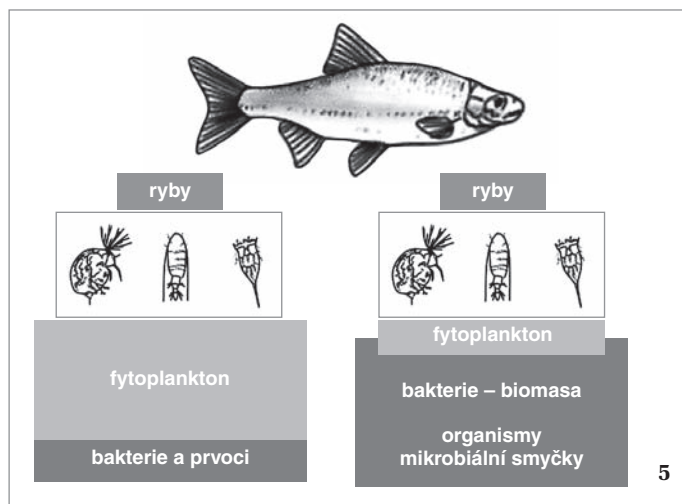
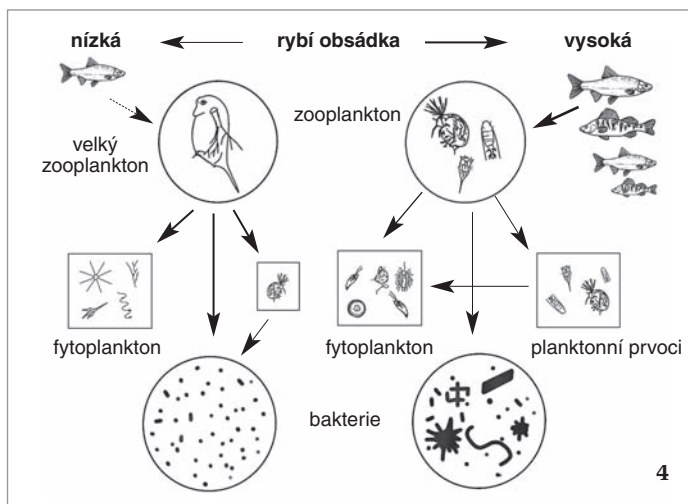
Výše popsaná koncepce samozřejmě nepostihuje celou složitost trofických vztahů mezi těmito mikroorganismy. Lze si např. představit, že dravý nálevník může lovit menší nálevníky, heterotrofní i zelené bičíkovce, měňavky apod. (obr. 2), čímž ovlivňuje hned několik trofických úrovní. Proto se dnes pro popis interakcí mezi mikroorganismy používá spíše pojmu mikrobiální potravní síť (microbial food web), který lépe vystihuje složité „předivo“ těchto vztahů. Mikrobiální potravní síť je významnou složkou vodních ekosystémů a ve stojatých i tekoucích vodách je navázána na klasické pastevně-kořistnické řetězce především prostřednictvím zooplanktonu, ve sladkovodních ekosystémech hlavně přes



vířníky a větší filtrující zooplankton. Postupem času vědci zjistili, že významnou roli v mikrobiální smyčce mohou hrát viry (zejména viry bakterií – bakteriofágy), které svou aktivitou (lyzí zvláště bakteriálních a řasových buněk) navracejí část DOC přijatého bakteriemi zpět do systému (obr. 3). Pro sladkovodní ekosystémy se uvádí, že viry v průměru eliminují zhruba 20 % bakteriální produkce, u mořských to může být až 50 %. Lyze buněk způsobená viry vede k uvolnění velkého množství organických látek a fragmentů buněk bohatých na organicky vázaný uhlík a fosfor do prostředí. Protože P obvykle limituje produkci sladkovodních systémů, zvýšená virová lyze vlastně může stimulovat rychlost růstu určitých složek planktonu. V oceánech, které jsou silně limitované živinami, jsou lytické viry odpovědné až za 50 % regenerace limitujících živin.

Role mikrobiální smyčky a mikrobiální potravní sítě ve vodních ekosystémech

Role a význam mikrobiální potravní sítě v jednotlivých vodních ekosystémech se liší podle celkové trofické struktury, případně úživnosti. Kromě toho existují rovněž vodní ekosystémy, kde má mikrobiální smyčka významnou specifickou roli. Složení zooplanktonu, fytoplanktonu, ale i mikrobiální složky planktonu je ovlivněno charakterem rybí obsádky, která vykazuje tzv. kaskádový efekt (viz Živa 2022, 3: LXXVII–LXXX). Při nízké rybí obsádce dochází v pelagickém jezerním ekosystému k rozvoji velkých perlooček, které jsou neselektivními filtrátory a konzumují jak fytoplankton, tak planktonní společenstva heterotrofních prvoků. Dravý zooplankton loví především perloočky v juvenilním stadiu vývoje. Větší nálevníci za situace nízké početnosti planktonních řas ztrácejí v porovnání s perloočkami kompetiční schopnost, takže se stávají velice málo početnou skupinou. Malí nálevníci a heterotrofní nanobičíkovci (velikost 2–6 μm) jsou perloočkami přímo filtrováni stejným mechanismem jako podobně velké řasy. Výsledně v planktonu zůstává jen velmi málo bakteriivorních nanobičíkovců a nálevníků a početnost i morfologická struktura bakterioplanktonu jsou filtrační perlooček regulovány. Zvyšuje se průhlednost vody a v bakterioplanktonu začíná převládat morfologicky jednoduché malé koky (kulovité bakterie) nebo tyčinkovité tvary



bakteriálních buněk. Zcela scházejí vločující a vláknité formy bakterií, které jsou snadno odfiltrovatelné perloočkami a jsou spíše typické pro bakterioplankton silně zarybněných nádrží.

Naopak při vysoké obsádce planktonožravých ryb je výskyt větších druhů perlooček sporadický a v zooplanktonu dominují hlavně klanonožci, vířníci a větší prvoci. Toto společenstvo zooplanktonu není schopno efektivně filtrovat fytoplankton a prvoky (heterotrofní nanobičkovce ani malé nálevníky), což vede k zákalu a nízké průhlednosti vody. Vysoká početnost zejména heterotrofních nanobičkovců vytváří silný predační tlak na bakterioplankton, a to se projevuje velkým poklesem počtu středně velkých bakterií, které jsou heterotrofními nanobičkovci vybírány přednostně, a naopak nárůstem podílu bakterií, které prvoci nejsou schopni konzumovat. Za takové situace se často setkáváme s tvorbou různě tvarovaných vloček nebo vláken bakterií. Výsledkem kaskádového efektu je velmi rychlý nárůst počtu heterotrofních nanobičkovců a jejich intenzivní žír na bakteriích navodí rozvoj bakteriálních forem odolných vůči predaci (obr. 4).

Typickým příkladem vod, kde mikrobiální smyčka, resp. mikrobiální potravní síť hraje dominantní roli v trofickém systému, jsou huminová jezera, tedy s vodou bohatou na huminové látky (přírodní organické látky vznikající rozkladem převážně rostlinných zbytků), charakteristická žlutohnědým zabarvením vody, nízkou průhledností, a tím i primární produkcí. Od jezer s normální průhledností se liší především vysokým podílem alochtonních zdrojů rozpuštěného organického materiálu (Dissolved Organic Matter, DOM) v metabolismu mikrobiální potravní sítě. DOM pocházející z povodí jezer je ve srovnání se substráty uvolněnými do vody fytoplanktonem hůře rozložitelný, což má vliv i na biomasu bakterií, která je zde obecně větší, ale roste pomaleji a s nižší účinností než u jezer s normální průhledností. Klasická „průhledná jezera“ primárně závisí na přísunu organické hmoty autochtonního původu, tedy pocházející z biomasy a primární produkce fytoplanktonu, a tento převažující zdroj uhlíku má také zásadní vliv na složení bakterií, zooplanktonu a posléze i společenstva ryb v těchto systémech. Naopak v případě huminových jezer mají klíčovou roli v toku uhlíku do vyšších tro-

4 Kaskádový efekt vyvolaný odlišnou strukturou potravní sítě, zejména odlišnou velikostí a charakterem rybní obsádky

5 Specifické rysy trofické pyramidy jezer s normální průhledností (vlevo) a huminových jezer (vpravo). Typickým zdrojem uhlíku v průhledných jezerech jsou snadno rozložitelné organické látky autochtonního původu, díky nimž rychle roste menší biomasa bakterií. Huminová jezera mají vysokou koncentraci obtížně rozložitelných látek alochtonního původu, poskytující substrát pro pomalu rostoucí, ale větší biomasu bakterií. Podle K. Šimka (obr. 4 a 5) kreslila R. Bošková.

fických hladin, a tím i ve výživě zooplanktonu a ryb, právě organismy mikrobiální smyčky, které dokážou růst na alochtonních zdrojích a svou biomasou tak tvoří základnu potravní pyramidy (obr. 5). Podobným typem vod s nízkou průhledností jsou např. jezera a různé nádrže v subtropických a tropických oblastech, vyznačující se značným přísunem suspendovaných částic z povodí, a tudíž vysokou turbiditou (v našich podmínkách např. jezera s těžbou šterkopíšků). I v těchto vodách je velmi limitována role fytoplanktonu jako primárního zdroje uhlíku pro vyšší trofické úrovně, přestože jde o systémy vykazující vysokou produkci ryb. Hlavní roli zde hrají organicky bohaté a mikrobiálně oživené

jílovité a detritové částice, bohatě kolonizované bakteriemi, které jsou posléze odfiltrovány zooplanktonem, a reprezentují tak hlavní tok organického uhlíku od rozpuštěných látek až po vrcholové konzumenty, ryby.

Společným rysem vysoce turbidních a huminových jezer je tedy převaha alochtonních zdrojů organických látek nad zdroji autochtonními. Jejich přenos do vyšších trofických článků je však podmíněn existencí vysoce specifické mikrobiální potravní sítě, jinými zdroji rozpuštěných organických látek, a tudíž i přítomností jiných skupin mikroorganismů z řad bakterií a prvoků, které jsou odpovědné za klíčové interakce při zpracování DOM.

Přestože o mikrobiálních vztazích ve vodních ekosystémech máme stále velmi omezené znalosti, z výše uvedeného textu je zřejmé, že heterotrofní bakterie a drobní prvoci, kteří se jimi živí, vytvářejí základ komplikovaných potravních sítí vodních ekosystémů a také významně ovlivňují přenos uhlíku a energie do vyšších potravních úrovní. Studium těchto organismů, jejich taxonomické příslušnosti a ekologických vlastností proto patří mezi klíčová témata výzkumu mikrobiální ekologie vody u nás i v zahraničí.

Seznam použité literatury uvádíme na webových stránkách Živý.

