

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ**



**VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ  
NA KOSMICKÝCH MISÍCH**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**DANIELA RUNCZIKOVÁ**

**Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D.**

**leden 2021**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Runcziková</u>	Jméno: <u>Daniela</u>	Osobní číslo: <u>460665</u>
Zadávací katedra: <u>K144 - Katedra zdravotního a ekologického inženýrství</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Vodní hospodářství na kosmických misích</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Water Management of Space Missions</u>	
Pokyny pro vypracování: Diplomová práce bude zaměřena na vodní hospodářství na kosmických misích s lidskou posádkou. Bude se zabývat systémem zabezpečení životních podmínek, především vodním systémem používaným na Mezinárodní kosmické stanici a různými způsoby regenerace vody. Také dojde ke zpracování odborné anglické terminologie do českého jazyka.	
Seznam doporučené literatury: Anderson, M. S. et al. Life support baseline values and assumptions document. 2018. NASA/TP-2015-218570 Kubala, P. ISS – Mezinárodní vesmírná stanice. 2009. ISBN 978-80-7402-033-9	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>21.9.2020</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>3.1.2021</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)
--------------------------------	------------------------------

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

.....  
Místo vypracování, úplné datum

.....  
Daniela Runcziková

**Poděkování:**

Děkuji všem, díky kterým mohla tato diplomová práce vzniknout.

### **Annotation**

The master's thesis deals with the issue of water management of space missions. At first, it is focused on water usage by crew (consumption, quality etc.) and on water recovery system which is a part of life support system. Subsequently, water regeneration technologies are described and advantages and disadvantages of their usage in cosmos are evaluated. The thesis includes also the evaluation of potable water quality on the International Space Station.

**Keywords:** space station, water recovery system, potable water

### **Anotace**

Diplomová práce se zabývá problematikou vodního hospodářství na kosmických misích. Nejprve je řešeno využití vody posádkou (spotřeba, kvalita atd.) a systém regenerace vody, který je součástí systému zabezpečení životních podmínek. Následně jsou popsány způsoby regenerace vody, pro které jsou dále zhodnoceny výhody a nevýhody jejich využití v kosmu. Práce obsahuje i vyhodnocení kvality pitné vody na Mezinárodní kosmické stanici.

**Klíčová slova:** kosmická stanice, systém regenerace vody, pitná voda

## Obsah

1	Úvod .....	8
2	Cíle práce.....	9
3	Využití vody na misích s lidskou posádkou .....	10
3.1	Spotřeba vody .....	10
3.2	Kvalita vody.....	13
3.3	Dávkování a uskladnění pitné vody .....	15
3.4	Hygienická zařízení .....	15
3.5	Praní prádla .....	21
4	Systém zabezpečení životních podmínek .....	23
4.1	Systém částečně uzavřený.....	24
4.1.1	Mezinárodní kosmická stanice .....	25
4.1.2	Kosmická stanice Mir.....	30
4.2	Systém uzavřený .....	31
5	Způsoby regenerace vody.....	34
5.1	Fyzikální způsoby regenerace vody.....	34
5.1.1	Sedimentace.....	34
5.1.2	Vzplývání.....	35
5.1.3	Flotace .....	35
5.1.4	Filtrace .....	36
5.1.5	Odstřed'ování .....	38
5.1.6	Destilace .....	38
5.1.7	Absorpce a adsorpce.....	38
5.1.8	Iontová výměna .....	39
5.1.9	UV záření.....	39
5.1.10	Spalování .....	39
5.1.11	Sonolýza .....	40

5.1.12	Magnetická úprava .....	40
5.2	Chemické způsoby regenerace vody.....	40
5.2.1	Oxidace.....	40
5.2.2	Pokročilé oxidační procesy.....	41
5.2.3	Koagulace .....	41
5.2.4	Chemické vázání.....	41
5.3	Biologické způsoby regenerace vody .....	41
5.3.1	Oxické podmínky .....	42
5.3.2	Anoxické podmínky .....	43
5.3.3	Anaerobní podmínky .....	43
5.4	Kombinované způsoby regenerace vody .....	44
5.4.1	Membránové bioreaktory .....	44
6	Vyhodnocení kvality vody a způsobů regenerace vody .....	45
6.1	Výhody a nevýhody využití jednotlivých způsobů regenerace vody v kosmu.....	45
6.2	Kvalita vody na ISS .....	48
7	Terminologie .....	62
8	Závěr.....	68
9	Literatura .....	71
10	Seznam příloh.....	76

# 1 Úvod

Snaha poznávat a objevovat nové vede ke zlepšování stávajících a vývoji nových technologií. To se týká i oborů, jejichž pole působnosti zasahuje mimo planetu Zemi. Tak přispívá výzkum vesmíru k neustálému pokroku v kosmonautice. Jednou z uvažovaných možností průzkumu vesmíru jsou dlouhodobé mise s lidskou posádkou například na Měsíc nebo na Mars. Prodloužení doby mise však vyžaduje zvýšení spolehlivosti, bezpečnosti a životnosti systému zabezpečení životních podmínek (LSS) umožňujícího přežití lidské posádky. LSS proto musí představovat jednoduchý, spolehlivý, robustní, snadno opravitelný, variabilní a skladný systém, který je zároveň odolný proti nepříznivým podmínkám prostředí [1].

Již na kosmických stanicích Saljut byla uvažována regenerace vody jako nutnost k efektivnímu fungování LSS a vytvářela částečnou nezávislost stanice na zásobování ze Země. V současnosti fungující LSS na Mezinárodní kosmické stanici (ISS) je částečně uzavřený systém s účinností přibližně 90 %, což se může na první pohled zdát jako dostatečné, avšak pro dlouhodobé mise na velké vzdálenosti bez možnosti častého a spolehlivého zásobování je plánováno vytvoření uzavřeného systému, tj. systému s účinností cca 98 %, který by vytvářel komplexní propojení mezi ostatními systémy. Otevírá se tak otázka týkající se nejen způsobů regenerace vody, ale i samotného využití vody [2, 3, 4].



## **2 Cíle práce**

Cílem diplomové práce je řešit problematiku vodního hospodářství na kosmických misích s lidskou posádkou a systému zabezpečení životních podmínek se zvláštním zřetelem na vodní systémy používané na kosmických stanicích. Zároveň je cílem doplnit řešit způsobů regenerace vody o připomínky zaměřené na jejich možné využití v kosmu, dále zhodnotit kvalitu vody na Mezinárodní kosmické stanici. Dalším cílem je zpracování české terminologie týkající se daných témat.

### 3 Využití vody na misích s lidskou posádkou

Na kosmických misích je voda využívána jak posádkou, např. na pití, přípravu jídla a nápojů, osobní hygienu, tak pro technické účely, např. pro sanitární a lékařské systémy, na údržbu zařízení, příp. čištění oděvů posádky, jako chladicí kapalina různých systémů a jako možný zdroj kyslíku. Způsob využití vody určuje její požadovanou kvalitu i kvantitu, která je běžně udávána v kilogramech nebo v kilogramech na 1 člena posádky (osobu) za den [5, 6].

#### 3.1 Spotřeba vody

Množství spotřebované vody závisí na účelu a době trvání mise, kupř. na aktivitě posádky a hygienických možnostech. Mise se dle doby trvání rozdělují na mise do 30 dní a mise více než 30denní, tj. dlouhodobé mise. V případě uvažování existence planetární základny vychází možná spotřeba vody také z vybavenosti této základny [5].

Průměrná spotřeba vody na misích do 30 dní je 2,7 kg/(os.den), pokud je uvažována minimální hygiena a při zanedbání vody určené na mytí očí a tekutin s vysokým obsahem sodíku podávaným posádce jako opatření proti kardiovaskulárním obtížím spojeným se zatížením lidského organismu zrychlením, např. během vzletu nebo přistávání [5, 6].

Spotřeba vody (Tab. 1), resp. produkce vody odpadní (Tab. 2), je uvažována pro následující scénáře:

- Devon Island Mars Research Station Study napodobující podmínky Marsu,
- Mezinárodní kosmická stanice (ISS),
- tranzitní mise s minimální hygienou,
- raná planetární základna s omezenou hygienou,
- vyspělá planetární základna plně hygienicky vybavená a s možností produkce biomasy.

Tab. 1: Spotřeba vody na dlouhodobé misi [5]

využití vody	jednotka	Devon Island Mars Research Station Study	ISS	tranzitní mise	raná planetární základna	vyspělá planetární základna
pití	kg/(os.den)	2,59	2,00	2,00	2,00	2,00
rehydratace jídla	kg/(os.den)	1,03	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>celková přímá lidská spotřeba</b>	kg/(os.den)	3,62	2,50	2,50	2,50	2,50
osobní hygiena	kg/(os.den)	0,46	0,40	0,40	0,40	0,40
mytí rukou	kg/(os.den)	0,64				
holení	kg/(os.den)	0,05				
sprchování	kg/(os.den)	1,08			1,08	1,08
splachování moči	kg/(os.den)	0,00	0,30	0,30	0,50	0,50
údržba technických zařízení	kg/(os.den)	0,08				
mytí nádobí	kg/(os.den)	3,54				3,54
praní prádla	kg/(os.den)	1,95				1,80
<b>celková spotřeba užitkové vody</b>	kg/(os.den)	7,80	0,70	0,70	1,98	7,32
<b>celková spotřeba na užitečné zatížení</b>	kg/(os.den)		2,18	bude stanoveno	bude stanoveno	bude stanoveno
<b>celková spotřeba vody</b>	kg/(os.den)	11,42	5,38	3,20	4,48	9,82
produkce biomasy		0,10 kg/(os.den)				4,00 kg/(m <sup>2</sup> .den)
voda pro lékařské účely	kg + kg/(os.den)		5,00 + 0,50	5,00 + 0,50	5,00 + 0,50	5,00 + 0,50

Voda na pití slouží k hydrataci člena posádky. Její množství závisí na jeho tělesné hmotnosti, fyzické aktivitě apod. Množství vody na rehydrataci jídla závisí na způsobu předešlé úpravy. V současnosti je pro jídlo na ISS používána termostabilizace, lyofilizace nebo je jídlo dodáváno v přirozené formě. Voda určená k osobní hygieně slouží k očištění kůže, vlasů a dutiny ústní a může být součástí vlhčených ubrousků. Voda pro lékařské účely

slouží k ošetření zranění či mytí očí (Obr. 1) po vystavení toxické látky, případně k běžnému mytí očí např. z důvodu vniku prachových částic či jiných cizích objektů [6].



Obr. 1: Zařízení na mytí očí [6]

Tab. 2: Produkce odpadních vod na dlouhodobé misi [5]

zdroj odpadní vody	jednotka	ISS	tranzitní mise	raná planetární základna	vyspělá planetární základna
moč	kg/(os.den)	1,20	1,50	1,50	1,50
splachování moči	kg/(os.den)	0,30	0,30	0,50	0,50
<b>celková produkce směsi moči a vody na splachování (žlutá voda)</b>	kg/(os.den)	1,50	1,80	2,00	2,00
ústní hygiena	kg/(os.den)			0,37	0,37
mytí rukou	kg/(os.den)			4,08	4,08
sprchování	kg/(os.den)			2,72	2,72
příprava jídla	kg/(os.den)				bude stanoveno
mytí nádobí	kg/(os.den)				5,41
praní	kg/(os.den)				1,80
<b>celková produkce užitkové vody (šedá voda)</b>	kg/(os.den)	0,00	0,00	7,17	24,45+
lidský kondenzát vlhkosti	kg/(os.den)	2,27	2,27	2,27	2,90
zvířecí kondenzát vlhkosti	kg/(os.den)			bude stanoveno	bude stanoveno

zdroj odpadní vody	jednotka	ISS	tranzitní mise	raná planetární základna	vyspělá planetární základna
celková produkce kondenzátu vlhkosti	kg/(os.den)	2,27	2,27	2,27	2,90
celková produkce vody z užitečného zatížení	kg/(os.den)	0,00	0,00	0,00+	0,00+
celková produkce odpadní vody	kg/(os.den)	3,77	4,07	11,44+	29,35+
produkce biomasy	kg/(m <sup>2</sup> .den)				bude stanoveno

### 3.2 Kvalita vody

Kvalita vody je důležitá, neboť na ní závisí zdraví posádky. Obdobně jako na Zemi jsou i pro vodu používanou na kosmických misích nastaveny limity fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů.

Hodnota pH pitné vody se má dle [6] pohybovat v rozmezí 4,5 – 9,0. Dále je určen limit pro barvu 15 PCU, zákal 1 NTU, pach 3 TON, chuť 3 TTN a volný a rozpuštěný plyn 0,1 % při atmosférickém tlaku a teplotě 37°C [6].

Dalším kontrolovaným ukazatelem je teplota vody, která je dána způsobem využití vody a odpovídá potřebám posádky nejen z hlediska zachování zdraví, ale i osobních preferencí, a to hlavně v případě dlouhodobých misí, jelikož to má psychologický vliv na posádku obdobně jako jídlo [6, 7].

Na rehydrataci studených nápojů na více než 3denních misích je používána voda o teplotě v rozmezí 2 až 7°C, maximálně však 15,6°C. K přípravě teplých nápojů a jídla slouží voda o teplotě 68,3 – 79,4°C, a to i vzhledem k zamezení mikrobiologického růstu. Teplota vody pro osobní hygienu je udržována na 29,4 – 46,1°C. Voda pro lékařské účely se pohybuje mezi 18 až 28°C, aby se předešlo teplotnímu zranění tkání [6].

V [8] jsou stanoveny limity 30 chemických ukazatelů (SWEGs, Tab. 3) dle doby jejich expozice na člena posádky. Pro jednotlivé mise jsou limity ukazatelů běžně navrhovány podle hodnot pro dlouhodobou spotřebu vody (100 – 1000 dní), jejíž konzumace by neměla vyvolávat zhoršení zdraví posádky. Pouze v nouzových případech lze využít hodnoty dané pro krátkodobou spotřebu (1 – 10 dní), kdy voda může mít i mírně zhoršené organoleptické vlastnosti a její konzumace může vyvolávat lehké symptomy, např. nauzeu, bolesti hlavy [6, 8].

Tab. 3: Limity chemických ukazatelů [8]

ukazatel	jednotka	doba expozice (dny)			
		1	10	100	1000
aceton	mg/l	3500	3500	150	15
alkylaminy (di)	mg/l	0,3			
alkylaminy (mono)	mg/l	2			
alkylaminy (tri)	mg/l	0,4			
amoniak	mg/l	5	1	1	1
antimon	mg/l	4	4	4	2
baryum a soli barya	mg/l	21	21	10	10
benzen	mg/l	21	2	0,7	0,07
kadmium (anorganické soli)	mg/l	1,6	0,7	0,6	0,022
kaprolaktam	mg/l	200	100	100	100
chloroform	mg/l	60	60	18	6,5
di-n-butyl ftalát	mg/l	1200	175	80	40
di(2-ethylhexyl) ftalát	mg/l	1800	1300	30	20
dichlormethan	mg/l	40	40	40	15
dimethylsilanediol	mg/l	nestanoveno		35	nestanoveno
ethylenglykol	mg/l	270	140	20	4
formaldehyd	mg/l	20	20	12	12
mravenčany	mg/l	10000	2500	2500	2500
olovo	mg/l	nestanoveno		0,009	0,009
mangan (anorganické soli)	mg/l	14	5,4	1,8	0,3
2- merkaptobenzothiazol	mg/l	200	30	30	30
methanol	mg/l	40			
methylethylketon (MEK)	mg/l	540	54	54	54
nikl	mg/l	1,7	1,7	1,7	0,3
fenol	mg/l	80	8	4	4
n-fenyl-beta-naftylamin	mg/l	1600	1600	500	260
propylenglykol	mg/l	25000	8000	8000	1700
stříbro	mg/l	5	5	0,6	0,4
celkový organický uhlík (TOC)	mg/l	nestanoveno		5	nestanoveno
zinek a soli zinku (anorganické)	mg/l	11	11	2	2

Limity biologických a mikrobiologických ukazatelů jsou specifické pro každou misi. Obecně je pro pitnou vodu na misích do 30 dnů a na ISS stanoven limit pro celkový počet bakterií 50 KTJ/ml, kromě vody určené k hygieně s 1000 KTJ/ml. Dále je určeno, že ve 100 ml mají být koliformní bakterie nedetekovatelné [6].

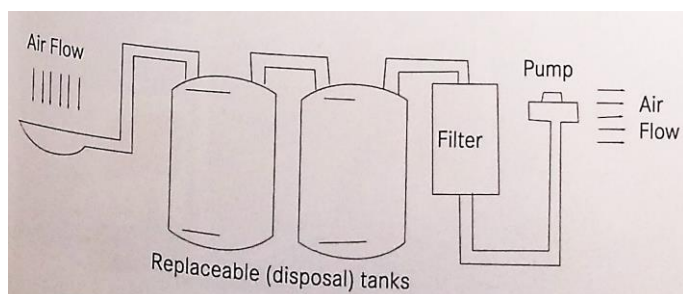
Vyhodnocení kvality vody na ISS je provedeno v kapitole 6.2.

### 3.3 Dávkování a uskladnění pitné vody

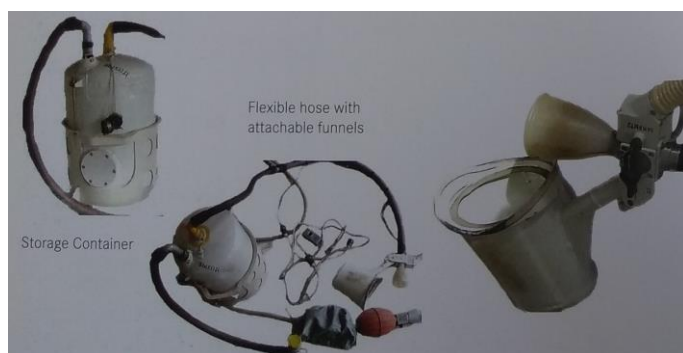
Rychlost dávkování pitné vody by měla být minimálně 0,5 l/min. Trvanlivost vody uskladněné v kontejnerech by měla činit minimálně 6 měsíců, v případě pitné vody uskladněné v jodovaných nouzových vodních kontejnerech (ICWCs) 64 týdnů [6].

### 3.4 Hygienická zařízení

Výše spotřeby vody na hygienu vyplývá z vybavenosti daného kosmického plavidla jednotlivými hygienickými zařízeními. Kosmické stanice Saljut byly vybaveny potřebami pro ústní hygienu (kapesníky, elektrický zubní kartáček, nepěnicí zubní pasta), na mytí těla a vlasů, na holení (holící strojek se sáním odstraněných vousů, žiletka, pěna na holení) a stříhání vlasů. Toaleta využívala proudění vzduchu jako náhradu gravitace (Obr. 2). Skládala se ze zařízení na shromažďování moči a z toaletní mísy, kam byl vkládán sáček na fekálie, který byl následně dočasně uskladněn v kontejneru a poté vyhozen do volného kosmického prostoru. V případě nefunkčnosti toalety byla používána její náhrada z flexibilní hadice, trychtýřů a kontejneru (Obr. 3) [3].

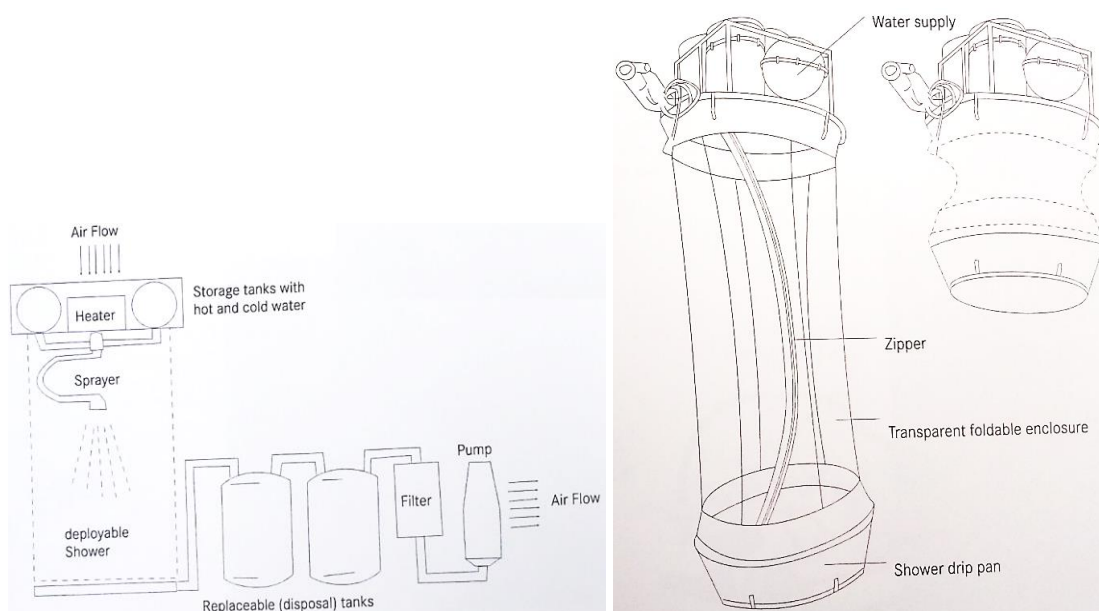


Obr. 2: Schéma toalety na kosmických stanicích Saljut [3]



Obr. 3: Náhrada toalety na kosmických stanicích Saljut, Mir a ISS [3]

Na Saljutu 3 a pozdějších kosmických stanicích Saljut byla sprcha sestávající se ze 2 disků a polyethylenového obalu s vodotěsným zipem. Voda byla přiváděna shora do hadice s hlavicí a odváděna dnem (Obr. 4) [3].



Obr. 4: Schéma sprchy (vlevo), sprcha na kosmických stanicích Saljut (vpravo) [3]

Na kosmické stanici Skylab se nacházel úsek odpadového hospodářství (WMC) zahrnující zařízení na shromažďování moči a fekálií, zařízení na mytí rukou (Obr. 5), sušící stanice, část určenou pro osobní hygienu vč. sprchy a část pro údržbu. K dispozici pro osobní hygienu byly např. zubní pasta, kartáček na zuby, holicí strojek, krém na holení, krém na ruce. Mezi další hygienické potřeby patřily tekuté mýdlo, ručníky vyrobené z froté rayonu, kapesníky a pytle na odpad [3].

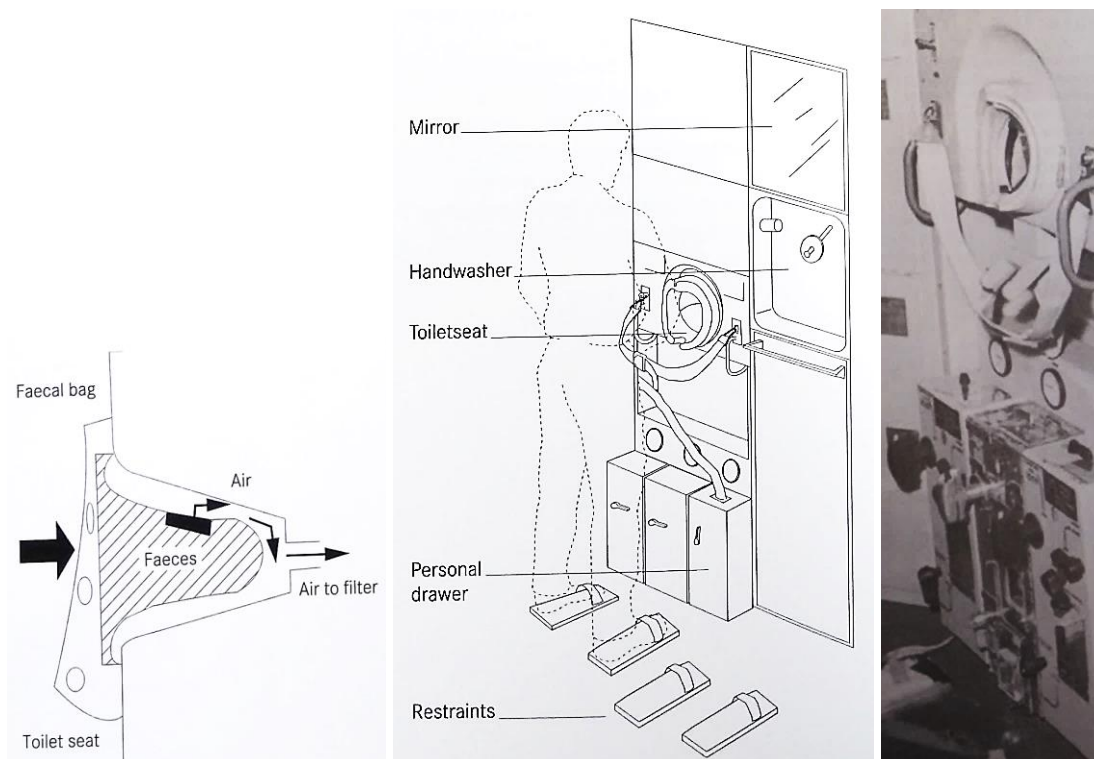


Obr. 5: Zařízení na mytí rukou na kosmické stanici Skylab [3]

Vertikální toaleta o rozměrech 1,27 x 2,36 x 1,98 m byla umístěna na stěně kabiny, využívala proudící vzduch jako náhradu gravitace (Obr. 7). Fekálie byly v zataveném sáčku vysušeny pomocí vakua a tepla a připraveny na návrat na Zemi. Moč byla odváděna potrubím do nádrže. Na Skylabu byly instalovány 3 potrubí a 3 nádrže vzhledem k tomu,

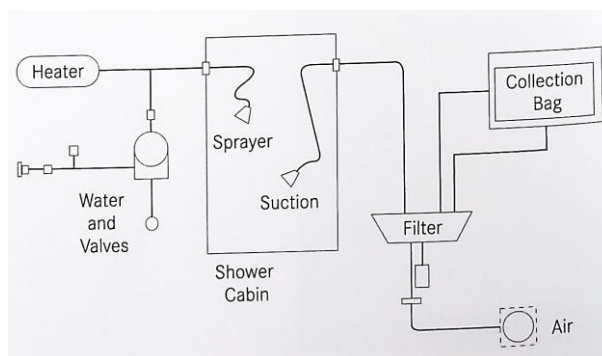


že každý člen ze 3členné posádky měl přiřazeny vlastní potrubí a nádrž. Následně byla moč v odstředivce zbavena plynů a uskladněna v pytlí na moč. Po 24 hodinách byl tento pytel vyměněn, část moči byla odebrána jako vzorek, zmrazena a připravena na návrat na Zemi k vyhodnocení, zbytek moči byl přesunut k ostatnímu odpadu. V případě onemocnění člena posádky či nefunkčnosti toalety bylo využíváno přímo pytlů na fekálie a na moč s elastomerovou manžetou [3, 9].

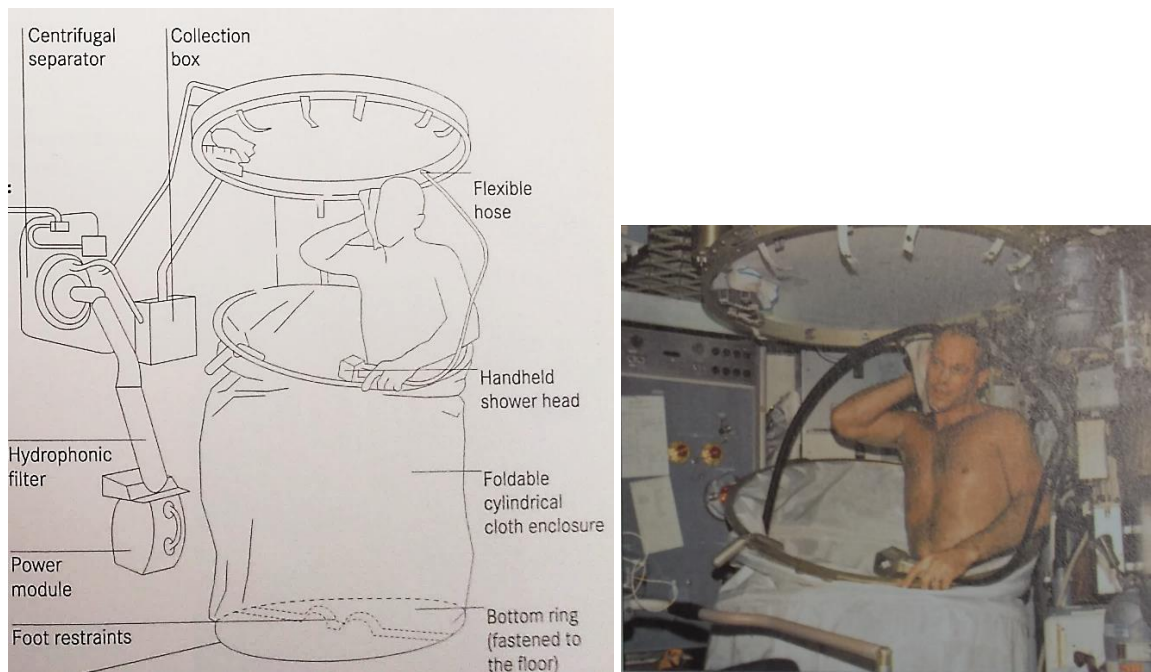


Obr. 6: Část toalety (vlevo), část úseku odpadového hospodářství (uprostřed), toaleta na kosmické stanici Skylab (vpravo) [3]

Sprcha na kosmické stanici Skylab byla tvořena 2 prstenci, z nichž byl jeden umístěn na podlaze a druhý na stropě kabiny. Mezi nimi byl natahován závěs. Ohřátá tlakovaná voda byla přiváděna do hadice s hlavicí a odváděna sáním přes filtr do sběrného pytle (Obr. 7, Obr. 8). Voda ze sprchy nebyla regenerována [3, 9].



Obr. 7: Schéma sprchy na kosmické stanici Skylab [3]

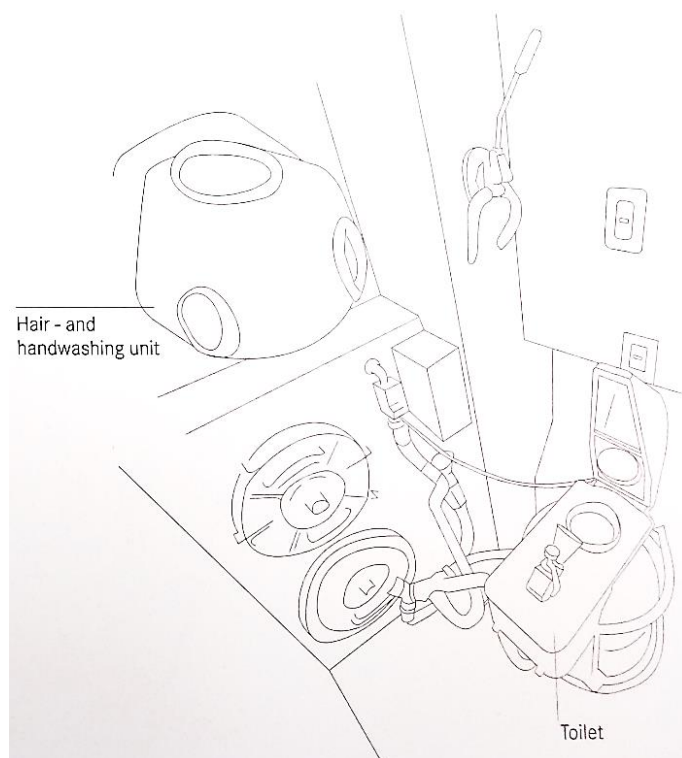


Obr. 8: Sprcha na kosmické stanici Skylab (vlevo) [3], astronaut Jack Lousma sušící se ručníkem ve sprše na kosmické stanici Skylab (vpravo) [9]

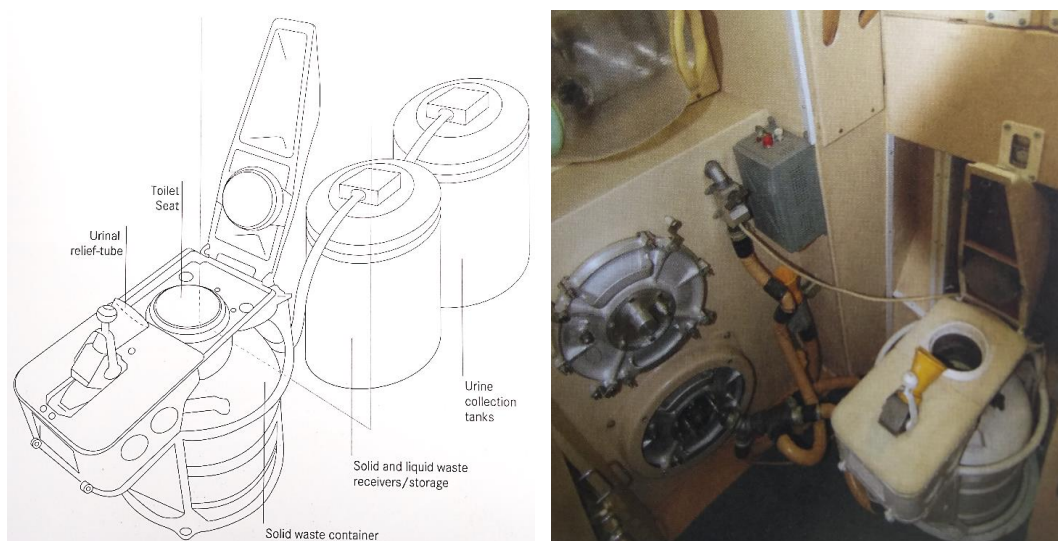
Kosmická stanice Mir byla vybavena potřebami k osobní hygieně (Obr. 9) a 2 toaletami, z nichž jedna se nacházela na zádi pracovního úseku základního modulu Mir spolu se sférickým zařízením na mytí vlasů a rukou a druhá byla v modulu Kvant-2 (Obr. 10, Obr. 11). Nashromážděná moč byla regenerována a vzniklá voda byla použita pro generování kyslíku, příp. na pití [3].



Obr. 9: Astronaut Jerry Linenger čistící si zuby v modulu Spektr kosmické stanice Mir [10]

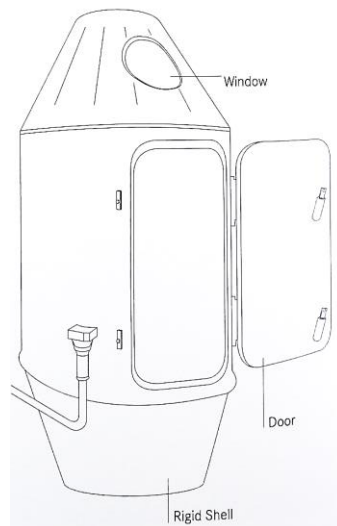


Obr. 10: Hygienická zařízení umístěná v základním modulu Mir [3]



Obr. 11: Toaleta na kosmické stanici Mir [3]

Mytí těla probíhalo pomocí staniolového sáčku obsahujícího mýdlo, do kterého byla přidána voda a který byl na několika místech perforován, aby z něj unikaly kapky vody. Následně se člen posádky vysušil ručníkem. Sprcha (Obr. 12) byla na Mir dopravena v modulu Kvant-2 v roce 1989. Byla kovová s čelním oknem. Použitá voda byla regenerována. Vzhledem k obtížnému čištění byla tato sprcha v roce 1995 odstraněna [3].



Obr. 12: Sprcha na kosmické stanici Mir [3]

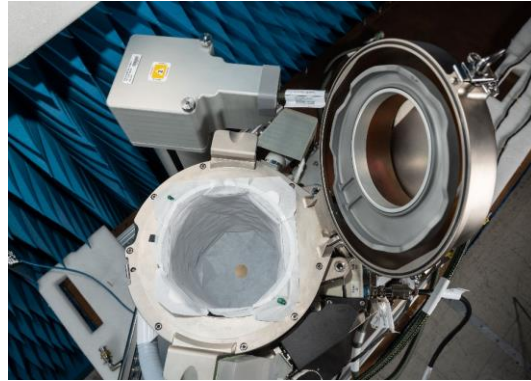
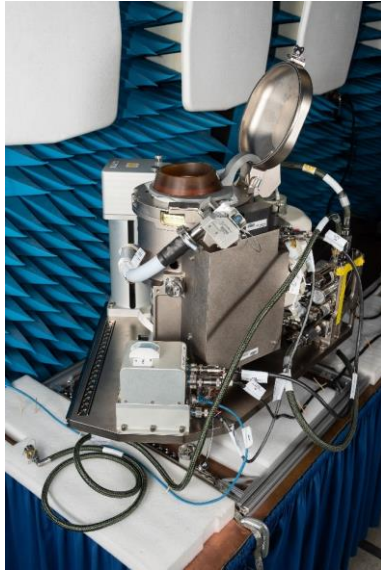
Na ISS se hygienická zařízení nacházejí v obslužném modulu Zvezda a v uzlu 3 Tranquility, v nichž v každém je 1 toaleta (Obr. 13). Z hygienických potřeb jsou k dispozici např. zubní kartáčky, zubní pasty, které lze polykat, holicí strojky, mýdlo a šampón, které není nutno oplachovat. K mytí těla slouží mokré ručníky obsahující antibakteriální a antifungicidní látky [3, 11].



Obr. 13: Toaleta v modulu Zvezda (vlevo) [3], úsek odpadového hospodářství v uzlu 3 Tranquility s původní toaletou (vpravo) [2]

V říjnu 2020 byl na ISS dopraven univerzální systém odpadového hospodářství (UWMS). Jednalo se o novou toaletu (Obr. 14), která je o 65 % menší a o 40 % lehčí oproti původní [4, 12].

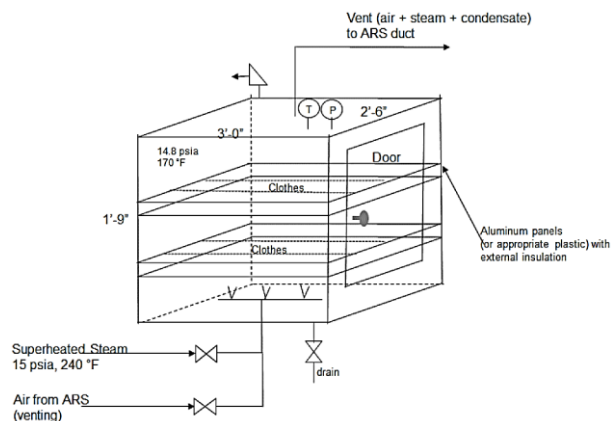




Obr. 14: Univerzální systém odpadového hospodářství (UWMS) [12]

### 3.5 Praní prádla

V současnosti jsou oděvy a další textilie na kosmických misích používány pouze jednorázově a poté jsou likvidovány s ostatním odpadem. Pro dlouhodobé mise, např. mise na Mars, je vzhledem k nutné úspoře materiálu a skladovacího prostoru nutno zajistit opětovné použití textilií, a to s minimálními nároky na jejich očistu, tj. nároky na zařízení, energii, další potřebné látky (prací prostředky) a dobu trvání procesu [13, 14]. Prádlo může být buď klasicky práno vodou s následným sušením horkým vzduchem, nebo dezinfikováno pomocí ozonu, páry, vakuem, UV zářením aj. (Obr. 15). Praní vodou umožňuje vyšší počet opětovného použití oděvu než dezinfekce [13].



Obr. 15: Dezinfekční komora využívající ozon (vlevo), schéma zařízení na dezinfekci párou (vpravo) [13]

Vakuová dezinfekce odstraňuje většinu bakterií, při testování byly vzorky vystaveny vakuu 45 minut. Působení ozonu byly oděvy umístěné v pytlích vystaveny přibližně 8 hodin, v případě použití dezinfekční komory probíhá ozonizační proces 30 minut. Při dezinfekci působením páry byly oděvy v zařízení vystaveny 5 minut, a to při teplotě 77°C za sníženého tlaku. Nevýhodou ozonu je jeho toxicita a možná degradace materiálů, příp. delší doba trvání procesu. V porovnání s vakuovou dezinfekcí má dezinfekce ozonem nebo párou vyšší nároky na energii i další látky, ale vykazují vyšší účinnost odstraňování znečištění. Dezinfekce oděvů a předmětů ozonem je na Zemi běžně používána v nemocnicích, hotelech, sportovištích a armádou [13, 15].

Klasické praní prádla vodou je nutné pro použití v kosmu přizpůsobit daným podmínkám, zejména mikrogravitaci, nebo snížené gravitaci v případě uvažování planetární základny, a také spotřebě vody a kvalitě vody odpadní, přičemž jedním z problémů je případná tvorba pěny a její zpracování systémem regenerace vody (WRS). Na rozdíl od použití dezinfekce při praní vodou vzniká i potřeba vysušení prádla, např. horkým vzduchem v sušičce, které je energeticky náročnější než rozvěšení v prostorách kabiny, jímž by však byly zvýšeny nároky na sestavy na úpravu vzduchu v kabině (CCAAs) [13, 14].

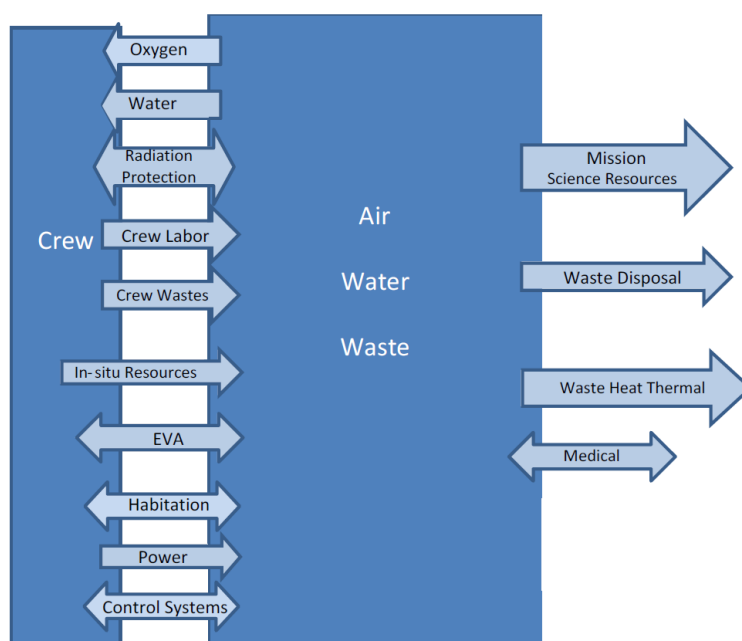
Pro praní prádla vodou při mikrogravitaci byl vyvinut pokročilý mikrogravitační kompatibilní jednotný prací systém (AMCILS, Obr. 16). Jeho prací cyklus je sestaven ze 3 fází: praní – první máchání – druhé máchání. Celková spotřeba vody činí 22 l na 3,1 kg prádla. K úspoře vody dochází využitím vody z prvního máchání, ke které je přidán prací prostředek (dodecylbenzensulfonát sodný), na praní v následujícím cyklu a vody z druhého máchání na první máchání v následujícím cyklu. K druhému máchání je vždy používána čistá voda. V případě, kdy by nebyla voda znovu použita, činila by celková spotřeba vody na prací cyklus 58 l na 3,1 kg prádla. Vzniku nežádoucí pěny je zamezeno průběhem pracího cyklu ve vakuu [14].



Obr. 16: AMCILS připravený na testování při Zero-G letu [14]

## 4 Systém zabezpečení životních podmínek

Systém zabezpečení životních podmínek (LSS) udržuje podmínky vhodné pro život v prostorách kosmických plavidel (kosmická loď, kosmická stanice). Zahrnuje vzduchový, odpadní a vodní systém. Je v součinnosti se systémem monitorování a kontroly životních podmínek (EMC), se kterým tvoří systémy zabezpečení a kontroly životních podmínek (ECLSS). Dále je v interakci s potravinovým systémem, posádkou, obytným prostorem, lékařskými systémy, tepelným systémem, ochranou proti záření, s energetickým systémem, pohonem, s využitím zdrojů In-Situ a s podporou při aktivitách mimo plavidlo (EVA Support) (Obr. 17) [5].



Obr. 17: Vzájemné vztahy LSS a dalších systémů [5]

Vzduchový systém zajišťuje udržování a kontrolu atmosférického tlaku a vhodného složení vzduchu v kabině. Jeho součástí je uskladnění vzduchu, jeho rozvádění, zbavování přebytečné vlhkosti a pevných částic (vč. větších objektů) a jeho regenerace. Odpadní systém shromažďuje odpadní produkty od posádky, z procesů a obalové materiály. Vzhledem k prostorovým možnostem je snaha o minimalizaci objemu odpadu a možného zápachu [5].

Účelem vodního systému je hospodaření s vodou, což zahrnuje transport a uskladňování vody, shromažďování odpadní vody a její přeměnu na vodu o požadované fyzikální, chemické a biologické kvalitě, která je dána způsobem jejího dalšího využití, např. pro posádku nebo jako procesní vodu [5].

EMC monitoruje a kontroluje vlastnosti prostředí, které je obýváno posádkou, a kooperuje s LSS při úpravě procesů. Mezi kontrolované vlastnosti patří např. monitoring parciální tlaku kyslíku, dusíku, oxidu uhličitého, methanu, vodíku a vodní páry, chemické složení vody, biologické oživení vzduchu, vody a povrchů, detekce kouře [2, 5].

Potravinový systém slouží k uskladňování a přípravě jídla pro posádku. V případě uvažování vlastní zemědělské produkce by byl k systému přidán subsystém biomasy zahrnující úpravu vypěstovaných plodin. Součástí obytného prostoru jsou pobytové a skladovací prostory, taktéž kuchyňka, hygienická zařízení, protipožární prostředky, zařízení pro údržbu a další. Pomocí lékařských systémů je sledován a vyhodnocován zdravotní stav posádky. V případě onemocnění či zranění jednoho či více členů posádky také zabezpečují, aby nedošlo k ovlivnění LSS, např. vzniklým odpadním materiálem, který nelze uskladnit či regenerovat běžným způsobem [5].

Energetický systém napájí zařízení včetně LSS a umožňuje tak jejich funkci. EVA Support zajišťuje podporu života, tj. dodávání kyslíku, vody a jídla a odstraňování oxidu uhličitého a odpadu, v případech, při nichž je užíván skafandr, např. při startu, při snížení tlaku v kabině, při aktivitách mimo prostory plavidla a při nouzovém návratu z mise nad nízkým orbitem Země [5]. Při EVA je uvažována větší spotřeba vody o 0,24 kg/(os.hod) vzhledem k prevenci dehydratace způsobené pocením a neznatelnými vodními ztrátami a s ohledem na větší fyzickou zátěž člena posádky [6].

K doplňování LSS lze využít i zdroje In-Situ, tj. lokální materiály, např. vodu, plyny, půdu apod. [5].

#### **4.1 Systém částečně uzavřený**

Částečně uzavřený systém LSS musí být průběžně doplňován, neboť nedochází k obnově některých odpadních látek a k jejich dalšímu využití, například pro produkci jídla. Vzhledem k nutnosti pravidelného zásobování lze tento typ systému používat pouze pro krátkodobé mise nebo mise na krátké vzdálenosti, např. na kosmických stanicích [1]. V minulosti byl využíván na stanicích Saljut, přičemž na stanici Saljut 6 bylo regenerováno cca 50 % vody, dále na kosmické stanici Skylab a Mir. V současnosti je používán na ISS, kam je dopravován kyslík, dusík, voda, jídlo jak čerstvé (Obr. 18), tak balené a náhradní díly zařízení a dále je ze stanice odvážen odpadní materiál [1, 2, 3].

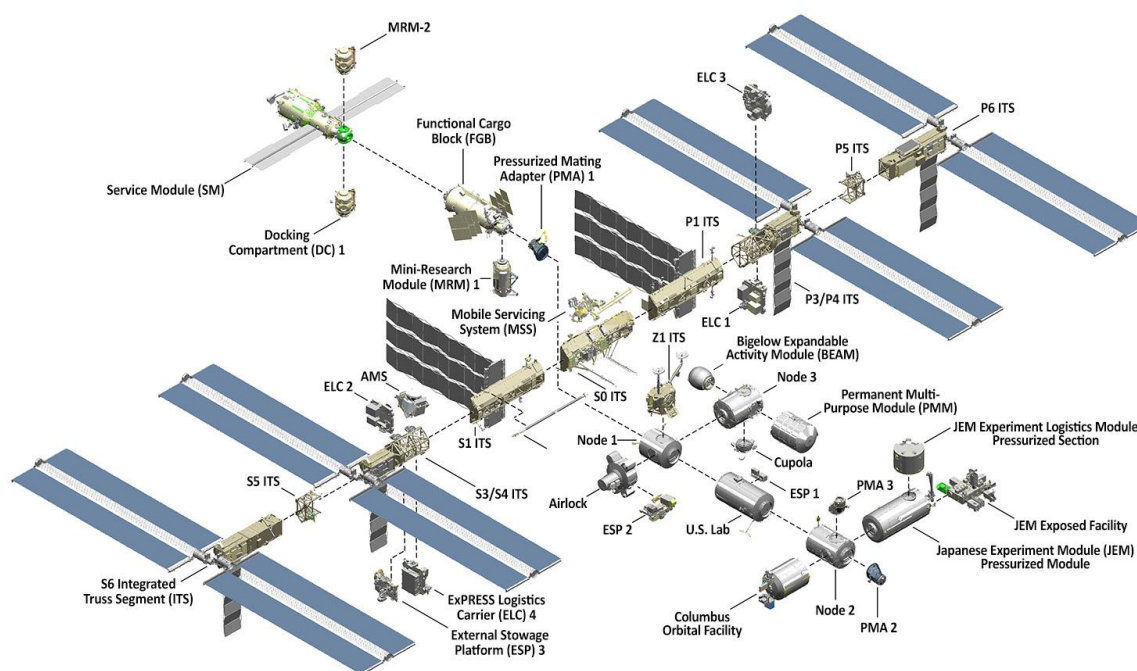




Obr. 18: Astronautka Karen Nyberg a „vznášející se“ čerstvé ovoce v uzlu 1 Unity na ISS [2]

#### 4.1.1 Mezinárodní kosmická stanice

Mezinárodní kosmická stanice (ISS, Obr. 19) se skládá z amerického laboratorního modulu Destiny (Osud), evropské výzkumné laboratoře Columbus a japonského experimentálního modulu Kibo (JEM, Naděje). Dalšími částmi ISS jsou společná přechodová komora Quest (JAL), kupole, permanentní víceúčelový modul Leonardo (PMM), 3 přechodové tunely (PMAs), funkčně nákladní blok Zarja (FGB, Úsvit), stykovací modul Pirs (DC, Molo), malý vědecký modul 1 Rassvet (MRM1, Úsvit) a 2 Poisk (MRM2, Výzkum), také obslužný modul Zvezda (SM, Hvězda) atd. [2, 16].



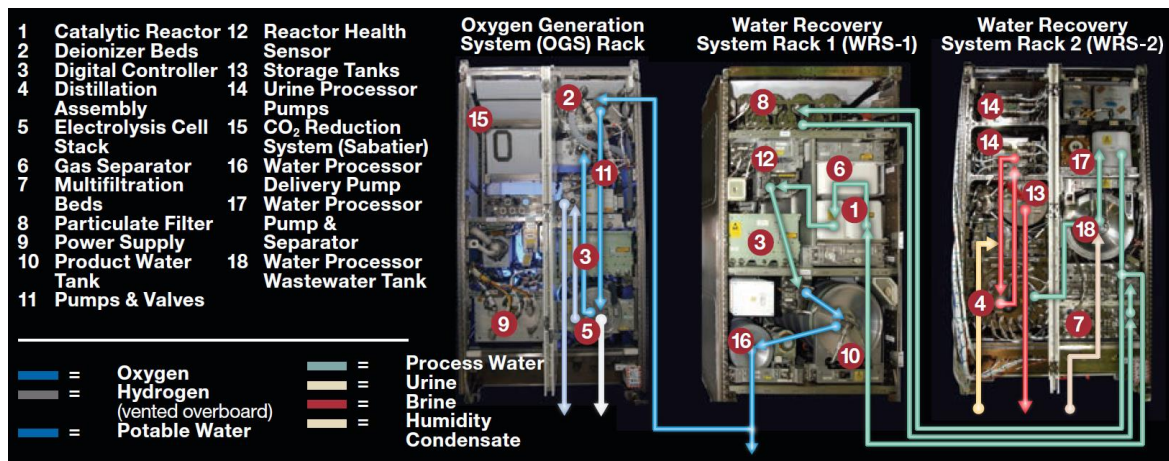
Obr. 19: Schéma ISS v červenci 2020 [17]

Propojovacími prvky jsou tzv. uzly. Uzel 1 nazvaný Unity (Jednota) spojuje příhradový nosník Z1 (ITS Z1), modul Destiny, společnou přechodovou komoru Quest, uzel 3 Tranquility a PMA/FGB Zarja. Na uzel 2 Harmony (Harmonie) je připojen modul Destiny, Columbus, Kibo, PMA-2 a PMA-3. Uzel 3 Tranquility (Klid) tvoří spojení uzlu 1, kupole, PMM a nafukovacího modulu od firmy Bigelow Aerospace (BEAM). Součástí zařízení uzlu 3 je i zařízení na regeneraci vzduchu a vody, generování kyslíku a odstraňování oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), dále zařízení pro osobní hygienu a cvičení posádky (Obr. 20) [2, 17].



Obr. 20: Interiér uzlu 3 Tranquility [2]

Stávající systém regenerace vody (WRS, Obr. 21) byl na ISS dopraven 14. 11. 2008 a je složen ze sestavy na zpracování moči (UPA, Obr. 23) a sestavy na zpracování vody (WPA, Obr. 24) [18]. Systém je založen na principu postupného čištění odpadních vod (kondenzát vlhkosti, moč) dle jejich znečištění a využívá fyzikální a chemické způsoby regenerace vody [1].

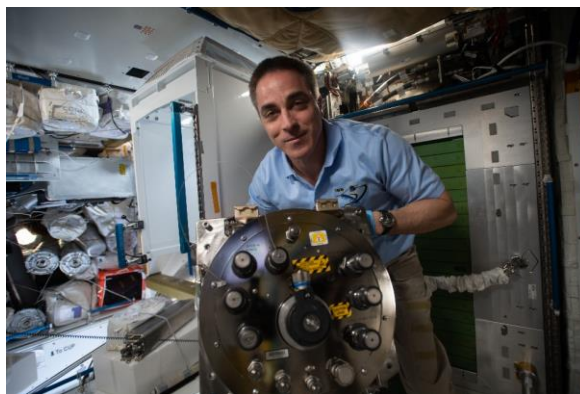


Obr. 21: Americký LSS na ISS – systém generování kyslíku (OGS) a systém regenerace vody (WRS) [2]

Na ISS je moč spolu se splachovací vodou shromažďována na 2 místech, a to v ruském segmentu a v americkém segmentu v úseku odpadu a hygieny (WHC). Shromážděná směs je nejprve předčištěna oxidem chromovým a anorganickou kyselinou, aby bylo zamezeno mikrobiologickému růstu a přeměně moči na amoniak. Předčištění v jednotlivých segmentech se liší použitou kyselinou. V ruském segmentu je používána kyselina sírová, zatímco v americkém segmentu je od roku 2016 aplikována kyselina fosforečná. Předčištěná směs je transportována, v případě amerického segmentu automaticky, v případě ruského segmentu ručně v kontejnerech EDV, do UPA do sestavy skladovacích nádrží na odpadní vodu (WSTA) [18].

Jakmile je WSTA naplněna, je automaticky spuštěn proces čištění tím, že sestava na kontrolu a čerpání kapalin (FCPA) tvořená čtyřpotrubním kapalinovým peristaltickým čerpadlem vyprázdní WSTA do destilační sestavy (DA). V DA tvořené centrifugou je směs vypařena za nízkého tlaku, pára je následně stlačena a zkondenzována na opačné straně povrchu výparníku. Vzniká destilát odváděný do WPA a solanka. Solanka je dále koncentrována a ukládána v sestavě pokročilých recyklačních filtračních nádrží (ARFTA) a poté transportována v EDV, které jsou následně vyprázdněny do ruské nádrže Rodnik (Pramen) na lodi Progress [18].

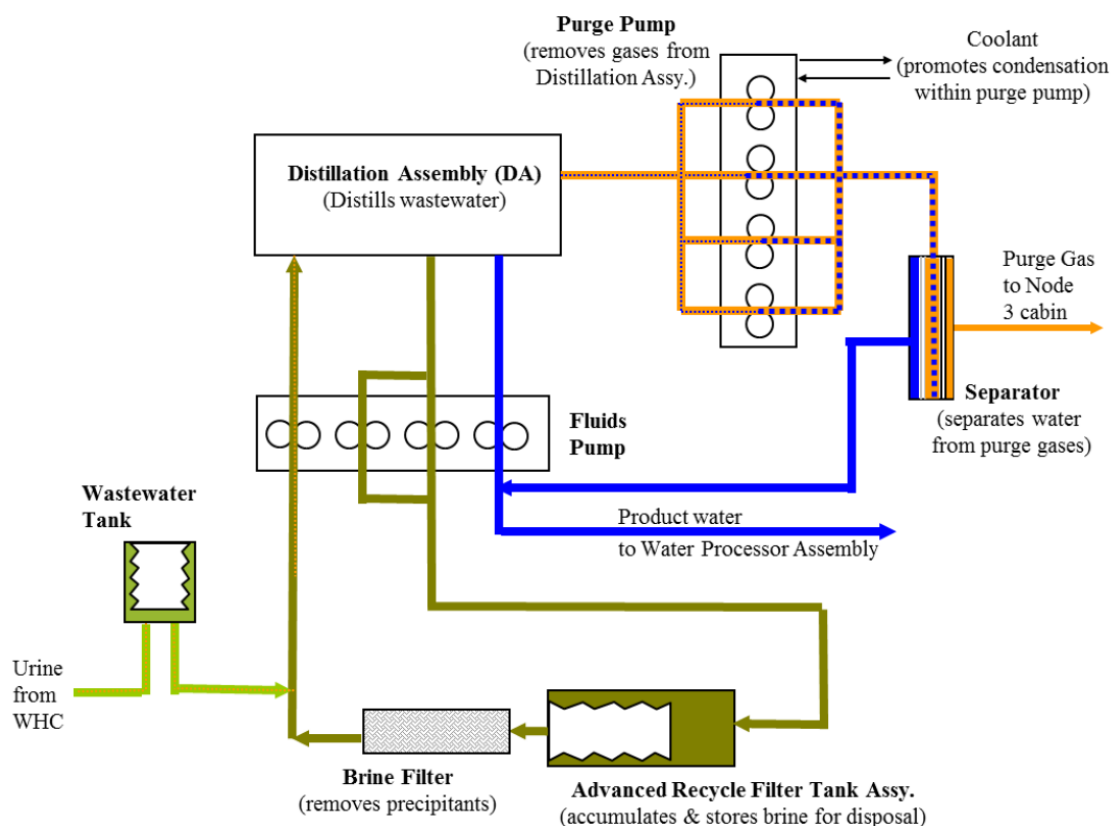
Odstranění nezkondenzovaných plynů z DA provádí sestava čerpání a kontroly tlaku (PCPA) složená ze čtyřpotrubního peristaltického vymývacího čerpadla. Chladicí kapalina jeho obalu podporuje kondenzaci a snižuje tak potřebnou objemovou kapacitu čerpadla. Zkondenzovaná voda z plynů v sestavě oddělovacího vedení (SPA) je následně přidána do destilátu [18]. V březnu 2020 byla na ISS dopravena a v září 2020 byla nainstalována nová DA se součástkami, které jsou více odolné proti prostředí s vyšším obsahem páry a byly vytvořeny 3D tiskem (Obr. 22). Tato DA by měla mít delší životnost a měla by být spolehlivější [19, 20].



Obr. 22: Astronaut Chris Cassidy instalující novou DA na ISS v září 2020 [19]



UPA je schopna běžně zpracovat 9 kg směsi moči a vody za den, což odpovídá produkci 6členné posádky ISS. Návrhová účinnost regenerace vody z moči UPA je 85 %, v roce 2009 byl limit snížen na 75 % pro americký a 70 % pro ruský segment. V roce 2016 vzhledem k zavedení předčištění moči pomocí kyseliny fosforečné byla hodnota účinnosti regenerace pro americký segment zvýšena na původních 85 % [18].



Obr. 23: Zjednodušené schéma UPA [18]

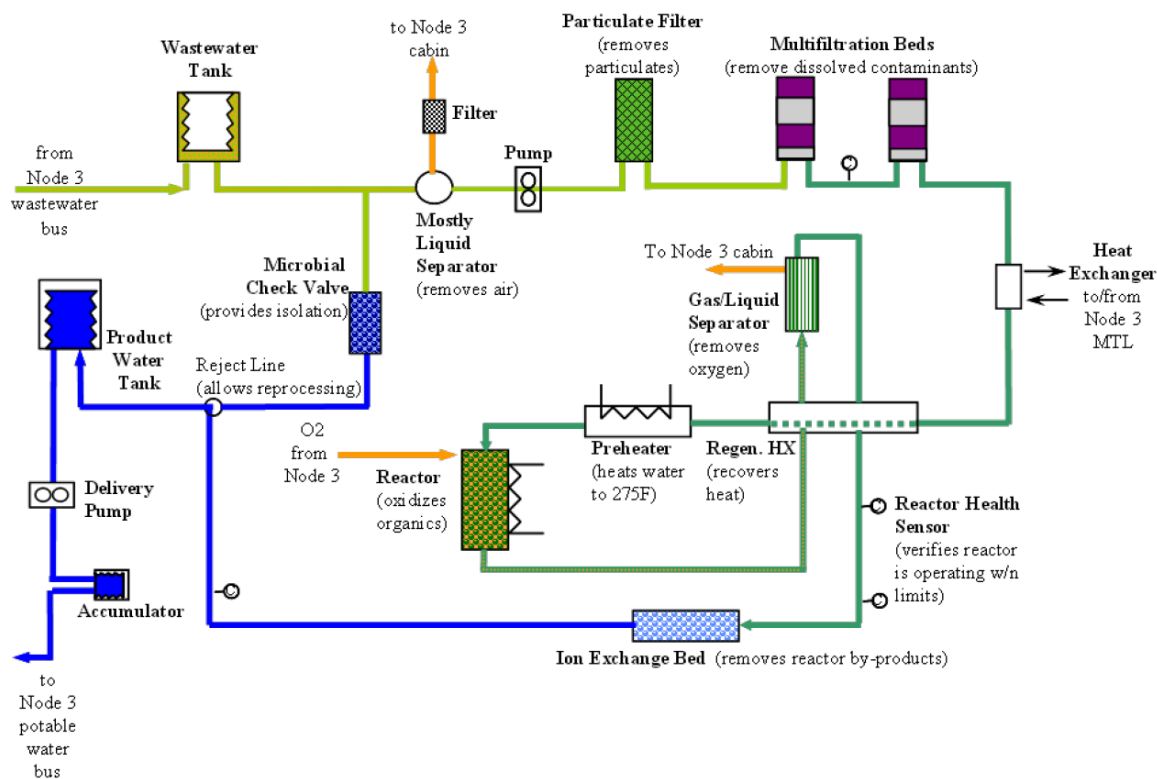
Destilát vytvořený v DA je pomocí FCPA čerpán do odpadní nádrže WPA a smíchán s kondenzátem vlhkosti a příp. vodou ze systému redukce CO<sub>2</sub>. Kondenzát vlhkosti vzniká v sestavách na úpravu vzduchu v kabině (CCAAs) a je dopravován buď rovnou do WPA nebo je dočasně uložen do záložní nádrže na kondenzát v modulu Destiny. Voda ze systému redukce CO<sub>2</sub> vzniká v tzv. Sabatierově reaktoru z CO<sub>2</sub> zachyceného v sestavě na odstraňování CO<sub>2</sub> (CDRA) a vodíku vzniklého při elektrolýze v systému generování kyslíku [18]. Proces v reaktoru probíhá na základě rovnice:  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  [1]. Sabatierův reaktor byl v říjnu 2017 odstraněn vzhledem k jeho znečištění, např. sírou, fluoridy a křemíkem. Jeho návrat na ISS je plánován na rok 2021 [18].

Odpadní voda z odpadní nádrže WPA je čerpána pod tlakem 5,2 až 15,5 kPa do odlučovače kapalin (MLS), kde dochází k odstranění vzduchu. Ten je poté přefiltrován, aby byly odstraněny látky způsobující zápach, a navrácen do kabiny. Voda z MLS je vedena

skrz částicový filtr a 2 multifiltrace (MF), kde jsou zachyceny anorganické a netěkavé organické látky. Následně je voda vedena do katalytického reaktoru, kde dochází k oxidaci nízkomolekulárních organických látek za přítomnosti kyslíku a katalyzátoru a při zvýšené teplotě, při níž je navíc odstraňováno mikrobiologické znečištění [18].

Odtékající voda je zbavována přebytečného kyslíku a vedlejších plynných produktů oxidace, které jsou odváděny do kabiny, a tepla pomocí tepelného výměníku, které je vráceno do reaktoru, čímž je zvýšena efektivita procesu. Dále voda prochází iontovou výměnou sloužící k odstranění rozpuštěných produktů oxidace [18].

Pro hygienické zabezpečení regenerované vody je nakonec přidáván jód (jodový biocid). Jodovaná pitná voda je uskladněna ve skladovací nádrži a distribuována pomocí čerpadla a malé akumulární nádrže rozvodným systémem při udržování tlaku 230 – 280 kPa do OGS, WHC, k dávkovači pitné vody pro posádku (PWD), kde je jód před konzumací odstraňován, do sublimátoru kosmického skafandru a k užitečnému zatížení [18, 21]. Minimálně 818 l vody je uskladněno v ICWCs a zásobních vodních nádržích (RSTs) jakožto rezerva pro nouzové situace [18].

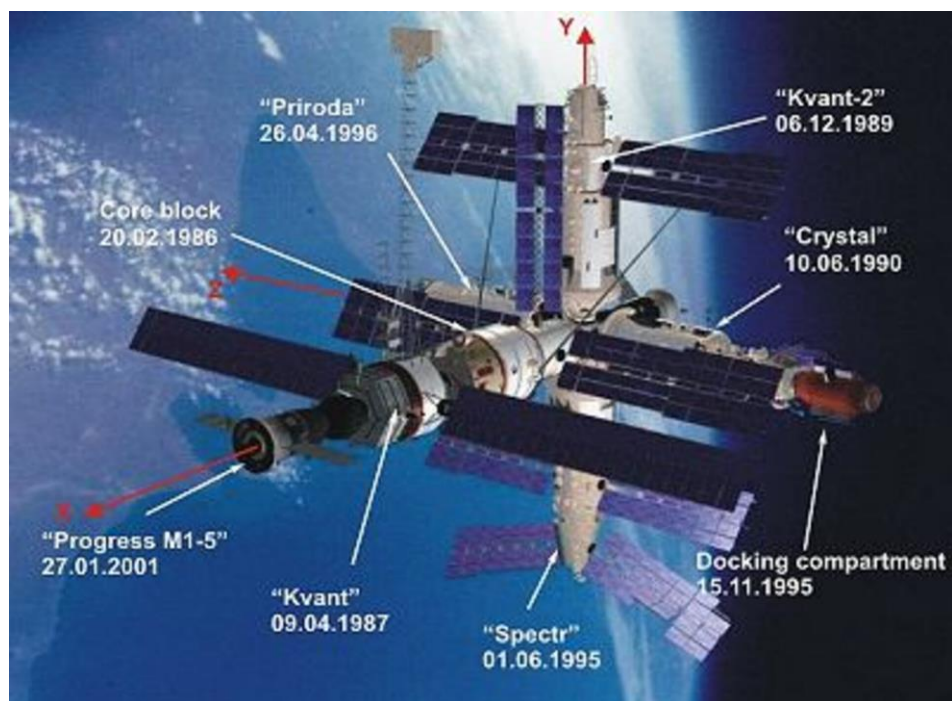


Obr. 24: Zjednodušené schéma WPA [21]

V současnosti se celková účinnost regenerace vody pohybuje okolo 90 % [4]. Vzhledem k tomu, že se jedná o částečně uzavřený systém, je nutno doplňovat chemikálie, vyměňovat filtrační média apod. Dále nedochází k dalšímu využití solanky [1].

### 4.1.2 Kosmická stanice Mir

Kosmická stanice Mir byla složena ze základního modulu Mir, astrofyzikálního modulu Kvant (Kvantum), modulu dovybavení Kvant-2 (Kvantum-2), stykovacího a technologického modulu Kristall (Krystal), optického modulu Spektr (Spektrum), výzkumného modulu Priroda (Příroda) a stykovacího modulu (Obr. 25). Stanice zanikla 23. března 2001 v zemské atmosféře [11, 22, 23].



Obr. 25: Kosmická stanice Mir [23]

LSS na kosmické stanici Mir vycházel z principu LSS kosmických stanic Saljut a byl předchůdcem systému používaného nyní na ISS. Byl navržen pro 3člennou posádku. Systém regenerace vody z moči využíval atmosférickou membránovou destilaci s cyklem pára/vzduch. Jeho účinnost regenerace byla 80 % a hmotnost systému činila 100 kg. Systém regenerace vody z kondenzátu vlhkosti využíval sorpční katalytickou purifikaci, jeho hmotnost činila 115 kg (Obr. 26). Celková účinnost regenerace činila přibližně 72 % [24].



Obr. 26: Systém regenerace vody z moči (vlevo) a systém regenerace vody z kondenzátu vlhkosti na kosmické stanici Mir (vpravo) [24]

## 4.2 Systém uzavřený

Uzavřený systém LSS je tvořen regeneračním cyklem vyžadujícím minimální vstupy (chemikálie aj.), a tím umožňujícím dlouhodobé kosmické mise na větší vzdálenosti, při nichž je omezena možnost zásobování. Systém by měl zajistit maximální možnou regeneraci nejen vody a vzduchu, ale i dalších látek, které by byly dále využity, např. potravinovým systémem. Cílem Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku (NASA) je vytvořit systém s celkovou účinností 98 % ještě před misí s lidskou posádkou na Mars [1, 4].

Obecně by uzavřený systém LSS měl představovat jednoduchý, spolehlivý, robustní, snadno opravitelný, variabilní a skladný systém s vysokou účinností regenerace látek, který je zároveň odolný proti nepříznivým podmínkám prostředí a který je v součinnosti s ostatními systémy schopen zachovávat životní podmínky posádky [1].

Jakožto zdroje vody lze uvažovat kondenzát vlhkosti, produkt Sabatierova reaktoru, užitkovou vodu z hygieny, praní apod., směs moči a vody na splachování, odpadní vodu z užitečného zatížení, organický odpad a fekálie, příp. zdroje In-Situ [1, 5, 13].

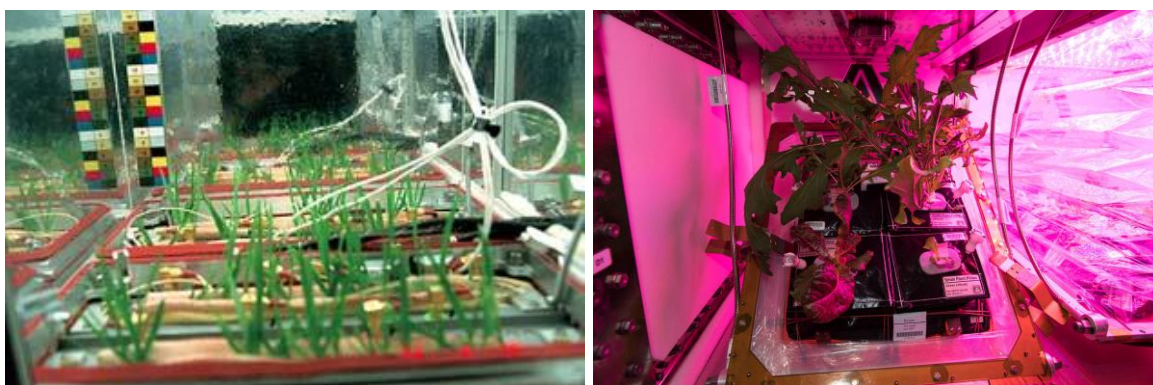
Vzhledem k tomu, že se jednotlivé zdroje liší nejen množstvím obsažené vody, ale i chemickým složením, je vhodné společně regenerovat vodu obdobného znečištění, resp. nejprve vodu upravovat odděleně a postupně regenerovanou vodu z různých zdrojů směšovat. Kondenzát vlhkosti a voda ze Sabatierova reaktoru jsou považovány za velmi čistou vodu s obsahem malého množství rozpuštěných látek. Užitková voda může obsahovat



zbytky mycích a pracích prostředků, dále se v ní vyskytují organické látky, patogenní organismy a znečištění z daného prostředí. Směs moči a vody na splachování, dále fekálie a organický odpad obsahují především nutričně důležité prvky (C, N, P, K) a mají vyšší výskyt patogenních organismů [1].

Způsob využití vedlejších produktů regenerace vody je odvozen od jejich vlastností. Je nutné, aby vedlejší produkty, nyní považované za odpadní látky, byly pro další použití zdravotně nezávadné (netoxické, bez patogenních organismů) a byly dostupné ve formě požadované daným účelem, např. jako látky zlepšující vlastnosti půdy nebo jako živiny pro hydroponický způsob pěstování plodin [1].

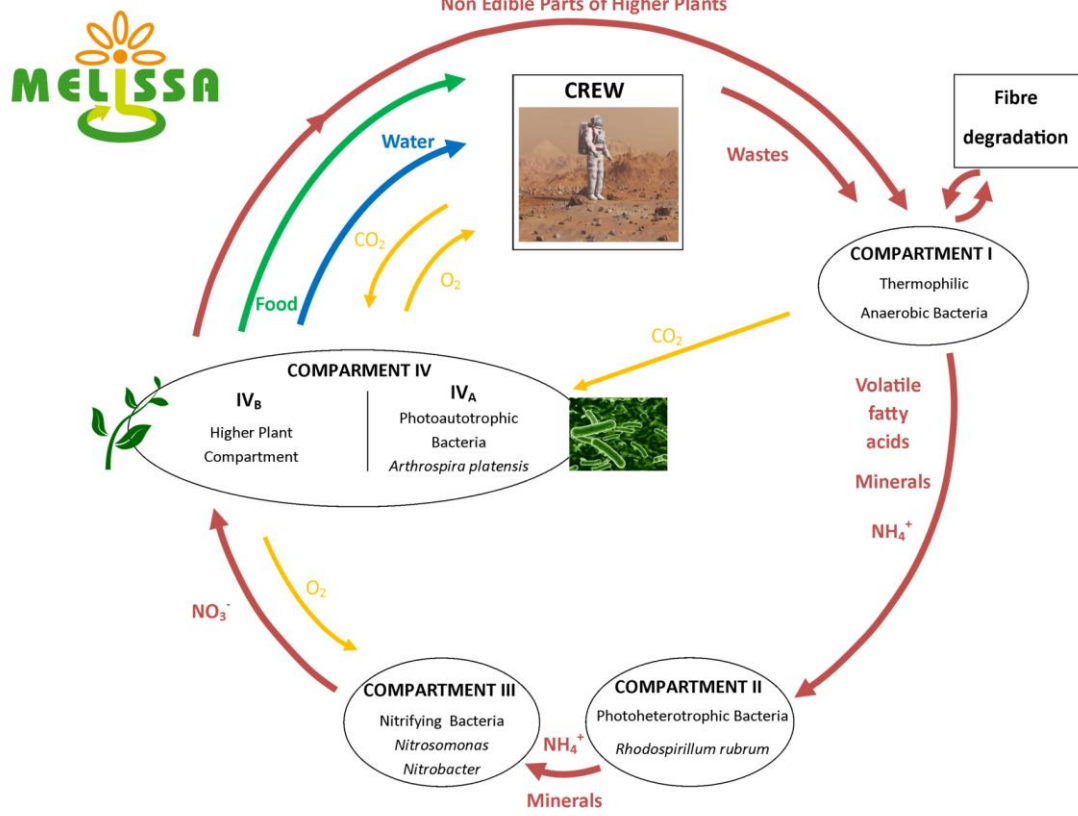
Skleník byl experimentálně instalován již na kosmické stanici Mir. Na ISS je systém pěstování plodin nazývaný Veggie od roku 2013. Jedná se o hydroponický systém s LED osvětlením (Obr. 27) [25, 26, 27].



Obr. 27: Skleník na kosmické stanici Mir (vlevo) [25], Veggie na ISS (vpravo) [28]

Evropská kosmická agentura (ESA) ve spolupráci s dalšími institucemi vyvíjí tzv. mikro-ekologickou variantu systému zabezpečení životních podmínek (MELiSSA, Obr. 28). Tento systém by měl využívat biologických procesů k přeměně moči a organického odpadu na hnojivo pro fotoautotrofní organismy, které by spotřebovávaly oxid uhličitý a produkovaly kyslík, vodu a potraviny pro posádku. Součástí tohoto projektu je i projekt Urinis zkoumající možnosti nitrifikace moči pomocí bakterií v mikrogravitaci, na němž se podílí i česká společnost S.A.B. Aerospace s.r.o. [29, 30, 31].





Obr. 28: Schéma MELiSSA [29]

## 5 Způsoby regenerace vody

Způsoby regenerace vody se dělí na fyzikální, chemické a biologické a jejich kombinace. V současné době jsou na kosmických misích využívány pouze fyzikální a chemické procesy vzhledem k možnostem jejich rychlé reakce na změnu vstupních hodnot kvality a kvantity vody a také menším prostorovým nárokům. Vyžadují však více energie, jelikož se procesy často odehrávají za zvýšené teploty a sníženého tlaku, a zároveň je zapotřebí dodávat chemikálie. Biologické způsoby regenerace vody napodobují přirozené procesy na Zemi, avšak oproti fyzikálním a chemickým způsobům jsou citlivější na změny v přítoku. Pro jejich správný průběh je nutné udržovat vhodné podmínky pro mikroorganismy a jejich reakce na změny mohou být pomalejší, čímž jsou náchylnější k selhání v případě jiné než běžné situace [1].

### 5.1 Fyzikální způsoby regenerace vody

Fyzikálními způsoby regenerace vody jsou odstraňovány nerozpuštěné i rozpuštěné látky různých velikostí na základě rozdílné hustoty (sedimentace, vzplývání, flotace, odstředování), zachycení na přepážce (filtrace), změny skupenství (destilace) a rozdílných povrchových vlastností (iontová výměna, sorpce) [1, 32].

#### 5.1.1 *Sedimentace*

Proces sedimentace, též nazývaný usazování, probíhá na základě působení gravitační síly a rozdílu hustot oddělovaných složek. Slouží k odstranění suspendovaných látek. Suspenze jsou děleny dle svého charakteru na suspenze vločkovité a zrnité. Částice vločkovité suspenze mění při klesání svůj tvar, velikost a nejsou oproti kapalině jasně vymezené, např. biologicky aktivovaný kal. Částice zrnité suspenze nemění svůj tvar, jejich povrch je vůči kapalině ostře ohraničen, usazují se konstantní rychlostí a nekoagulují. Mezi ně patří např. písek [32, 33].

Kromě charakteru suspenze závisí sedimentace i na její koncentraci, podle níž se dělí na prostou sedimentaci, rušenou sedimentaci a zahušťování. Při prosté sedimentaci není částice ovlivňována okolními částicemi. V případě sedimentace v nehybné kapalině závisí usazovací rychlost na rozdílu hustot pevné částice a kapaliny, viskozitě kapaliny, velikosti a tvaru částice a na zrychlení vnějšího silového pole. Pokud je objemová koncentrace suspendovaných částic větší než 0,5 %, je sedimentující částice ovlivňována částicemi okolními a nastává rušená sedimentace. Usazovací rychlost částice při rušené sedimentaci je

nižší než při prosté sedimentaci. Při zahušťování je suspenze dále koncentrována a vytváří pórovitou vrstvu jasně odlišitelnou od kapaliny. Výslednými produkty jsou voda a kal, který je možné dále odvodňovat [32, 34].

Přídavkem koagulantu do vody dochází ke srážení koloidních látek. Běžně jsou využívány soli hliníku či železa. Pro zlepšení tvorby vloček jsou přidávány tzv. flokulanty, kterými mohou být jak látky anorganické (aktivovaná kyselina křemičitá), tak přírodní vysokomolekulární (škrob, dextrin, guarové pryskyřice) či syntetické (polyakrylamid, polyethylenoxidy). Sedimentaci vloček napomáhají tzv. zatěžkávadla, např. jíly, jemný křemičitý písek či jemně mletý vápenec [32].

Na Zemi patří sedimentace mezi nejrozšířenější způsoby čištění odpadních vod. Je využívána k odstraňování částic, jejichž usazovací rychlost je větší než  $10^{-5}$  m/s, jelikož sedimentace částic s nižší sedimentační rychlostí vyžaduje delší dobu trvání procesu [32]. Za ekonomicky přijatelnou je považována doba sedimentace maximálně 2 až 3 hodiny [33].

### **5.1.2 Vzplývání**

Vzplývání je založeno na využití vztlakové síly a rozdílu hustot oddělovaných složek. Jsou separovány látky s nižší hustotou než kapalina, např. tuky a ropné látky, které vytvoří plovoucí vrstvu na hladině, odkud jsou odstraňovány. Pokud jsou v kapalině přítomné usaditelné a povrchově aktivní látky mohou vznikat stabilní emulze, které nelze vzplýváním odstranit [32].

### **5.1.3 Flotace**

Při flotaci dochází k umělému snižování hustoty částic pomocí provzdušňování kapaliny mikrobublinami, které s nerozpuštěnými látkami vytvářejí celky. Tyto celky stoupají k hladině, odkud jsou odstraňovány. Dle způsobu vzniku mikrobublin se flotace dělí na volnou flotaci, tlakovou flotaci a elektroflotaci. Při volné flotaci je vzduch veden do aeračních elementů s póry (desky, talíře). Při tlakové flotaci je část či veškerá přitékající voda pod tlakem nasycena vzduchem, díky čemuž dochází následně ke vzniku mikrobublin. Často je zavedena recirkulace, kdy část odtékající vody je nasycena vzduchem a vrácena do přítoku. Výhodou recirkulace je čistota syčené vody, díky čemuž nejsou zanášeny trysky [32].

Elektroflotace je energeticky nejnáročnější způsob flotace. Je založena na elektrolýze vody, při níž na katodě vznikají mikrobubliny vodíku, na anodě kyslíku. Slouží

i k odstraňování látek, jejichž hustota se od hustoty vody liší jen mírně, např. emulze ropných látek. Vzniklý kyslík zároveň oxiduje látky ve vodě. Oproti tlakové flotaci, která může probíhat při teplotě vody do 30 až 40°C, umožňuje elektroflotace teplotu vody do 90°C [32].

#### **5.1.4 Filtrace**

Filtrací vody jsou při průtoku vody skrz vrstvu filtračního média (písek, aktivní uhlí atd.) či bariéru (síto, membrána) odstraňovány látky o velikosti větší než prostupy filtru [1, 32]. Filtrační médium může být jedno- či vícevrstvé. K průtoku vody skrz filtrační médium dochází buď gravitačně, tzv. otevřené filtry, nebo tlakově, tj. v uzavřené nádrži za zvýšeného tlaku. Směr toku je u otevřených filtrů shora dolů, u tlakových může být i zdola nahoru nebo jsou filtry protékány obousměrně. Obecně jsou prostorové nároky na otevřenou filtraci větší než na tlakovou [32].

K zajištění dlouhodobé funkce filtru je po dosažení dané hodnoty odporu či tlakové ztráty zahájeno praní filtru, při němž je odstraňováno pomocí vody nebo směsi vody a vzduchu znečištění zachycené ve filtračním médiu. K praní filtru může docházet i kontinuálně, tj. aniž by byla přerušena filtrace. Znečištěné médium je postupně odebíráno, čištěno a navraceno do filtru [32].

Kromě filtrační vrstvy je k zachycování látek používána i přepážka (česle, síto) či selektivní bariéra (membrána). Membránové filtrace za zvýšeného tlaku zachycují částice o dané velikosti, příp. o daném elektrickém náboji, na semipermeabilní membráně za vzniku permeátu a solanky. Membrány jsou vyráběny z přírodního materiálu (acetátová celulóza), syntetického (polyamidy) nebo keramického na bázi oxidu hlinitého ( $Al_2O_3$ ) či oxidu zirkoničitého ( $ZrO_2$ ). Keramické membrány jsou chemicky, mechanicky a tepelně odolné, mikrobiologicky stálé a jejich regenerace je jednoduchá, avšak oproti membránám z jiných materiálů mají vyšší hmotnost a cenu (Obr. 29). Membrány se dělí dle struktury na symetrické (izotropní), asymetrické (anizotropní) a kompozitní. Asymetrické membrány jsou tvořeny dvěma stejnými vrstvami materiálu a oproti symetrickým jsou více odolné mechanicky, tepelně, proti změně pH a neoxidují. Kompozitní membrány jsou složeny až z 8 vrstev různého materiálu [32].



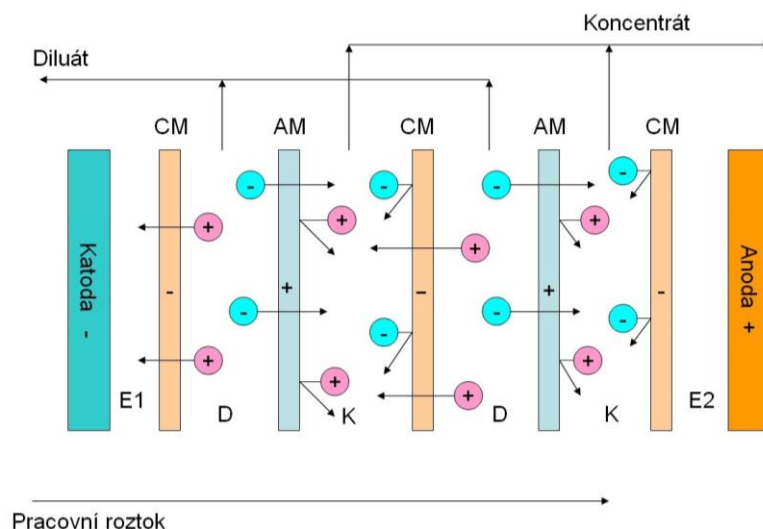
Obr. 29: Membránová filtrace s keramickými membránami [35]

Dle druhu a umístění membrány se moduly pro membránovou filtrace rozdělují na moduly s plošnou membránou, moduly se spirálovou membránou, moduly s tubulární membránou, u nichž není potřeba předfiltrace a jednoduše se čistí, a moduly s dutými polyamidovými vlákny, které jsou odolné proti tlakům [32].

Membránové filtrace se podle velikosti separovaných částic dělí na mikro-, ultra-, nanofiltrace a reverzní osmózu. Mikrofiltrací jsou zachycovány částice o velikosti 0,1 – 10  $\mu\text{m}$ , tj. bakterie, řasy, prvoci, suspendované látky. Ultrafiltrací je dosaženo odstranění částic o velikosti 0,005 – 0,1  $\mu\text{m}$  (bakterie, viry, organické látky, např. proteiny a enzymy) při tlaku 0,1 – 0,6 MPa. Nanofiltrace jsou separovány organické látky (cukry, aminokyseliny) a vícemocné ionty ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) při tlaku 0,5 – 0,7 MPa. Reverzní osmóza funguje na principu obrácení osmózy a probíhá při tlaku větším než 5 MPa. Jsou při ní odstraňovány veškeré látky včetně rozpuštěných solí, organických látek o velikosti menší než 0,001  $\mu\text{m}$  a jednomocných iontů ( $\text{Na}^+$ ). Permeát z reverzní osmózy určený k pití musí být zpětně obohacen o látky, aby svým chemickým složením odpovídal pitné vodě [1, 32].

Výhodami membránové filtrace jsou vysoká kvalita vody vč. odstranění biologického oživení, malé prostorové nároky a modulární systém s možností rozšíření. Mezi nevýhody patří vysoká spotřeba energie z důvodu průběhu procesu za zvýšeného tlaku [32].

K membránovým technologiím lze zařadit i elektrodialýzu, při které v elektrickém stejnosměrném poli dochází k přesunu iontů přes vodivé membrány propouštějící buď kationty nebo anionty k příslušné elektrodě, tj. kationty ke katodě, anionty k anodě (Obr. 30) [36].



Obr. 30: Princip elektrodialýzy (D ... diluátová komora, K ... koncentrátová komora, CM ... kationaktivní membrána, AM ... anionaktivní membrána) [36]

### 5.1.5 Odstřed'ování

Odstřed'ování, taktéž centrifugace, je založeno na principu využití odstředivé síly a rozdílu hustot složek. Odstředivá síla je úměrná frekvenci a poloměru otáčení. Tento způsob je na Zemi používán k zahušťování kalu [32].

### 5.1.6 Destilace

Při destilaci (odpařování) je kapalná voda zahřáta na bod varu, převedena na vodní páru, ochlazená a zkondenzována na kapalinu zbavenou znečištění a nazývanou destilát. Jedná se o energeticky náročný způsob regenerace vody probíhající za zvýšené teploty. Snížení energetické náročnosti lze dosáhnout využitím odpadního tepla [1]. Na Zemi není destilace běžně na úpravách vody a čistírnách odpadních vod používána, v průmyslu ji lze použít k demineralizaci vody [33].

Destilace byla používána již na kosmické stanici Mir, nyní je destilační soustava součástí UPA na ISS. Jejými produkty jsou destilát odváděný do WPA a solanka, která není dále využívána [18, 24].

### 5.1.7 Absorpce a adsorpce

Absorpce a adsorpce jsou dva způsoby regenerace vody souhrnně nazývané sorpce. Při absorpci dochází ke vstřebávání látky druhou látkou. Adsorpce je proces, při němž jsou na povrchu adsorbentu, např. na aktivním uhlí, zachycovány rozpuštěné látky, plyny a páry díky působení van der Waalových sil, díky chemickým vazbám mezi adsorbentem

a adsorbátem nebo díky přitažlivosti částic elektrickými silami [32, 37]. Dochází tím ke zlepšení organoleptických vlastností vody, jsou odstraňovány např. pesticidy, humínové látky, trihalomethany a uhlovodíky. Životnost adsorbentu závisí na vlastnostech jeho povrchu (velikost, charakter, textura) a částic (zrnitost, velikost, tvar) a na koncentraci znečištění v přitékající vodě [32].

### **5.1.8 Iontová výměna**

Iontová výměna je vratný difuzní proces. Průtokem vody skrz ionex dochází k výměně iontů. Ionexy se rozdělují na katexy se záporným nábojem funkční skupiny vyměňující kationty nejčastěji za vodíkové ( $H^+$ ) či sodné ( $Na^+$ ) a anexy s kladným nábojem funkční skupiny vyměňující anionty nejčastěji za hydroxidové ( $OH^-$ ) či chloridové ( $Cl^-$ ). Mezi nejčastěji odstraňované ionty patří vápenaté, hořečnaté a amonné kationty, hydrogenuhličitanové a dusičnanové anionty, dále iontová výměna slouží k deionizaci, demineralizaci a desilikaci vody [32].

Ionexy jsou jak přírodní (zeolity, podvojně hlinitosodné křemičitany), tak syntetické (kondenzační a polymerní produkty fenolů, aminů, styrenu). Iontová výměna probíhá ve 4fázovém cyklu: úprava a regenerace ionexu – praní – výměnná fáze – praní. Regenerační činidla ionexu závisejí na druhu ionexu, je jimi např. 2 – 5% roztok kyseliny chlorovodíkové (HCl), chloridu sodného (NaCl), hydroxidu sodného (NaOH). Praním je ionex kypřen a je odstraňován přebytek regeneračního činidla. Z důvodu vysokého obsahu solí je likvidace použitého regeneračního činidla problematická [32].

### **5.1.9 UV záření**

UV záření je využíváno k dezinfekci vody. Je absorbováno nukleovými kyselinami mikroorganismů, čímž dochází k jejich inaktivaci [32].

### **5.1.10 Spalování**

Spalování je exotermní reakce, během níž je látka za přítomnosti kyslíku přeměněna na vodu,  $CO_2$  a popel. Pyrolýzou, tj. spalováním bez přítomnosti kyslíku, vzniká biochar sloužící ke zlepšení vlastností půdy, např. k regulaci pH půdy a k podpoře zadržení nutrientů [1]. Spalování je používáno v kalovém hospodářství ke stabilizaci a konečnému zpracování kalu. Kal je tím hygienizován a může být následně přidán např. do stavebních materiálů. Výhodami spalování je zásadní snížení objemu odpadu, odstranění mikrobiologického znečištění a možnost dalšího využití produktů [1, 32].

### **5.1.11 Sonolýza**

Sonolýzou, při níž je využíván ultrazvuk, lze odstranit chlorované uhlovodíky, palivová aditiva, pesticidy (herbicid atrazin, insekticid parathion), aromatické směsi a humínové kyseliny [1].

### **5.1.12 Magnetická úprava**

Magnetická úprava vody slouží ke snížení tvorby inkrustací ze solí za pomoci magnetického pole, které je vytvářeno permanentními magnety či elektromagnety. Působením magnetického pole na protékající vodu je navyšován počet krystalických center, je vytvářen chaos v orientaci krystalizačních mřížek na dobu 10 až 14 hodin a vznikají tak málo stabilní, nesouvislé a jednoduše odplavitelné sraženiny [33].

## **5.2 Chemické způsoby regenerace vody**

Při chemických způsobech regenerace vody dochází k odstraňování znečištění pomocí chemických reakcí. Na složení a vlastnostech látek, které mají být odstraněny, závisí použité chemikálie, reakce, podmínky, při nichž k odstraňování dochází (tlak, teplota), a tím vzniklé vedlejší produkty. Mezi chemické způsoby regenerace vody patří oxidace, koagulace a chemické vázání [1, 33].

### **5.2.1 Oxidace**

Oxidací jsou odstraňovány anorganické i organické látky. Jakožto oxidační činidla jsou používány vzdušný kyslík, chlor a jeho sloučeniny, ozon, peroxid vodíku a manganistan draselný. Některá tato činidla jsou také používána k dezinfekci vody. Vzdušný kyslík je slabé oxidační činidlo a používá se u vod s nízkou koncentrací rozpuštěného kyslíku a také u vod s vyššími koncentracemi plynů, jako je sulfan ( $H_2S$ ) způsobující zápach či  $CO_2$ , který má korozivní účinky. Chlor ( $Cl_2$ ) je žlutozelený zápachající korozivní plyn, po jehož přidání do vody vzniká kyselina chlorná ( $HClO$ ). Mezi dále používané sloučeniny chloru patří chlornan sodný ( $NaClO$ ), vápenatý ( $Ca(ClO)_2$ ) a chloraminy. Nevýhodou využití chloru a těchto jeho sloučenin je možná tvorba haloformů a chlororganických sloučenin. Tyto sloučeniny však nevznikají při použití oxidu chloričitého ( $ClO_2$ ), který je silným oxidačním činidlem. Nelze ho ale skladovat, vyrábí se přímo z chloritanu sodného ( $NaClO_2$ ) a kyseliny chlorovodíkové či chloru [32, 33, 37].

Ozon ( $O_3$ ) je nestlačitelný namodralý toxický korozivní plyn vyráběný pomocí ozonizátoru. Řadí se mezi silná oxidační a dezinfekční činidla, destruuje bakterie i viry. Jeho



nevýhodou je mj. nutnost odstranění zbytkového ozonu, např. sorpcí na aktivním uhlí. Peroxid vodíku ( $H_2O_2$ ), příp. peroxid sodný ( $Na_2O_2$ ), je silné oxidační činidlo, které je využíváno v kombinaci s ozonizací. Manganistan draselný, též nazývaný hypermangan ( $KMnO_4$ ), je krystalická látka s baktericidními účinky [32, 33, 37, 38].

### **5.2.2 Pokročilé oxidační procesy**

Pomocí pokročilých oxidačních procesů (AOPs) lze z vody odstranit mikropolutanty (léčiva, pesticidy) a jiné organické látky za použití velmi silného oxidačního činidla, kterým jsou hydroxidové anionty vzniklé např. z peroxidu vodíku či ozonu při působení UV záření. Výhodami AOPs je jejich rychlost, účinné odstraňování velkého spektra látek a nízké prostorové nároky. Nevýhodami je jejich energetická náročnost a nutnost po skončení procesů odstranit zbytkový peroxid vodíku či ozon, např. sorpcí na aktivním uhlí. Dále v případě využití ozonu a UV záření a vyšších koncentrací bromidů ve vodě vzniká nebezpečí tvorby bromičnanů [1, 39].

### **5.2.3 Koagulace**

Při koagulaci (srážení) dochází po přidání koagulantu k tvorbě a shlukování vloček, které jsou následně odseparovány sedimentací, filtrací apod. Mezi nejčastěji používané koagulanty patří soli železa a hliníku, např. síran železitý, hlinitan sodný. Slouží např. k chemickému odstraňování fosforu. Koagulace je rozdělována z hlediska času do 2 etap: perikinetická a ortokinetická. V perikinetické etapě trvající přibližně 2 – 3 minuty se částice shlukují pomocí Brownova pohybu, přičemž nepřevažuje žádný směr. V ortokinetické etapě trvající 20 – 30 minut, též nazývané flokulace, dochází nejen k tepelným srážkám, ale i ke srážkám v jednom směru způsobených vnějším vlivem, např. tíhovým polem [32, 33].

### **5.2.4 Chemické vázání**

Chemické vázání, též nazývané syntéza, slouží k převedení rozpuštěných látek a plynů do nových sloučenin, které lze z vody separovat, např. filtrací, nebo které ve vodě zůstávají ale nejsou škodlivé [33].

## **5.3 Biologické způsoby regenerace vody**

Biologické způsoby regenerace vody jsou založeny na přítomnosti biologického oživení, které svými metabolickými procesy rozkládá znečištění a přetváří ho na energii

nebo svou buněčnou hmotu. Biologické oživení potřebuje ke svému životu vhodné podmínky, mezi něž patří např. teplota, pH a forma, ve které je přítomen kyslík. Prostředí, kde je přítomen rozpuštěný kyslík se nazývá oxické. Prostředí, v němž je kyslík přítomen v dusičnanech a dusitanech, je anoxické. V anaerobním prostředí je kyslík dostupný pouze v síranech a oxidu uhličitém. Na Zemi jsou biologické způsoby používány k odželezňování, odmanganování, dále k odstraňování dusíku a fosforu a také k desulfataci [32, 40, 41].

### 5.3.1 Oxické podmínky

V oxických podmínkách dochází k odželezňování, odmanganování, odstraňování organických látek a k nitrifikaci a k některým biologickým procesům odstraňování fosforu. Nitrifikace spočívá v oxidaci amoniakálního dusíku ( $\text{NH}_4^+$ ) na dusitany ( $\text{NO}_2^-$ ) bakteriemi rodů *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira* a *Nitrosocystis*, dále dusitanů na dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ ) bakteriemi rodů *Nitrobacter* a *Nitrocystis*. Kromě koncentrace kyslíku ovlivňuje průběh nitrifikace hodnota pH, která je pro rod *Nitrosomonas* optimálně 7,9 – 8,2, pro rod *Nitrobacter* 7,2 – 7,6, dále teplota, na níž závisí rychlost nitrifikace a jejíž optimální hodnota činí 28 – 32°C. Látkami inhibujícími nitrifikaci jsou především těžké kovy, kyanidy, kyanatany, neiontové formy amoniaku a kyseliny dusité, také sloučeniny síry s dusíkem (merkaptobenzothiazol, thiomčovina aj.) [32, 40].

Organické látky jsou oxidovány na  $\text{CO}_2$  a vodu a zároveň jsou z nich syntetizovány zásobní látky (polysacharidy, lipidy) a další specifické buněčné látky (enzymy apod.). Probíhající procesy závisejí na vlastnostech prostředí, ve kterém se mikroorganismy nacházejí, vhodnosti a koncentraci jeho složek, resp. složení substrátu (C, H, O, N, P, S), dále na druzích mikroorganismů (bakterie, plísně, kvasinky, prvoci) a jejich počátečním množství, stáří, fyziologickém stavu a schopnosti adaptace. Mikroorganismy mohou být buď ve vznosu (aktivace) nebo přisedlé (biofilmové reaktory). Při aktivaci jsou mikroorganismy v provzdušňovaném prostředí a vytvářejí tzv. aktivovaný kal, který je následně odstraněn, např. sedimentací. Část kalu je zahuštěna a recirkulována na začátek aktivace a přebytečný kal je dále zpracováván v rámci kalového hospodářství. V biofilmových reaktorech, v kterých probíhá buď nucená nebo přirozená aerace, jsou mikroorganismy přisedlé na nosič, který je pevný či pohyblivý. Podle průtoku se reaktory dělí na skrápěné, ponořené a rotační. Biologické procesy v oxických podmínkách jsou běžně využívány k čištění odpadních vod, příp. k aerobní stabilizaci kalu [32, 40].

### 5.3.2 *Anoxické podmínky*

Při anoxických podmínkách probíhá denitrifikace, resp. anoxická oxidace a nitrátová respirace, při nichž jsou přeměňovány dusičnany na oxid dusný ( $N_2O$ ) a plynný dusík ( $N_2$ ) bakteriemi rodů např. *Micrococcus*, *Pseudomonas* a *Denitrobacillus* za současného vzniku  $CO_2$ , vody a  $OH^-$ , jejichž zvýšená koncentrace může způsobit zvýšení hodnoty pH a zastavení procesu [40].

### 5.3.3 *Anaerobní podmínky*

V anaerobních podmínkách dochází k depolymeraci polyfosfátů, k desulfataci pomocí desulfurikačních bakterií a především k anaerobnímu rozkladu, též nazývaného methanizace, který představuje soubor mikrobiologických procesů vedoucích k rozkladu organických látek na biomasu, methan ( $CH_4$ ) a další plyny ( $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ) a nerozložitelnou stabilizovanou organickou hmotu [40].

Anaerobní rozklad se sestává z hydrolyzy, acidogeneze, acetogeneze a methanogeneze. Během hydrolyzy jsou rozkládány makromolekulární organické látky (lipidy, proteiny, polysacharidy) pomocí extracelulárních enzymů na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě (aminokyseliny, organické kyseliny, glycerol, monosacharidy), které jsou následně v acidogenezi přeměněny na jednoduché organické látky, zejm. kyseliny (máslaná, propionová, octová, mléčná) a alkoholy (ethanol), a na  $H_2$  a  $CO_2$ , který se v kapalném prostředí rozpouští a mění na hydrogenuhličitan. Tyto látky jsou následně při acetogenezi oxidovány na kyselinu octovou,  $CO_2$  a  $H_2$ . Během methanogeneze je z určitých jednodušších látek, např. methanol, kyselina mravenčí, methylaminy, spolu s  $H_2$  a  $CO_2$  nebo z kyseliny octové tvořen methan a  $CO_2$ . Vytvořený methan lze následně využít jako zdroj energie. Běžně se anaerobní rozklad využívá pro anaerobní čištění odpadních vod nebo anaerobní stabilizaci kalu, která je často prováděna za zvýšené teploty ( $27 - 60^\circ C$ ), což procesy urychluje a snižuje tak požadavky na objem nádrže, ale zvyšuje energetické nároky. Zároveň je vznikající kal při vyšší teplotě lépe hygienizován, může však dojít ke zhoršení jeho odvodnitelnosti. Anaerobní procesy probíhají při hodnotě pH 6 – 8, optimálně 6,5 – 7,5, a teplotě  $4 - 97^\circ C$ , přičemž optimální rozsahy teploty pro jednotlivé druhy mikroorganismů se liší. Nevýhodou anaerobních procesů je především potřeba dlouhé doby trvání oproti aerobním a tvorba zapáchajících plynů [32, 40].

## **5.4 Kombinované způsoby regenerace vody**

Kombinací, resp. současným průběhem 2 či více způsobů regenerace vody lze dosáhnout vyšší účinnosti odstraňování látek, zkrátit dobu trvání procesů a mohou být sníženy prostorové a energetické nároky. Řadí se mezi ně například filtrace se sorpcí na aktivním uhlí, pomalá filtrace s biologickým oživením na médiu nebo membránové bioreaktory [1, 32, 42].

### **5.4.1 Membránové bioreaktory**

Membránové bioreaktory (MBR) představují kombinaci biologických procesů díky přítomnosti mikroorganismů ve vznosu a membránové filtrace, především mikro- či nanofiltrace. Hlavní nevýhodou je zanášení membrány a energetická náročnost. Výhodou je vysoká účinnost odstraňování látek a nízké prostorové nároky [1, 42].

## 6 Vyhodnocení kvality vody a způsobů regenerace vody

### 6.1 Výhody a nevýhody využití jednotlivých způsobů regenerace vody v kosmu

Fyzikálními a chemickými způsoby regenerace vody lze získat vodu o vysoké kvalitě. Oproti biologickým způsobům je jejich reakce na změnu vstupních hodnot kvality a kvantity vody rychlejší. Jejich požadavky na prostor jsou menší a probíhající procesy trvají kratší dobu, mnohdy však s vyššími energetickými nároky. Jedná se o spolehlivé způsoby regenerace vody, z nichž některé jsou již v kosmu používány. Vznikající vedlejší produkty však nemusejí svými vlastnostmi vyhovovat dalšímu použití, ať už zcela, např. toxicitou, nebo tím, že dále využitelné látky se vyskytují ve formě sloučeniny, kterou by bylo nutno ještě upravovat před jejím dalším použitím. Nevýhodou chemických způsobů je především potřeba doplňování a uskladnění chemikálií. Vzhledem ke své možné hořlavosti, výbušnosti, toxicitě, koroziivním či jinak nevhodným vlastnostem mohou představovat větší bezpečnostní riziko v porovnání s fyzikálními, příp. biologickými způsoby [1].

Biologické způsoby regenerace vody zatím nebyly v kosmu využity. Vyznačují se vysokou citlivostí na změny v přítoku a v udržovaných podmínkách, na kterých závisí i jejich energetická náročnost. Mohou být prostorově náročné a vyžadovat delší dobu trvání procesů. Jejich použití by přinášelo jisté bezpečnostní riziko týkající se jejich selhání, úniků biologického oživení do prostoru kabiny, příp. na kosmické těleso, což je nutno posuzovat i v rámci ekologického a etického hlediska. Dalším problémem jsou možné biologické změny mikroorganismů v důsledku působení radiace a jejich chování při mikrogravitaci či snížené gravitaci. Zároveň by bylo nutné mít k dispozici záložní soubor mikroorganismů, aby po případném selhání mohlo dojít k opětovnému uvedení regeneračního systému do provozu. Výhodou je především využitelnost vznikajících vedlejších produktů [1].

Principy jednotlivých způsobů regenerace vody zásadně ovlivňují jejich možnost využití v kosmu. Mezi hlavní faktory patří jejich spolehlivost, závislost na gravitaci, energetická a prostorová náročnost a bezpečnostní riziko. Vzhledem k nutnosti působení gravitační síly je využití sedimentace, vzplývání, flotace a gravitační filtrace v kosmu poněkud omezené – lze je využít např. na planetární základně na kosmickém tělese s gravitací podobnou zemské. V tom případě by výhodami sedimentace, vzplývání a gravitační filtrace byly jejich energetická nenáročnost, tj. není potřeba dodávat energii navíc, jejich spolehlivost a existence velkého množství zkušeností s jejich využitím na Zemi.

Mezi nevýhody využití flotace v kosmu patří kromě potřeby gravitační síly i energetická náročnost, spotřeba i skladování vzduchu v případě volné a tlakové flotace, a to jak z prostorového, tak bezpečnostního hlediska, v případě elektroflotace výbušnost vodíku a kyslíku. Z prostorového, bezpečnostního a energetického hlediska není tento způsob regenerace vody v kosmu příliš vhodný.

Nevýhodami sedimentace jsou doba trvání, která je prodlužována se snižující se velikostí separovaných částic, prostorové nároky a potřeba klidného prostředí, aby nebyly vnášeny rušivé vlivy okolí, např. způsobené přirozenou či technickou seismicitou. Možnou spotřebu látek zvyšujících účinnost sedimentace (koagulant, flokulant, zatěžkávadlo) lze chápat jako výhodu i nevýhodu s ohledem na jejich požadované chemické složení a přírodní zdroje nalézající se na kosmickém tělese. Jejich použitím jsou však do suspenze vnášeny prvky navíc. Jako nejvhodnější pro použití na kosmické základně se jeví flokulanty přírodní, které by mohly být vedlejším produktem jiného systému, např. potravinového. Zatímco výběr zatěžkávadla by spíše závisel na jeho dostupnosti na kosmickém tělese. Zároveň by bylo nutné řešit zpracování kalu, např. přeměnou na hnojivo.

V kosmu lze využít především tlakovou filtraci, která sice vyžaduje přísun energie, ale vzhledem k možnosti využití při mikrogravitaci je vhodnější. Na rozdíl od současného stavu na ISS, kde jsou používány jednorázové filtry [1], by mělo být v rámci uzavřeného systému zavedeno praní filtrů, ať už kontinuální či jakožto součást filtračního cyklu. Směs vody a vzduchu z praní filtru by měla být dále využita odpovídajícím způsobem dle jejího složení. Filtrace by měla být vícestupňová s různými jednovrstvými filtračními médii pro snazší uspořádání média po praní a případnou výměnu média, zároveň zdroj některého materiálu by mohl být In-Situ. Spolu s mechanickým zachycováním látek by médium mělo umožňovat i sorpci látek. Z bezpečnostního hlediska může v případě nehody či při nesprávné manipulaci s filtračním médiem dojít k úniku tohoto média do prostoru kabiny a do přístrojů, a tím zapříčinit jejich poruchu.

Membránovou filtraci lze považovat za efektivní a poměrně spolehlivý modulární způsob regenerace vody poskytující vodu o vysoké kvalitě. Nevýhodou však může být omezená životnost membrán, jejich náhrada v případě poškození, příp. jejich likvidace, a také energetická náročnost membránové filtrace, která však v porovnání s jinými způsoby regenerace, např. destilací, je dle [36] desetinásobně nižší.

Odstředování je rychlý, prostorově poměrně nenáročný způsob regenerace vody nezávislý na gravitaci, avšak náročnější energeticky. Zároveň vzniká požadavek na vysokou odolnost a životnost mechanických součástí zařízení.

Destilace má vysoké energetické nároky, ale vzhledem k vysoké účinnosti odstraňování látek a nízkým prostorovým nárokům je již v kosmu využívána.

Iontová výměna je spolehlivý, energeticky a prostorově nenáročný proces, kterým lze odstranit cíleně jen několik vybraných iontů či velký rozsah znečištění. Jako vhodnější se jeví využití přírodního ionexu. K nevýhodám iontové výměny patří spotřeba a s tím spojené uskladnění regeneračního činidla a s ohledem na jeho chemické složení i jeho následná obnova, další využití či likvidace.

Výhodami využití UV záření k dezinfekci je jeho vysoká účinnost, nízké prostorové nároky a možnost kombinace s dalšími způsoby regenerace vody. Hlavní nevýhodou je jeho energetická náročnost.

Spalováním lze snížit množství pevného organického odpadu, zbavit ho patogenních organismů a převést do dále použitelné formy. Problematická je však sama podstata procesu z hlediska možné spotřeby kyslíku, nebezpečí vzniku požáru a kouře v kabině plavidla či na planetární základně.

Magnetická úprava vody by mohla sloužit ke zvýšení životnosti zařízení a rozvodu vody. Ale bylo by nutno zamezit ovlivnění okolních zařízení magnetickým polem.

Oxidace a pokročilé oxidační procesy představují účinné a rychlé způsoby odstranění široké škály znečištění a dezinfekce vody. Kromě potřeby příslušných chemikálií a energetické náročnosti jsou nevýhodou i vlastnosti oxidačních činidel, které jsou mj. korozivní, toxické a hořlavé. Zároveň je nutné odstraňovat z odtékající vody přebytek činidla a zdraví škodlivé vedlejší produkty.

Biologické způsoby regenerace vody probíhající za oxických podmínek jsou náročné na spotřebu kyslíku a energie pro nucenou aeraci. V případě využití anaerobních procesů jsou požadavky na energii nižší i vzhledem k možnému dalšímu využití vznikajícího methanu jakožto zdroje energie, avšak doba trvání procesů je delší, čímž by mohl vzniknout vyšší nárok na prostor. V [1, 29] je uvažováno i využití fotolitotrofních organismů k regeneraci vody, tj. organismů, jejichž zdrojem energie je sluneční záření a zdrojem uhlíku je CO<sub>2</sub>. Mezi ně patří fotosyntetizující řasy, sinice a vyšší rostliny [1, 41]. Především by se jednalo o odstraňování fosforu a dusíku z regenerované vody, dále by bylo

spotřebováno CO<sub>2</sub>, produkován kyslík a příp. jedlá biomasa (řasy, salát, rajčata apod.). Potřebné sluneční záření lze nahradit LED osvětlením, jak je tomu u Veggie na ISS [1, 29].

Membránové bioreaktory kombinují výhody i nevýhody biologických způsobů a membránové filtrace. Jejich účinnost a časová, energetická a prostorová náročnost závisí mj. na zvolené membránové filtraci, druzích mikroorganismů a jejich potřebných životních podmínkách.

## 6.2 Kvalita vody na ISS

Systém regenerace vody (WRS) nacházející se v americkém segmentu ISS byl zprovozněn v listopadu 2008. Následně probíhal 90denní kontrolní provoz, během něhož byly odebírány vzorky pro ověření správného fungování WRS a zdravotní nezávadnosti vody. Ke kontrole kvality vody dochází i nadále. Na ISS je jedenkrát týdně stanovována hodnota TOC v regenerované vodě pomocí analyzátoru TOC (TOCA). Přibližně jedenkrát měsíčně jsou odebírány vzorky z dávkovače pitné vody (PWD), které jsou dopravovány zpět na Zemi a vyhodnocovány v laboratořích [43, 44, 45, 46, 47, 48].

Níže jsou posuzovány hodnoty vybraných ukazatelů (Příloha 1) za období:

- 26. 11. 2008 – 23. 11. 2010,
- 11. 2. 2013 – 6. 11. 2013,
- 2. 2. 2015 – 4. 12. 2017.

Odběry vody byly prováděny ze 3 portů PWD:

- horká pitná voda,
- studená pitná voda,
- pomocný port – regenerovaná voda.

Limity vybraných ukazatelů, které jsou využívány pro hodnocení kvality pitné vody na ISS, jsou uvedeny v Tab. 4. Tyto limity se nevztahují k vodě regenerované.



Tab. 4: Limity jednotlivých ukazatelů pitné vody udávané v [6, 43, 44, 45, 46, 47, 48]

	<b>jednotka</b>	<b>limit</b>	<b>dokument</b>
<b>Fyzikální ukazatele</b>			
pH	-	4,5 - 8,5	SSP 41000
zákal	NTU	1	SSP 41000
<b>Chemické ukazatele</b>			
celkový jód	mg/l	0,2	Shuttle Flight Rule A13-30
draslík	mg/l	340	SSP 41000
vápník	mg/l	30	SSP 41000
baryum	µg/l	10000	SWEG (07-2017), SSP 41000
chrom	µg/l	230	SSP 41000
kadmium	µg/l	22	SWEG (07-2017), SSP 41000
měď	µg/l	1000	SSP 41000
nikl	µg/l	300	SWEG (07-2017), SSP 41000
zinek	µg/l	2000	SWEG (07-2017), SSP 41000
železo	µg/l	300	SSP 41000
celkový organický uhlík (TOC)	mg/l	5	SWEG (07-2017)
		3	SSP 41000
dimethylsilanediol (DMSD)	µg/l	25000	SWEG (platný v r. 2013)
		35000	SWEG (07-2017)

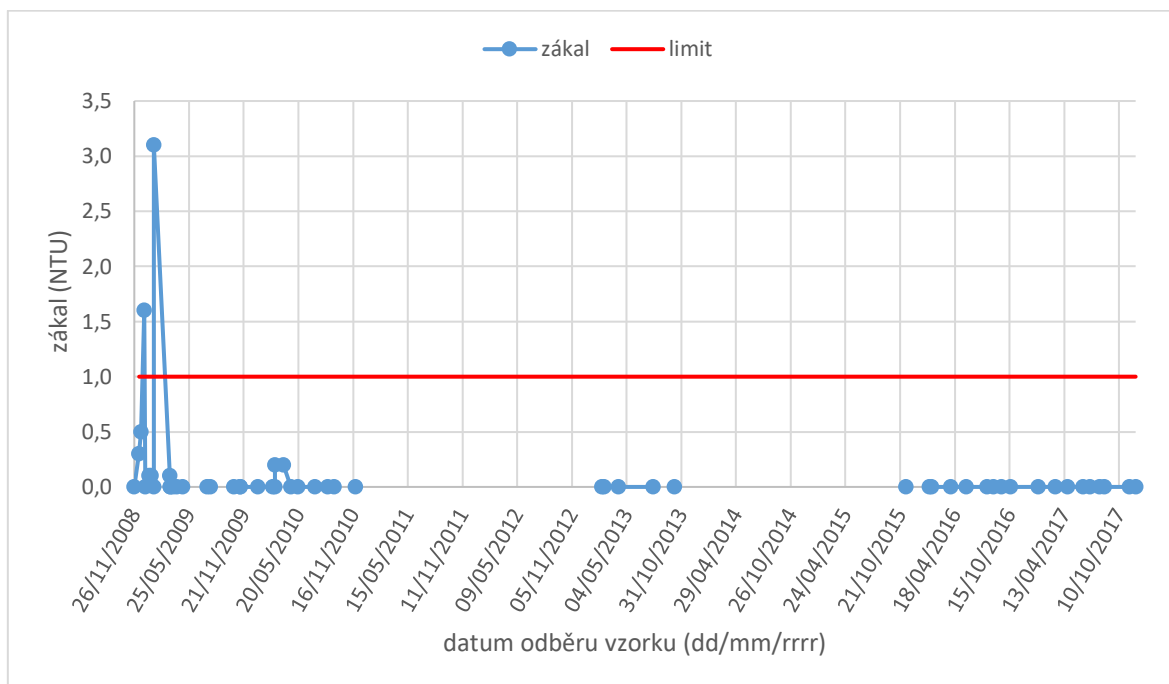
Pozn.: SSP 41000 ... System Specification for the International Space Station;  
SWEG ... Spacecraft Water Exposure Guideline

Kvalita pitné vody je vyhodnocena pro 3 fyzikální (pH, konduktivita, zákal) a 18 chemických ukazatelů (celkový jód, jodidy, draslík, sodík, vápník, baryum, hliník, chrom, kadmium, měď, nikl, zinek, železo, křemík, celkový anorganický uhlík (TIC), TOC, diethylftalát, DMSD). Detekční limity byly ve výpočtech a grafech nahrazeny nulou.

Hodnoty pH (Obr. 31) se nacházely v požadovaném intervalu. Průměrná hodnota pH v letech 2008 – 2010 činila 7,0 a hodnoty kolísaly v rozmezí 5,5 – 8,0. V období 2013 – 2017 se průměrná hodnota snížila na 5,7, hodnoty se pohybovaly nejprve v intervalu 4,5 – 7,0, následně se od listopadu 2015 interval zmenšil na 5,0 – 6,0.



Limitní hodnota zákalu byla překročena pouze ve 2 vzorcích horké pitné vody odebraných během kontrolního provozu zařízení (Obr. 33). Následně se naměřené hodnoty pohybovaly především pod detekčním limitem.

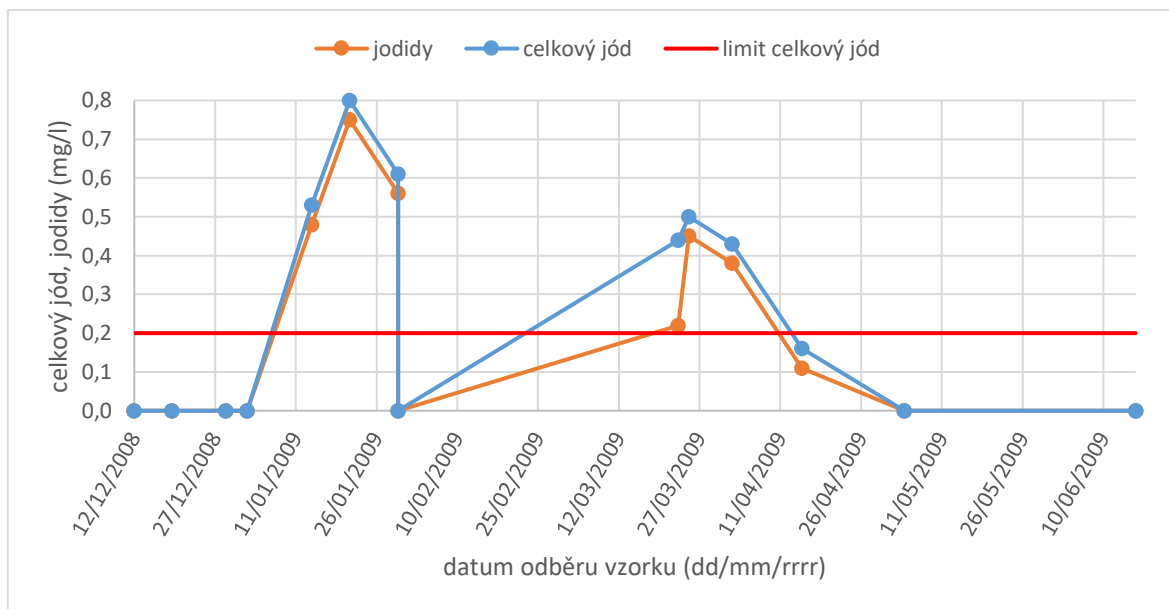


Obr. 33: Průběh zákalu

V prvním půlroce provozu WRS byl několikrát překročen limit pro celkový jód v pitné vodě (Obr. 34). Koncentrace celkového jódu dosáhla hodnoty 0,8 mg/l. V dalších letech již hodnoty nepřesáhly detekční limit 0,05 mg/l. Obdobný průběh se objevuje i u koncentrace jodidů. Regenerovaná voda na rozdíl od pitné vody není v PWD zbavena jodového biocidu, proto vykazuje vyšší koncentrace celkového jódu a jodidů (Tab. 5). Průměrná koncentrace celkového jódu za celé sledované období v regenerované vodě činí 2,26 mg/l, jodidů 1,00 mg/l.

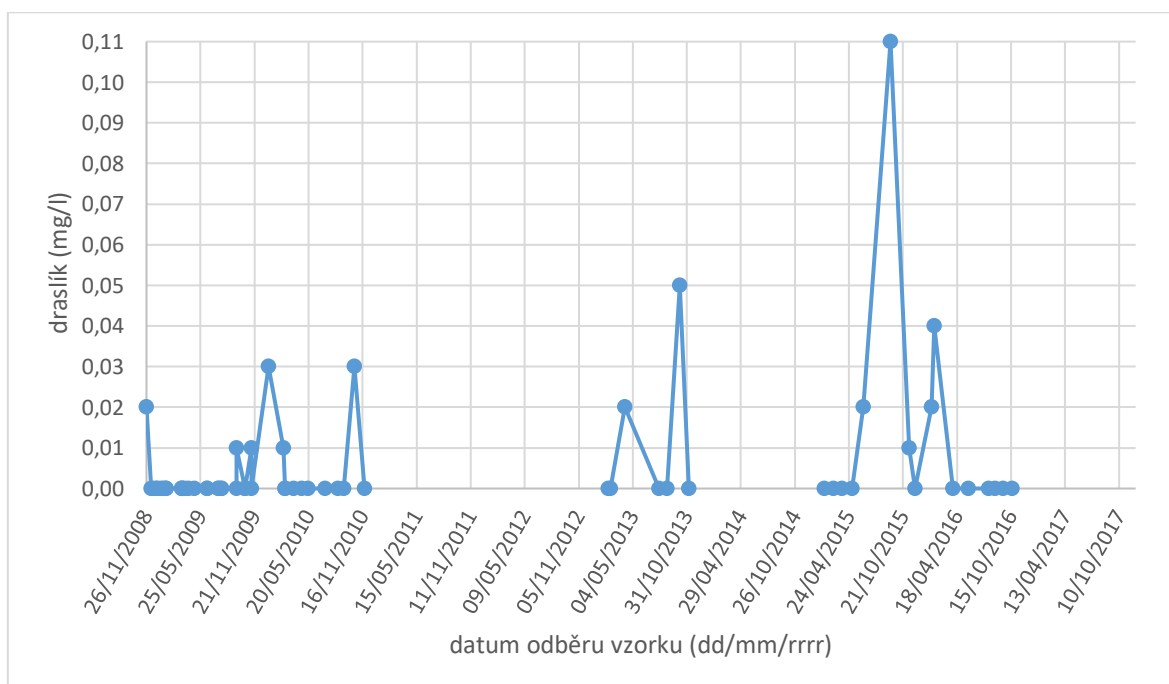
Tab. 5: Koncentrace celkového jódu a jodidů ve vzorcích regenerované vody

expedice	mise	datum odběru vzorku	celkový jód (mg/l)	jodidy (mg/l)
18	ISS ULF2	26. 11. 2008	2,20	1,18
18	ISS 15A	25. 3. 2009	1,83	0,60
23	ISS 19A	25. 2. 2010	2,24	1,13
44	Sojuz 42	10. 9. 2015	3,00	1,58
50	SpaceX-10	14. 3. 2017	2,04	0,52
<b>průměrná hodnota</b>			<b>2,26</b>	<b>1,00</b>

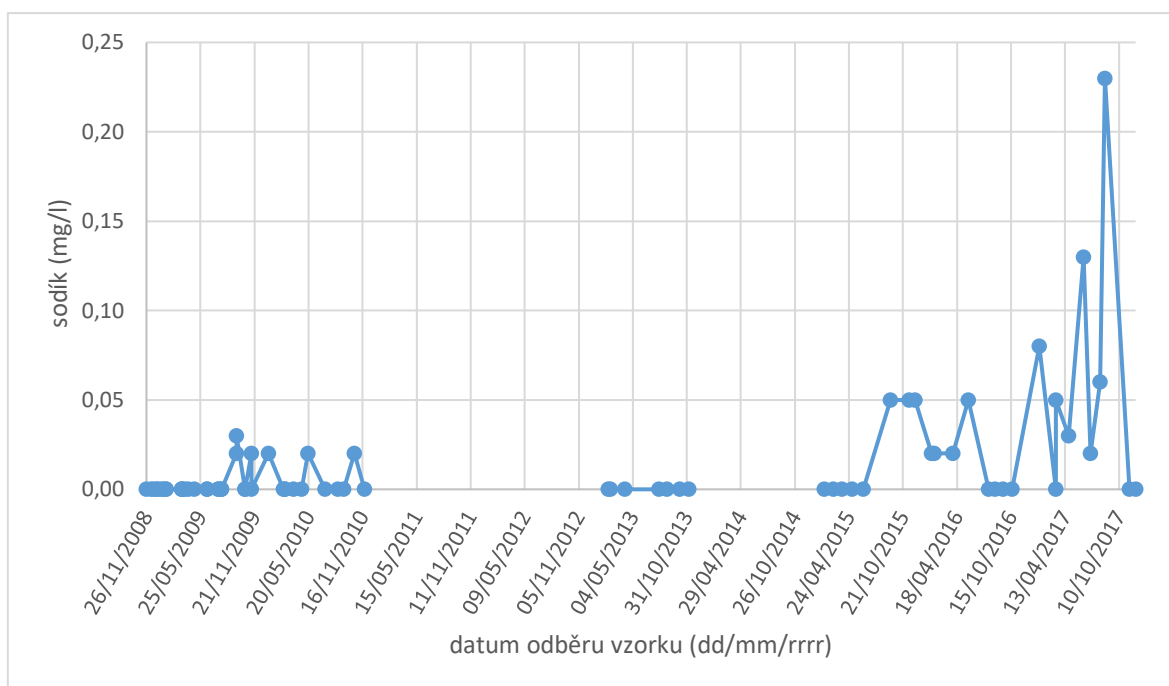


Obr. 34: Průběh koncentrace celkového jódu a jodidů v pitné vodě za období 12.12.2008 – 16.6.2009

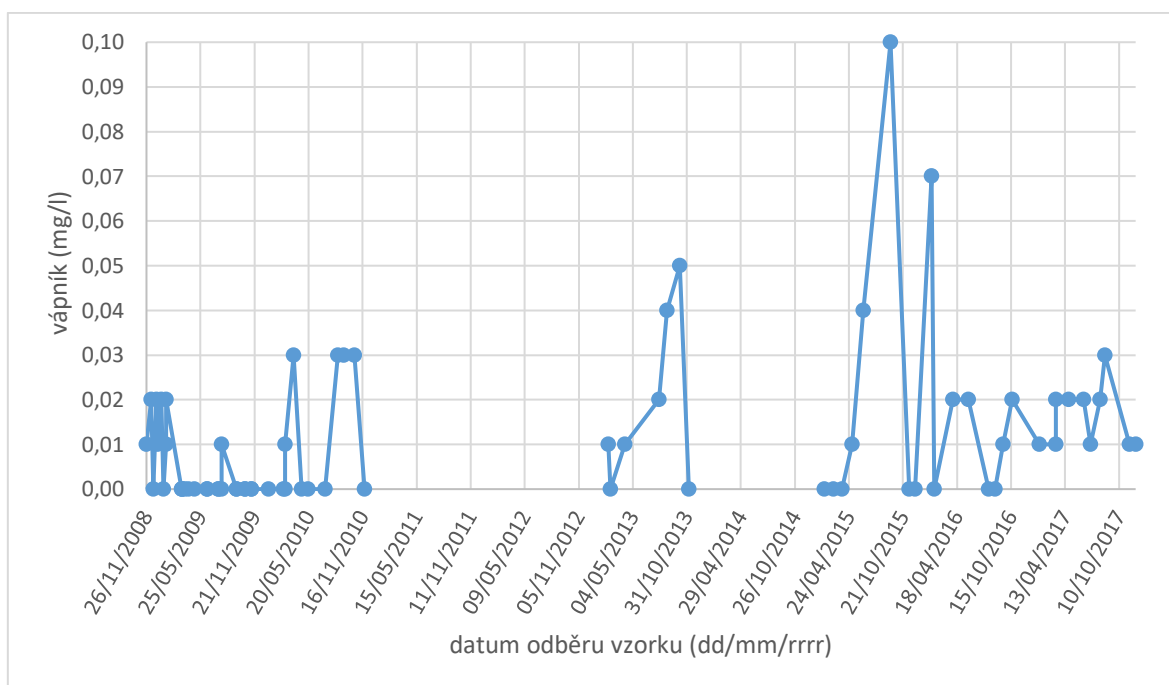
Naměřené koncentrace draslíku a vápníku se nacházely nízko pod udávaným limitem. Limit pro koncentraci sodíku není stanoven. Koncentrace draslíku ve většině vzorků nepřekročila detekční limit (Obr. 35). Maximální koncentrace draslíku byla rovna 0,11 mg/l. Nejvyšší hodnota koncentrace vápníku činila 0,10 mg/l. Obě tato maxima byla naměřena ve vzorku regenerované vody ze září 2015. Od poloviny roku 2015 je pozorován postupný kolísavý nárůst koncentrace sodíku s maximem v srpnu 2017 (Obr. 36). Z Obr. 37 je patrné, že koncentrace vápníku se pohybovaly především v rozmezí 0 – 0,03 mg/l.



Obr. 35: Průběh koncentrace draslíku

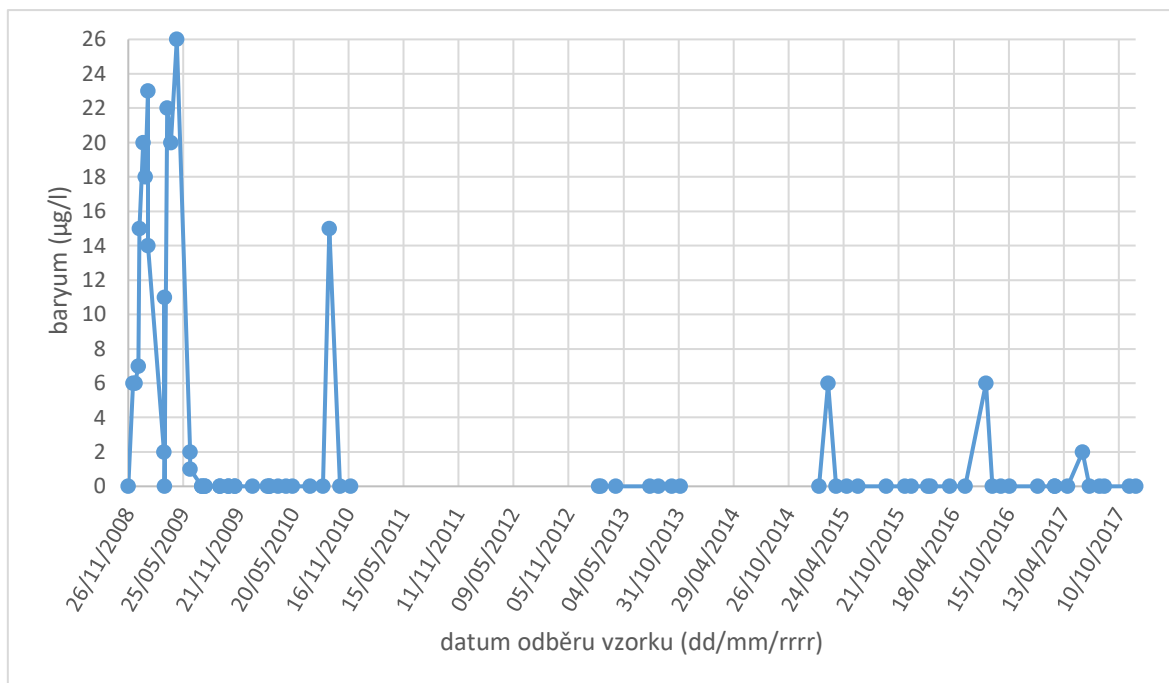


Obr. 36: Průběh koncentrace sodíku



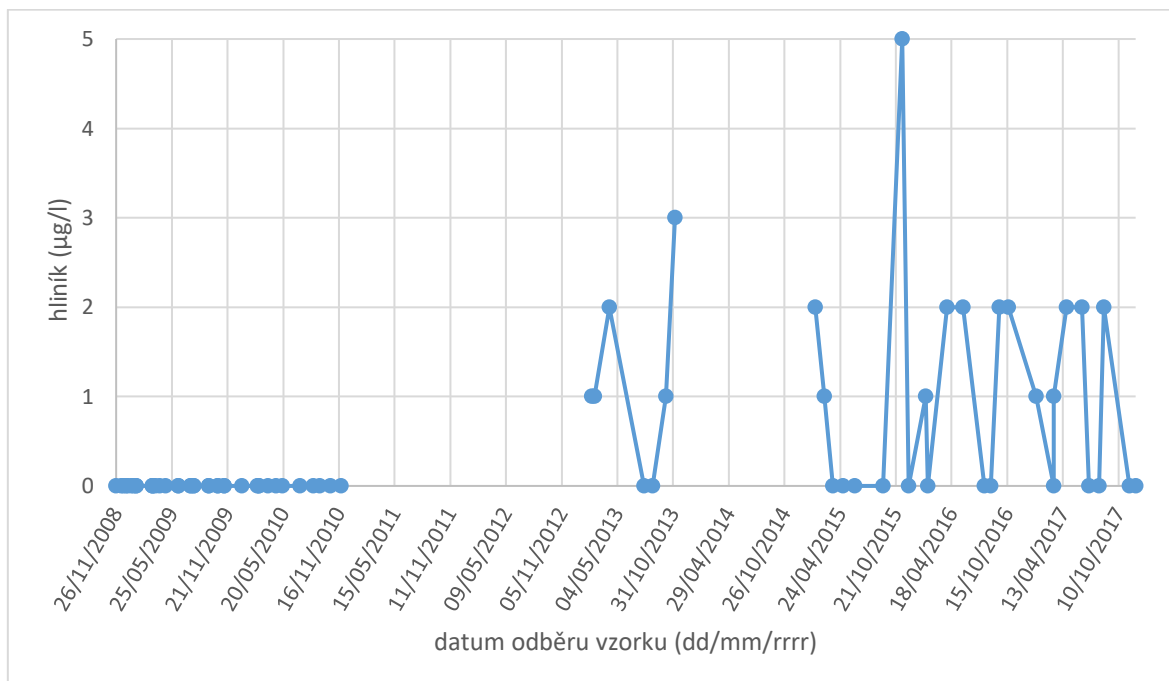
Obr. 37: Průběh koncentrace vápníku

Koncentrace dalších posuzovaných kovů (baryum, chrom, kadmium, měď, nikl, zinek, železo) nepřekročily stanovené limity, pouze hodnoty niklu a železa se mírně příslušnému limitu přiblížily. Od uvedení WRS do provozu do června 2009 docházelo ke kolísání koncentrace barya, následně se hodnoty ustálily pod detekční limit s občasným výskytem hodnoty větší (Obr. 38).



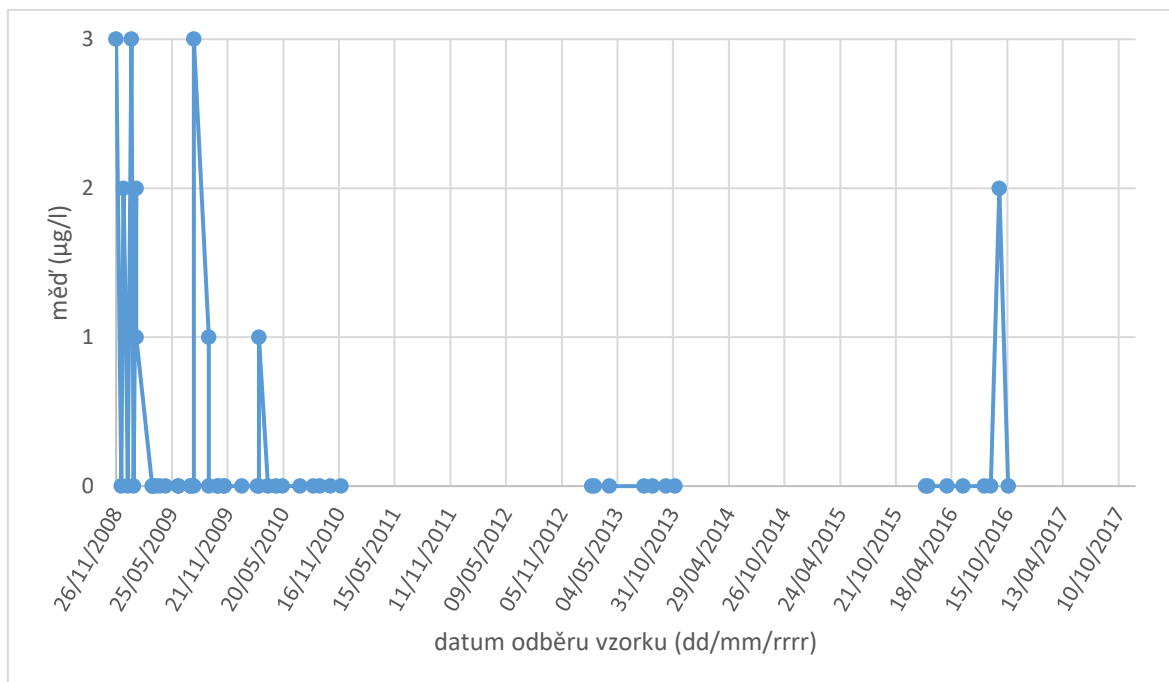
Obr. 38: Průběh koncentrace barya

V letech 2008 – 2010 se koncentrace hliníku pohybovaly pod detekčním limitem 2 µg/l, příp. 4 µg/l, poté byl detekční limit snižen na 1 µg/l, příp. 2 µg/l, čímž bylo zjištěno časté kolísání koncentrace mezi hodnotou pod detekčním limitem a 2 µg/l. Maximum 5 µg/l bylo naměřeno ve vzorku horké pitné vody z listopadu 2015 (Obr. 39).



Obr. 39: Průběh koncentrace hliníku

Koncentrace chromu a kadmia překročily detekční limit za dané období pouze jedenkrát, chrom hodnotou 24  $\mu\text{g/l}$  ve vzorku regenerované vody ze září 2015 a kadmium 1  $\mu\text{g/l}$  ve vzorku studené pitné vody z ledna 2016. Koncentrace mědi dosahovaly nejvýše hodnoty 3  $\mu\text{g/l}$  (Obr. 40).



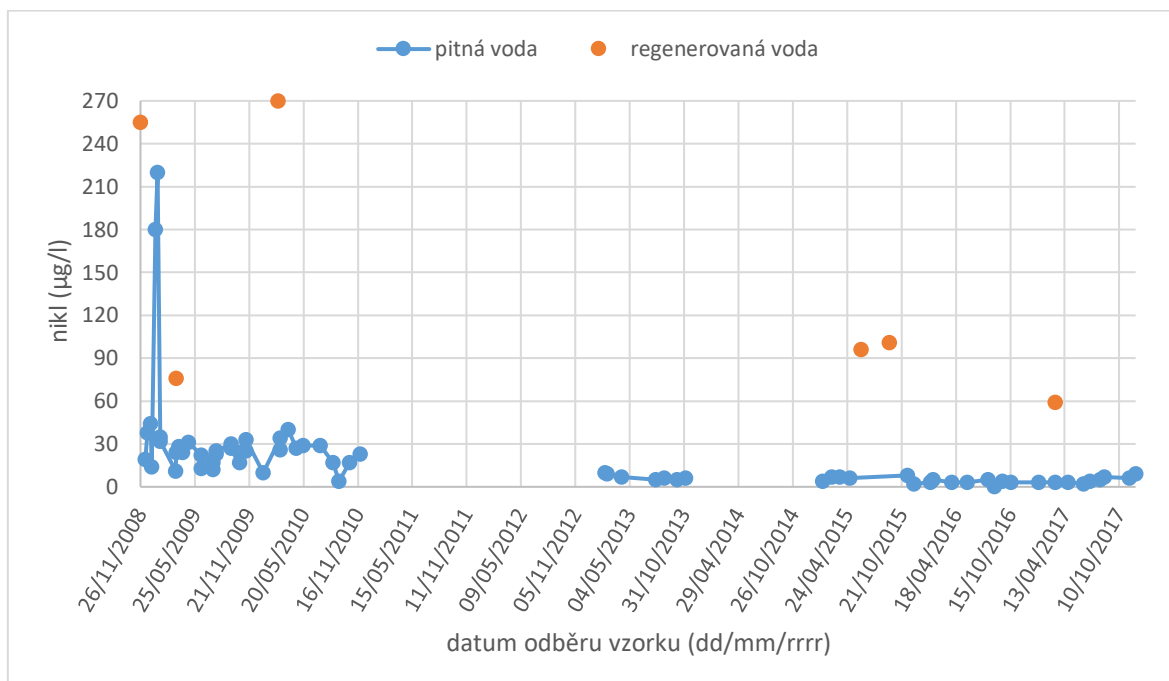
Obr. 40: Průběh koncentrace mědi

Hodnotě limitu pro koncentraci niklu 300  $\mu\text{g/l}$  se nejvíce přiblížily 2 vzorky studené pitné vody z ledna 2009, v nichž byla naměřena koncentrace 180 a 220  $\mu\text{g/l}$  (Obr. 41). Ostatní naměřené hodnoty vyšší než 45  $\mu\text{g/l}$  (s maximem 270  $\mu\text{g/l}$ ) byly zjištěny ve vzorcích regenerované vody. Porovnáním hodnot 2 dvojic vzorků studené pitné a regenerované vody odebraných ve stejný den (Tab. 6) bylo zjištěno, že rozdíly mezi naměřenými koncentracemi niklu činí více jako 200 %. U hodnot ostatních ukazatelů se tato rozdílnost mezi pitnou a regenerovanou ani mezi studenou a horkou pitnou vodou nevyskytuje. V případě neuvažování hodnot koncentrace niklu regenerované vody a 2 nejvyšších hodnot pitné vody činila průměrná koncentrace niklu v letech 2008 – 2010 24  $\mu\text{g/l}$ , poté klesla na 5  $\mu\text{g/l}$ .



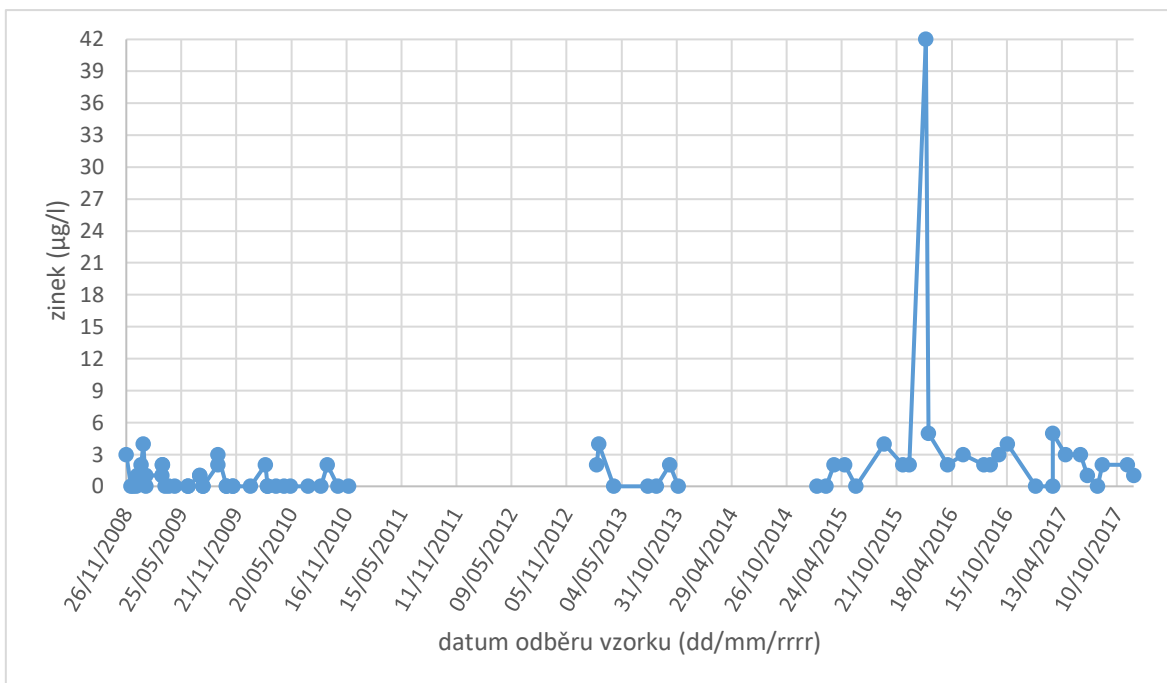
Tab. 6: Porovnání koncentrace niklu ve vzorcích studené pitné a regenerované vody odebraných ve stejný den

expedice	mise	datum odběru vzorku	voda	nikl (µg/l)
18	ISS 15A	25. 3. 2009	studená pitná	24
18	ISS 15A	25. 3. 2009	regenerovaná	76
<b>rozdíl (%)</b>				217
50	Sojuz 48	14. 3. 2017	studená pitná	3
50	SpaceX-10	14. 3. 2017	regenerovaná	59
<b>rozdíl (%)</b>				1867



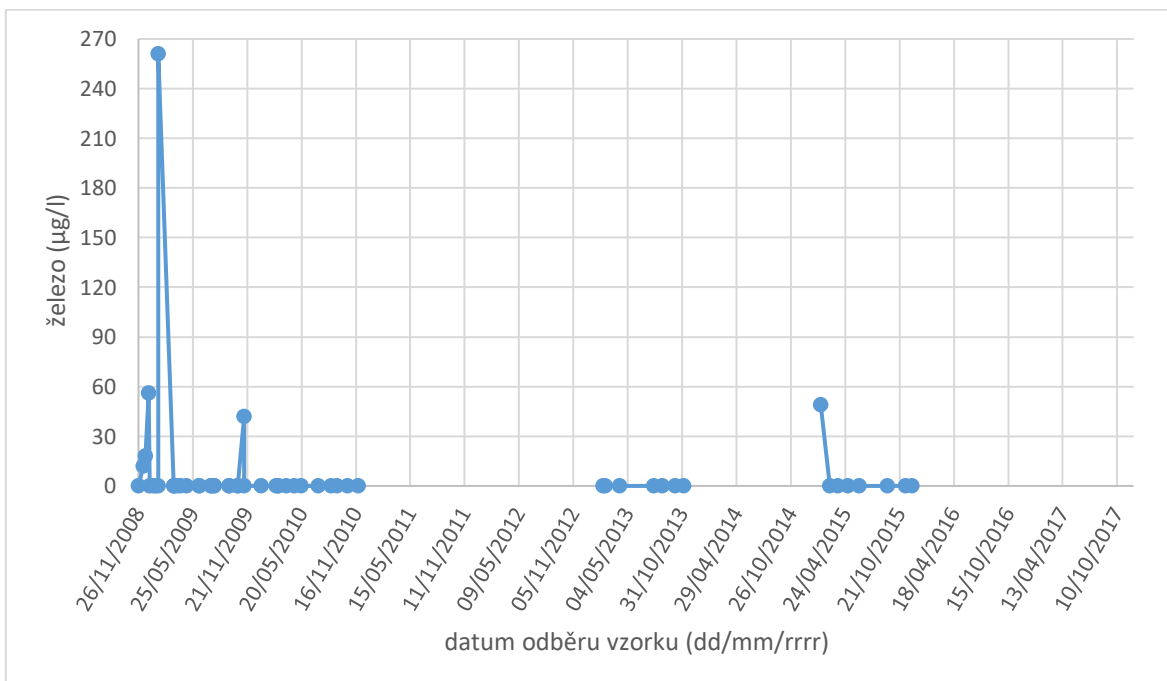
Obr. 41: Průběh koncentrace niklu

Koncentrace zinku nepřesáhla hodnotu 5 µg/l kromě vzorku z ledna 2016, v němž koncentrace dosáhla hodnoty 42 µg/l (Obr. 42). Průměrná hodnota za celé dané období při zanedbání maximální hodnoty vychází 1,2 µg/l.



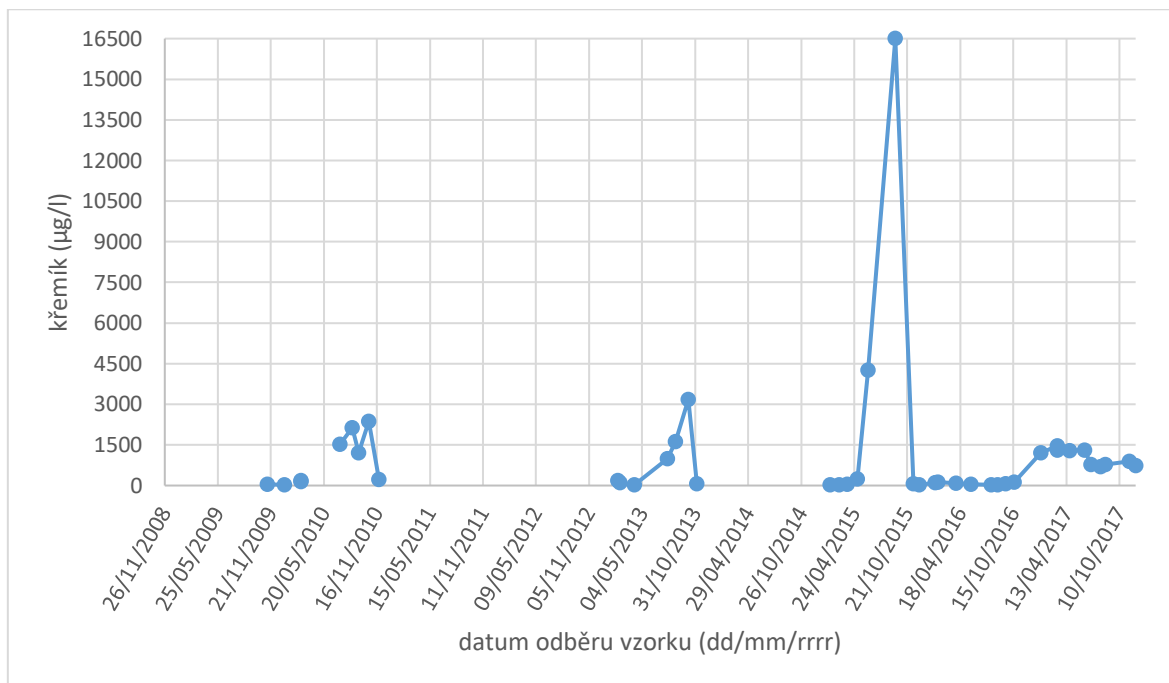
Obr. 42: Průběh koncentrace zinku

Ve většině vzorků se koncentrace železa pohybovala pod detekčním limitem, pouze na počátku provozu WRS, dále pak v listopadu 2009 a v únoru 2015 se vyskytly hodnoty větší. Maximum rovné 261 µg/l nastalo na konci ledna 2009 a přiblížilo se stanovené limitní hodnotě koncentrace železa 300 µg/l (Obr. 43).



Obr. 43: Průběh koncentrace železa

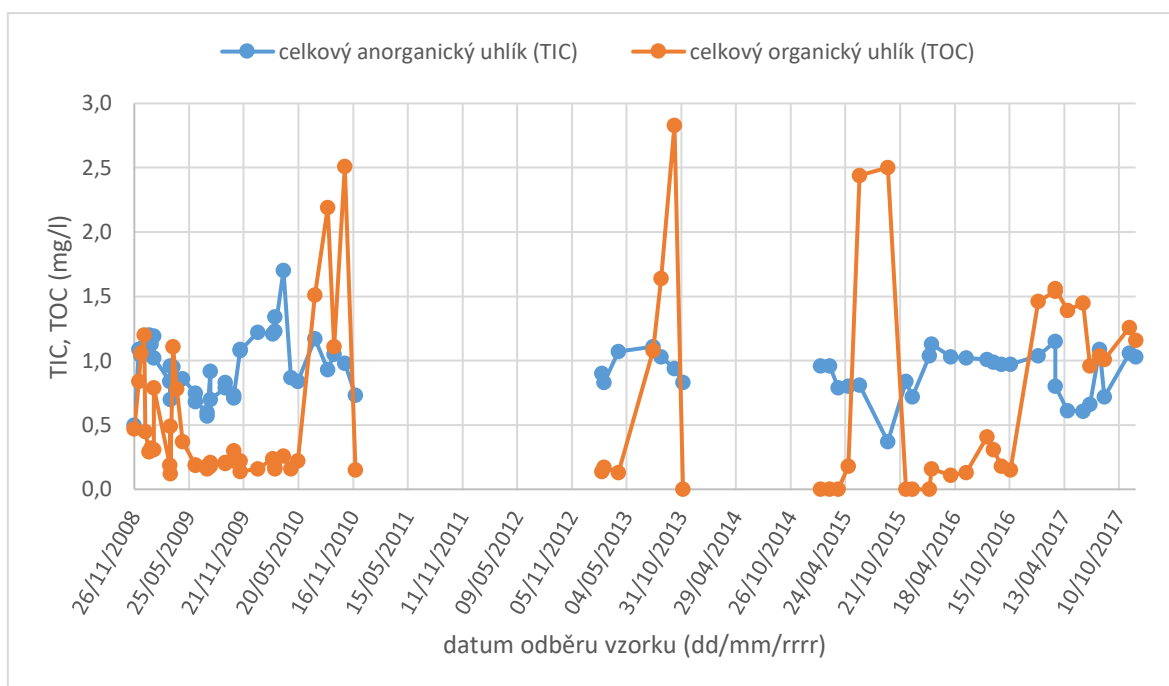
Pro koncentraci křemíku není limit stanoven. Nejvyšší hodnota rovna 16500  $\mu\text{g/l}$  byla zaznamenána v září 2015 ve vzorku regenerované vody (Obr. 44). Průběh koncentrace křemíku je podobný průběhu TOC a také DMSD, který je udáván jako jedna z hlavních látek zodpovědných za zvýšené hodnoty TOC do roku 2015 a poté opět od jara 2017. Je předpokládáno, že v r. 2015 bylo zvýšení TOC způsobeno monomethylsilanetriolem, což je látka podobná DMSD, ale méně toxická [44, 45].



Obr. 44: Průběh koncentrace křemíku

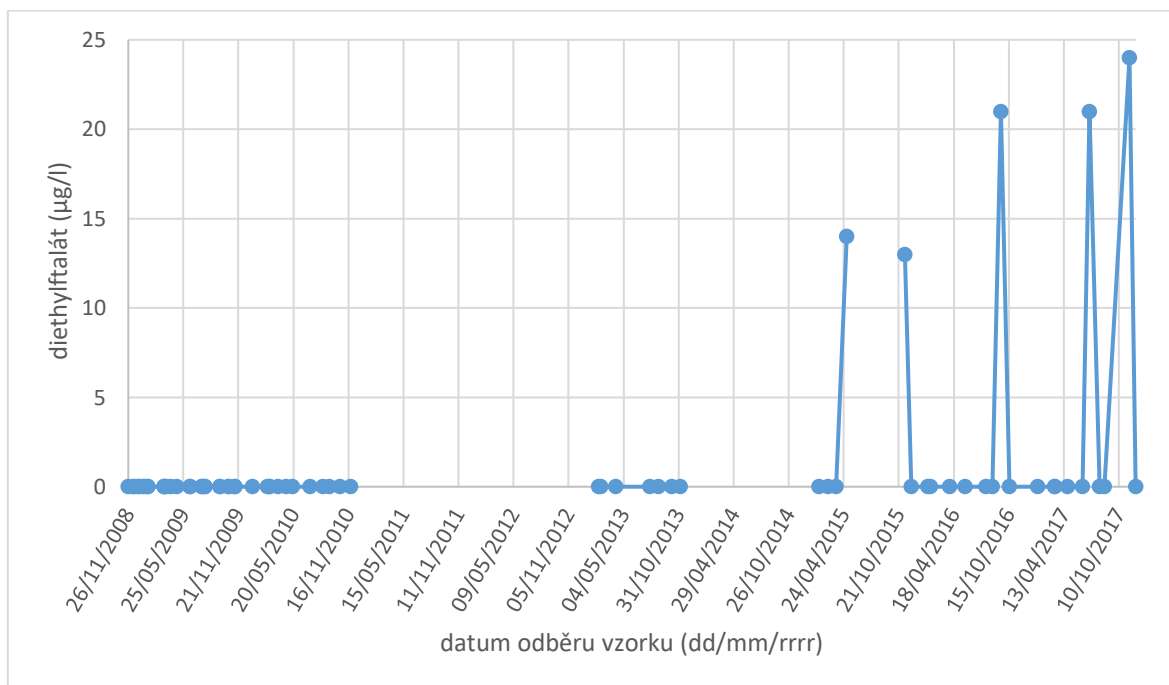
Nejvyšší zaznamenanou hodnotou TOC bylo 2,83 mg/l ve vzorku studené pitné vody z října 2013 (Obr. 45). Tato hodnota se přiblížila limitu 3 mg/l daného SSP 41000. Další vysoké hodnoty se vyskytly v létě 2015. Za účelem snížit hodnoty TOC byly začátkem října 2015 vyměněny filtrační média multifiltrace a také iontová výměna [45]. Poté klesly hodnoty TOC pod detekční limit 0,10 mg/l, a to až do ledna 2016. Začátkem roku 2017 koncentrace TOC opět výrazně vzrostla, přibližně na 1,50 mg/l, poklesla až v polovině roku. Průměrná hodnota za celé období činila 0,63 mg/l.

Limit pro TIC není stanoven. Od výskytu maxima 1,70 mg/l na konci března 2010 se hodnoty TIC pohybovaly pod 1,20 mg/l. Minimum TIC nastalo v září 2015 a bylo rovno 0,37 mg/l. Průměrná hodnota za celé období je 0,93 mg/l.



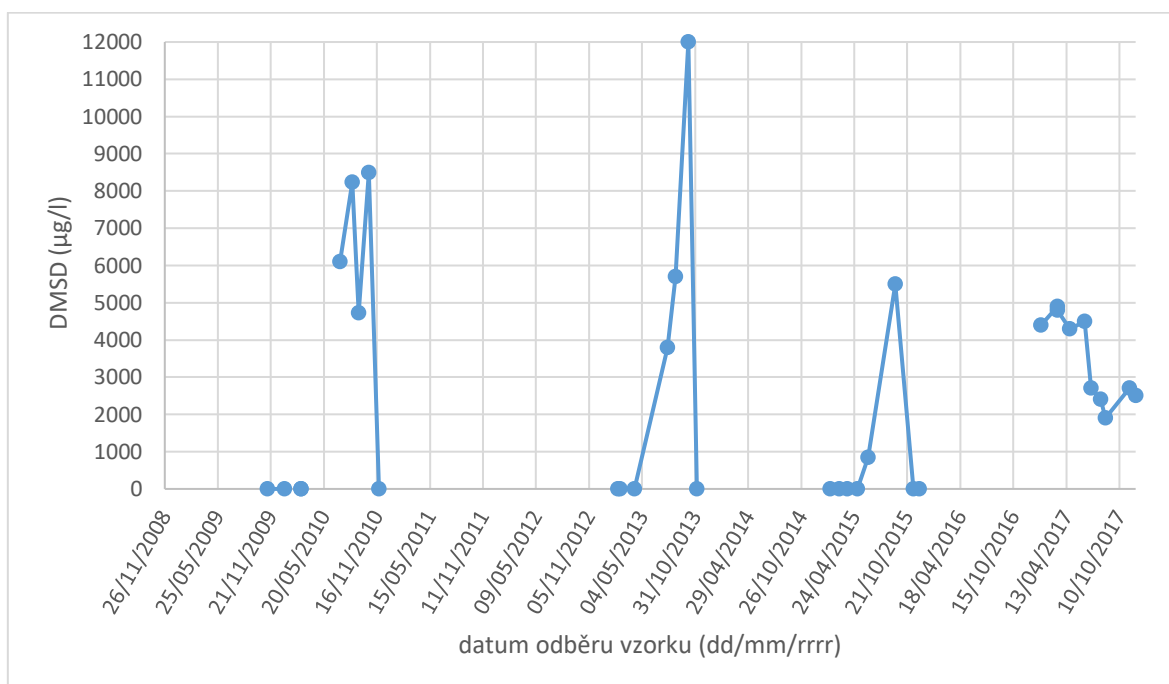
Obr. 45: Průběh TIC a TOC

Hodnoty diethylftalátu větší než detekční limit se objevovaly od května 2015. Na konci pozorovaného období v listopadu 2017 nastalo maximum s hodnotou 24 µg/l (Obr. 46). Limit pro diethylftalát není stanoven.



Obr. 46: Průběh koncentrace diethylftalátu

Hodnoty dimethylsilanediolu nepřekročily limit. Průběh koncentrace DMSD je silně kolísavý, největší koncentrace se vyskytla v říjnu 2013 ve vzorku studené pitné vody a činila 12000  $\mu\text{g/l}$  (Obr. 47).



Obr. 47: Průběh koncentrace dimethylsilanediolu

Výkyvy koncentrací jednotlivých ukazatelů mohly být způsobeny především změnou vstupních hodnot do WRS, které však pro porovnání nejsou dostupné. Kolísání kvality vody se projevovalo zejména v prvním půlroce provozu WRS oproti očekávaným 90 dnům kontrolního provozu. K výraznějšímu zhoršení kvality vody došlo v roce 2015, kvůli čemuž bylo přistoupeno k výměně multifiltrace a iontové výměny. Další zvýšení koncentrací znečištění je patrné na konci sledovaného období v roce 2017 [44, 45].

Dlouhodobým problémem je DMSD, který zvyšuje hodnotu TOC a vzniká při rozkladu organokřemičitých sloučenin obsažených převážně v hygienických potřebách. Jeho zvýšená koncentrace v pitné vodě může způsobovat poruchy gastrointestinálního traktu. Problematické se jeví vyšší koncentrace niklu, který může vyvolávat imunosupresi, tj. snížení imunity, a koncentrace diethylftalátu, který je hematotoxický a jehož zvýšené koncentrace mohou způsobit poruchy funkce endokrinní soustavy [8, 18, 49, 50].

Oproti tomu draslík, sodík a vápník, které se řadí mezi zdravotně důležité prvky, se v pitné vodě vyskytují v nízkých koncentracích. Draslík a sodík jsou intracelulární kationty podílející se na elektrických dějích na buněčných membránách a na udržení objemu tělesné tekutiny, proto by jejich nízké koncentrace mohly neblaze ovlivňovat funkce nervové

soustavy a také svalovou činnost včetně srdeční. Vápník je biogenním prvkem nacházejícím se především v kostech. Jeho nedostatek v krvi, tzv. hypokalcemie, se může projevit brněním prstů a obličeje až svalovými křečemi, např. rukou, nohou či hlavy. S ohledem na tato zdravotní rizika musejí být tyto prvky přijímány členy posádky z jiného zdroje, kterým je jídlo [3, 50].

## 7 Terminologie

Použitá terminologie je uvedena abecedně dle anglického, případně ruského pojmu v Tab. 7 a dle českého pojmu v Tab. 8. Pro účely této práce byly pojmy kosmická loď a kosmická stanice sjednoceny pod pojem kosmické plavidlo.

Tab. 7: Terminologie anglicko, příp. rusko – česky

<b>zkratka</b> <b>anglicky /</b> <b>rusky</b>	<b>anglicky / rusky</b>	<b>česky</b>
AMCILS	Advanced Microgravity Compatible Integrated Laundry System	pokročilý mikrogravitační kompatibilní jednotný prací systém
AOPs	Advanced Oxidation Processes	pokročilé oxidační procesy
ARFTA	Advanced Recycle Filter Tank Assembly	sestava pokročilých recyklačních filtračních nádrží
	Air System	vzduchový systém
	Airlock	přechodová komora
	– / Astrofizičeskij modul'	astrofyzikální modul
BEAM	Bigelow Expandable Activity Module	nafukovací modul od firmy Bigelow Aerospace
	Biomass Subsystem	subsystém biomasy
	Carbon Dioxide Reduction System	systém redukce CO <sub>2</sub>
CDRA	Carbon Dioxide Removal Assembly	sestava na odstraňování CO <sub>2</sub>
CCAAs	Common Cabin Air Assemblies	sestavy na úpravu vzduchu v kabině
	Condensate Tank	nádrž na kondenzát
	Core Module, Base Block / Bazovyj blok	základní modul
	Crew	posádka
DMSD	Dimethylsilanediol	dimethylsilanediol
DA	Distillation Assembly	destilační sestava
DC / SO	Docking Compartment / Stykovočnyj otek	stykovací modul
	Early Planetary Base	raná planetární základna
ECLSS	Environmental Control and Life Support Systems	systémy zabezpečení a kontroly životních podmínek
EMC	Environmental Monitoring and Control	systém monitorování a kontroly životních podmínek
	European Research Laboratory Columbus	evropská výzkumná laboratoř Columbus
ESA	European Space Agency	Evropská kosmická agentura
EVA Support	Extravehicular Activity Support	podpora při aktivitách mimo plavidlo



<b>zkratka</b> <b>anglicky /</b> <b>rusky</b>	<b>anglicky / rusky</b>	<b>česky</b>
EMU	Extravehicular Mobility Unit	kosmický skafandr
	Extravehicular Mobility Unit Sublimator	sublimátor kosmického skafandru
FCPA	Fluids Control and Pump Assembly	sestava kontroly a čerpání kapalin
	Food	jídlo, potravinový, potravinový systém
FCB / FGB	Functional Cargo Block / Funkcionalnyj gruzovoj blok	funkčně nákladní blok
	Habitation	obytný prostor
ISRU	In-Situ Resource Utilization	využití zdrojů In-Situ
ITS	Integrated Truss Structure	příhradový nosník
ISS	International Space Station	Mezinárodní kosmická stanice
ICWCs	Iodinated Contingency Water Containers	jodované nouzové vodní kontejnery
	– / Issledovatel'skij modul'	výzkumný modul
JEM	Japanese Experiment Module Kibo (Hope)	japonský experimentální modul Kibo (Naděje)
JAL	Joint Airlock Quest	společná přechodová komora Quest
LSS	Life Support System	systém zabezpečení životních podmínek
	Mature Planetary Base	vyspělá planetární základna
	Medical Systems	lékařské systémy
MBR	Membrane Bioreactor	membránový bioreaktor
MELiSSA	Micro-Ecological Life Support System Alternative	mikro-ekologická varianta systému zabezpečení životních podmínek
MRM / MIM	Mini-Research Module / Malyj ispytatel'nyj modul'	malý vědecký modul
	– / OK Mir	Mir Space Station / Orbital'nyj kompleks Mir
	– / Modul' doosnaščeniya	modul dovybavení
MLS	Mostly Liquid Separator	odlučovač kapalin
MF	Multifiltration	multifiltrace
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
	– / Optičeskij modul'	optický modul
OGS	Oxygen Generation System	systém generování kyslíku
	Payload	užitečné zatížení
PMM	Permanent Multipurpose Module	permanentní víceúčelový modul
PWD	Potable Water Dispenser	dávkovač pitné vody
	Power	energetický systém

<b>zkratka</b> <b>anglicky /</b> <b>rusky</b>	<b>anglicky / rusky</b>	<b>česky</b>
PCPA	Pressure Control and Pump Assembly	sestava čerpání a kontroly tlaku
PMA	Pressurized Mating Adapters	přechodové tunely
	Propulsion	pohon
	Radiation Protection	ochrana proti záření
	Russian Rodnik Tank	ruská nádrž Rodnik (Pramen)
- / EDV	Russian Urine Container	ruský kontejner na moč
	Scientific and Airlock Module / Stykovočno-technologičeskij modul'	stykovací a technologický modul
SPA	Separator Plumbing Assembly	sestava oddělovacího vedení
SM	Service Module	obslužný modul
SWEGs	Spacecraft Water Exposure Guidelines	kvalitativní limity pitné vody pro posádku dle doby jejich expozice
	Thermal System	tepelný systém
TIC	Total Inorganic Carbon	celkový anorganický uhlík
TOC	Total Organic Carbon	celkový organický uhlík
TOCA	Total Organic Carbon Analyzer	analyzátor TOC
	Transit Mission	tranzitní mise
	U.S. Laboratory Module Destiny	americký laboratorní modul Destiny (Osud)
UWMS	Universal Waste Management System	univerzální systém odpadového hospodářství
UPA	Urine Processor Assembly	sestava na zpracování moči
Veggie	Vegetable Production System	systém pěstování plodin
WHC	Waste and Hygiene Compartment	úsek odpadu a hygieny
WMC	Waste Management Compartment	úsek odpadového hospodářství
	Waste System	odpadní systém
WSTA	Wastewater Storage Tank Assembly	sestava skladovacích nádrží na odpadní vodu
WPA	Water Processor Assembly	sestava na zpracování vody
WRS	Water Recovery System	systém regenerace vody
RSTs	Water Resupply Tanks	zásobní vodní nádrže
	Water System	vodní systém
	WPA Waste Tank	odpadní nádrž sestavy na zpracování vody (odpadní nádrž WPA)

Tab. 8: Terminologie česko – anglicky, příp. rusky

<b>česky</b>	<b>zkratka anglicky / rusky</b>	<b>anglicky / rusky</b>
americký laboratorní modul Destiny (Osud)		U.S. Laboratory Module Destiny
analyzátor TOC	TOCA	Total Organic Carbon Analyzer
astrofyzikální modul		– / Astrofizičeskij modul'
celkový anorganický uhlík	TIC	Total Inorganic Carbon
celkový organický uhlík	TOC	Total Organic Carbon
dávkovač pitné vody	PWD	Potable Water Dispenser
destilační sestava	DA	Distillation Assembly
dimethylsilanediol	DMSD	Dimethylsilanediol
energetický systém		Power
Evropská kosmická agentura	ESA	European Space Agency
evropská výzkumná laboratoř Columbus		European Research Laboratory Columbus
funkčně nákladní blok	FCB / FGB	Functional Cargo Block / Funkcionalnyj gruzovoj blok
japonský experimentální modul Kibo (Naděje)	JEM	Japanese Experiment Module Kibo (Hope)
jídlo, potraviny, potravinový systém		Food
jodované nouzové vodní kontejnery	ICWCs	Iodinated Contingency Water Containers
kosmická stanice Mir	– / OK Mir	Mir Space Station / Orbital'nyj kompleks Mir
kosmický skafandr	EMU	Extravehicular Mobility Unit
kvalitativní limity pitné vody pro posádku dle doby jejich expozice	SWEGs	Spacecraft Water Exposure Guidelines
lékařské systémy		Medical Systems
malý vědecký modul	MRM / MIM	Mini-Research Module / Malyj ispytatel'nyj modul'
membránový bioreaktor	MBR	Membrane Bioreactor
Mezinárodní kosmická stanice	ISS	International Space Station
mikro-ekologická varianta systému zabezpečení životních podmínek	MELiSSA	Micro-Ecological Life Support System Alternative
modul dovybavení		– / Modul' doosnaščeniya
multifiltrace	MF	Multifiltration
nádrž na kondenzát		Condensate Tank
nafukovací modul od firmy Bigelow Aerospace	BEAM	Bigelow Expandable Activity Module
Národní úřad pro letectví a kosmonautiku	NASA	National Aeronautics and Space Administration
obslužný modul	SM	Service Module

<b>česky</b>	<b>zkratka anglicky / rusky</b>	<b>anglicky / rusky</b>
obytný prostor		Habitation
ochrana proti záření		Radiation Protection
odlučovač kapalin	MLS	Mostly Liquid Separator
odpadní nádrž sestavy na zpracování vody (odpadní nádrž WPA)		WPA Waste Tank
odpadní systém		Waste System
optický modul		– / Оптиčeskij modul'
permanentní víceúčelový modul	PMM	Permanent Multipurpose Module
podpora při aktivitách mimo plavidlo	EVA Support	Extravehicular Activity Support
pohon		Propulsion
pokročilé oxidační procesy	AOPs	Advanced Oxidation Processes
pokročilý mikrogravitační kompatibilní jednotný prací systém	AMCILS	Advanced Microgravity Compatible Integrated Laundry System
posádka		Crew
přechodová komora		Airlock
přechodové tunely	PMA	Pressurized Mating Adapters
příhradový nosník	ITS	Integrated Truss Structure
raná planetární základna		Early Planetary Base
ruská nádrž Rodnik (Pramen)		Russian Rodnik Tank
ruský kontejner na moč	– / EDV	Russian Urine Container
sestava čerpání a kontroly tlaku	PCPA	Pressure Control and Pump Assembly
sestava kontroly a čerpání kapalin	FCPA	Fluids Control and Pump Assembly
sestava na odstraňování CO <sub>2</sub>	CDRA	Carbon Dioxide Removal Assembly
sestava na zpracování moči	UPA	Urine Processor Assembly
sestava na zpracování vody	WPA	Water Processor Assembly
sestava oddělovacího vedení	SPA	Separator Plumbing Assembly
sestava pokročilých recyklačních filtračních nádrží	ARFTA	Advanced Recycle Filter Tank Assembly
sestava skladovacích nádrží na odpadní vodu	WSTA	Wastewater Storage Tank Assembly
sestavy na úpravu vzduchu v kabině	CCAAs	Common Cabin Air Assemblies
společná přechodová komora Quest	JAL	Joint Airlock Quest
stykovací a technologický modul		Scientific and Airlock Module / Stykovočno-technologičeskij modul'
stykovací modul	DC / SO	Docking Compartment / Stykovočnyj otsek
sublimátor kosmického skafandru		Extravehicular Mobility Unit Sublimator

<b>česky</b>	<b>zkratka anglicky / rusky</b>	<b>anglicky / rusky</b>
subsystém biomasy		Biomass Subsystem
systém generování kyslíku	OGS	Oxygen Generation System
systém monitorování a kontroly životních podmínek	EMC	Environmental Monitoring and Control
systém pěstování plodin	Veggie	Vegetable Production System
systém redukce CO <sub>2</sub>		Carbon Dioxide Reduction System
systém regenerace vody	WRS	Water Recovery System
systém zabezpečení životních podmínek	LSS	Life Support System
systémy zabezpečení a kontroly životních podmínek	ECLSS	Environmental Control and Life Support Systems
tepelný systém		Thermal System
tranzitní mise		Transit Mission
univerzální systém odpadového hospodářství	UWMS	Universal Waste Management System
úsek odpadového hospodářství	WMC	Waste Management Compartment
úsek odpadu a hygieny	WHC	Waste and Hygiene Compartment
užitečné zatížení		Payload
vodní systém		Water System
vyspělá planetární základna		Mature Planetary Base
využití zdrojů In-Situ	ISRU	In-Situ Resource Utilization
výzkumný modul		– / Issledovatel'skij modul'
vzduchový systém		Air System
základní modul		Core Module, Base Block / Bazovyj blok
zásobní vodní nádrže	RSTs	Water Resupply Tanks

## 8 Závěr

Na vodní hospodářství lze pohlížet jako na multidisciplinární obor zahrnující různá hlediska (konstrukční, chemické, zdravotní, psychologické, environmentální, ...), jejichž nároky se mnohdy liší. Proto je i tato práce zaměřena na tvorbu uceleného multidisciplinárního základu s cílem ukázat poněkud specifické odvětví vodního hospodářství spojené s kosmickými misemi a pobytem lidské posádky v kosmických plavidlech.

Voda je využívána posádkou, pro technické účely i jako možný zdroj kyslíku. Její kvalita a kvantita jsou přizpůsobeny požadavkům příslušné mise a zároveň závisejí na vybavenosti daného kosmického plavidla. V případě dlouhodobých misí na velké vzdálenosti vznikají minimálně 2 nové účely využití vody, a to spotřeba vody na pěstování plodin a na praní prádla. Zatímco pěstování plodin již v malé míře na ISS probíhá, přístroj na praní prádla vodou při mikrogravitaci byl otestován při Zero-G letu teprve před několika lety [5, 6, 14, 27].

Hospodaření s vodou je zajišťováno vodním systémem, který je součástí systému zabezpečení životních podmínek. Vodní systém provozovaný v současné době na ISS se řadí mezi částečně uzavřené systémy. Dochází k regeneraci přibližně 90 % vody pomocí systému regenerace vody, který je tvořen sestavou na zpracování moči a sestavou na zpracování vody. Pro mise na Mars je však vyžadováno vytvoření uzavřeného systému s účinností přibližně 98 % zahrnujícího i obnovu nutričně důležitých prvků. Jako možné zdroje vody jsou uvažovány kondenzát vlhkosti, voda ze Sabatierova reaktoru, užitková voda, směs moči a vody na splachování, fekálie a organický odpad. V případě existence planetární základny lze pro doplnění systému využít i zdroje In-Situ, tj. nacházející se na kosmickém tělese [1, 4, 5, 18].

K regeneraci vody v kosmu mohou sloužit klasické i nové způsoby úpravy a čištění vody. Jednotlivé způsoby regenerace vody byly v této práci posuzovány s ohledem na jejich spolehlivost, závislost na gravitaci, energetickou a prostorovou náročnost a bezpečnostní riziko jejich využití v kosmu. Jako vhodné se jeví využití membránových technologií, včetně membránových bioreaktorů zahrnujících i biologické procesy, a také UV záření i s možností propojení s pokročilými oxidačními procesy.

Dále byla zhodnocena kvalita vody odebírané z dávkovače pitné vody na ISS v letech 2008 – 2017. Hodnoty vybraných ukazatelů se pohybovaly pod stanovenými limity vyjma

celkového jódu a zákalu. Limitu se přiblížily koncentrace niklu, železa a TOC, které bylo způsobeno převážně vysokými koncentracemi DMSD [44, 45].

V Tab. 9 jsou uvedeny limity ukazatelů pitné vody na ISS a pitné vody v ČR dané vyhláškou č. 252/2004 Sb., z nichž je patrné, že limity stanovené pro ISS jsou oproti limitům v ČR vyšší kromě limitů pro zákal, koncentraci vápníku a TOC dle SSP 41000. Pro koncentraci mědi je nastaven limit stejný. Při porovnání naměřených hodnot vybraných ukazatelů pitné vody na ISS a v Praze dosahuje pražská pitná voda příznivějších hodnot, např. koncentrace chromu, kadmia a niklu. Na ISS se však jedná o již použitou a následně regenerovanou vodu na rozdíl od pitné vody v ČR získávané z podzemních či povrchových vod, nikoli přímo z čistíren odpadních vod.

Tab. 9: Limity vybraných ukazatelů pitné vody na ISS a v ČR a naměřené hodnoty [43, 44, 45, 46, 47, 48, 51, 52]

	jednotka	limit ISS	max. naměř. hodnota na ISS (2008 – 2017)	limit ČR	typ limitu v ČR	průměr. naměř. hodnota v pitné vodě v Praze (říjen 2018)
<b>Fyzikální ukazatele</b>						
pH	-	4,5 - 8,5	7,85	6,5 - 9,5	MH	7,66
konduktivita	μS/cm		14	1250	MH	385
zákal	NTU, ZF	1	3,1	5	MH	0,41
<b>Chemické ukazatele</b>						
celkový jód	mg/l	0,2	0,8			
jodidy	mg/l		0,75			
draslík	mg/l	340	0,11			
sodík	mg/l		0,23	200	MH	12,8
vápník	mg/l	30	0,1	30	MH	42,1
				40 - 80	DH	
baryum	μg/l	10000	26			
hliník	μg/l		5	200	MH	23
chrom	μg/l	230	24	50	NMH	0,5
kadmium	μg/l	22	1	5	NMH	0,1
měď	μg/l	1000	3	1000	NMH	3
nikl	μg/l	300	220	20	NMH	0,9
zinek	μg/l	2000	42			
železo	μg/l	300	261	200	MH	60
křemík	μg/l		16500			



	jednotka	limit ISS	max. naměř. hodnota na ISS (2008 – 2017)	limit ČR	typ limitu v ČR	průměr. naměř. hodnota v pitné vodě v Praze (říjen 2018)
celkový anorganický uhlík (TIC)	mg/l		1,7			
celkový organický uhlík (TOC)	mg/l	5	2,85	5	MH	2,35
		3				
diethylftalát	µg/l		24			
dimethylsilanediol (DMSD)	µg/l	25000	12000			
		35000				

Pozn.: NMH ... nejvyšší mezní hodnota; MH ... mezní hodnota (MH pro vápník stanovuje jeho minimální hodnotu); DH ... doporučená hodnota

Lingvistická část uvedená v kapitole 7 spočívala ve zpracování anglické, příp. ruské, odborné terminologie do českého jazyka. K tomuto bylo přistoupeno vzhledem k rychlému vývoji v oboru, a tudíž i k absenci velkého množství českých pojmů v normě ČSN 31 0001 Letectví a kosmonautika – Terminologie, jejíž poslední aktualizace pochází z roku 2005. V případě nenalezení daného pojmu v normě, byly porovnány překlady existující v jiných relevantních literárních zdrojích, a z nich zvolen překlad vhodnější, nebo byl vytvořen překlad zcela nový, k čemuž bylo přistoupeno i v případech, kdy daný pojem nebyl v české literatuře nalezen. Takto získané překlady mohou dále usnadnit vstup do dané problematiky a vytvořit rozšíření terminologické normy tvořící základ jednotného názvosloví.

## 9 Literatura

[1] Pickett, M. T., L. B. Roberson et al. 2019. *Regenerative Water Purification for Space Applications: Needs, Challenges, and Technologies Towards 'Closing the Loop'*. In: *Life Sciences in Space Research* 24 (2020) 64–82. DOI: 10.1016/j.lssr.2019.10.002

[2] NASA. 2015. *Reference Guide to the International Space Station. – Utilization Edition*. [on-line] NP-2015-05-022-JSC. [vid. 5. 8. 2020] Dostupné z: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/np-2015-05-022-jsc-iss-guide-2015-update-111015-508c.pdf>

[3] Häuplik-Meusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts: An Activity-based Approach*. Vienna: Springer-Verlag/Wien, 2011. ISBN 978-3-7091-0666-2

[4] Elburn, Darcy (ed.). *Boldly Go! NASA's New Space Toilet Offers More Comfort, Improved Efficiency for Deep Space Missions*. In: *NASA Moon to Mars* [on-line]. NASA, 2020. [vid. 12. 10. 2020] Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/boldly-go-nasa-s-new-space-toilet-offers-more-comfort-improved-efficiency-for-deep-space>

[5] Anderson, M. S., M. K. Ewert and J. F. Keener. 2018. *Life Support Baseline Values and Assumptions Document*. [on-line] NASA/TP-2015-218570. [vid. 18. 2. 2020] Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20180001338.pdf>

[6] NASA. 2014. *HIDH - Human Integration Design Handbook*. [on-line] NASA/SP-2010-3407/REV1. [vid. 30. 7. 2020] Dostupné z: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/human\\_integration\\_design\\_handbook\\_revision\\_1.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/human_integration_design_handbook_revision_1.pdf)

[7] Šolcová, I., I. Stuchlíková a V. I. Guščin (eds.). *MARS-500: Fakta a postřehy ze simulovaného letu na rudou planetu*. Praha: Nakladatelství Academia a Psychologický ústav AV ČR, v. v. i., 2014. ISBN 978-80-200-2437-4

[8] NASA. 2017. *Spacecraft Water Exposure Guidelines (SWEGs)*. [on-line] JSC 63414. [vid. 1. 8. 2020] Dostupné z: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/jsc\\_63414\\_final\\_with\\_signature.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/jsc_63414_final_with_signature.pdf)

[9] Arnold, H. J. P., C. Peeble a A. Wilson. *Člověk a Vesmír*. Praha: Nakladatelství a vydavatelství CESTY, 1996. ISBN 80-7181-028-2

[10] *NASA/Mir-23 Researcher Jerry Linenger Takes Care of Personal Hygiene in the Spektr Module*. In: *Shuttle-Mir* [on-line]. NASA. [vid. 13. 10. 2020] Dostupné z: <https://history.nasa.gov/SP-4225/nasa4/photo/nasa4-photo-34.htm>

[11] Kubala, Petr. *ISS – Mezinárodní vesmírná stanice*. Kralice na Hané: Computer Media s.r.o., 2009. ISBN 978-80-7402-033-9

[12] McKinley, Melissa Kay. *Universal Waste Management System*. In: Space Station Research Explorer [on-line]. NASA, 2020. [vid. 12. 10. 2020] Dostupné z: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/experiments/explorer/Investigation.html?id=1904](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/explorer/Investigation.html?id=1904)

[13] Ewert, M. K. and F. F. Jeng. 2015. *Will Astronauts Wash Clothes on the Way to Mars?* In: 45th International Conference on Environmental Systems, 12 – 16 July 2015, Bellevue, Washington. ICES-2015-53

[14] Michalek, W. F. et al. 2017. *Advanced Microgravity Compatible Integrated Laundry System (AMCILS) Development*. In: 47th International Conference on Environmental Systems, 16 – 20 July 2017, Charleston, South Carolina. ICES-2017-106

[15] ZONO Technologies. [on-line] ZONO Technologies, 2020. [vid. 17. 10. 2020] Dostupné z: <https://www.zonotechnologies.com/>

[16] Holub, Aleš. *Moduly ISS*. In: Malá encyklopedie kosmonautiky [on-line]. Aleš Holub. [vid. 7. 8. 2020] Dostupné z: [https://mek.kosmo.cz/pil\\_lety/mezinar/iss/moduly/index.htm](https://mek.kosmo.cz/pil_lety/mezinar/iss/moduly/index.htm)

[17] *ISS Configuration Exploded View*. In: International Space Station Facts and Figures [on-line]. NASA, 2020. [vid. 14. 8. 2020] Dostupné z: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/iss\\_config\\_exploded\\_view\\_page\\_0.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/iss_config_exploded_view_page_0.jpg)

[18] Carter, L., J. Williamson et al. 2019. *Status of ISS Water Management and Recovery*. In: 49th International Conference on Environmental Systems, 7 – 11 July 2019, Boston, Massachusetts. ICES-2019-36

[19] Anderson, Janet. *NASA Marshall Engineers Refine Hardware, Apply Innovative Solutions to More Reliably Recycle Space Station Wastewater*. In: Space Station Research [on-line]. NASA, 2020. [vid. 16. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/centers/marshall/news/releases/2020/nasa-marshall-engineers-refine-hardware-apply-innovative-solutions-to-more-reliably-recycle.html>

[20] Anderson, Janet. *Life Support Upgrades Arrive at Station, Improve Reliability for Moon, Mars Missions*. In: NASA [on-line]. NASA, 2020. [vid. 16. 10. 2020] Dostupné z: <https://www.nasa.gov/centers/marshall/news/releases/2020/life-support-upgrades-arrive-at-station-improve-reliability-for-moon-mars-missions.html>

- [21] Straub, J. E. et al. 2018. *Chemical Characterization of ISS Potable Water Collected in 2017*. In: 48th International Conference on Environmental Systems, 8 – 12 July 2018, Albuquerque, New Mexico. ICES-2018-282
- [22] Vítek, Antonín. *Mir*. In: Space 40 Velká encyklopedie družic a kosmických sond [on-line]. Antonín Vítek, 2007. [vid. 12. 10. 2020] Dostupné z: <https://www.lib.cas.cz/space.40/1986/I017A.HTM>
- [23] *Mir Space Station*. In: Honourable discharge for Mir Space Station [on-line]. ESA, 2001. [vid. 13. 10. 2020] Dostupné z: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Honourable\\_discharge\\_for\\_Mir\\_space\\_station](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Honourable_discharge_for_Mir_space_station)
- [24] Grigoriev, A. I. et al. 2010. *Regeneration of Water at Space Stations*. In: Acta Astronautica 68 (2011) 1567–1573. DOI: 10.1016/j.actaastro.2010.05.018
- [25] *View of the Entire Interior of the Greenhouse*. In: Shuttle-Mir [on-line]. NASA. [vid. 13. 10. 2020] Dostupné z: <https://history.nasa.gov/SP-4225/nasa2/photo/nasa2-photo-31.htm>
- [26] Stuart, Colin. *Jak přežít ve Vesmíru: vše, co potřebujete vědět pro blízkou budoucnost*. Praha: Euromedia Group, a. s., 2020. ISBN 978-80-7617-945-5
- [27] Levine, H. G. and T. M. Smith. 2016. *Vegetable Production System (Veggie)*. [on-line] SP-2015-11-435-KSC. Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20160005059>
- [28] *Veggie in Space!* In: Space Station Research [on-line]. NASA, 2018. [vid. 15. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/image-feature/veggies-in-space>
- [29] *Green Smoothies in Space*. [on-line] ESA, 2018. [vid. 26. 12. 2020] Dostupné z: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Research/Green\\_smoothies\\_in\\_space](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Research/Green_smoothies_in_space)
- [30] *Melissa Space Research Program*. [on-line] EAWAG. [vid. 26. 12. 2020] Dostupné z: <https://www.eawag.ch/en/departement/eng/projects/melissa/>
- [31] Koval, V. a A. Švarcová. *Budou se na oběžné dráze pěstovat rostliny? Vědci teď zjišťují, zda k tomu mohou využít lidskou moč*. [on-line] Český rozhlas, 2020. [vid. 26. 12. 2020] Dostupné z: <https://radiozurnal.rozhlas.cz/budou-se-na-obezne-draze-pestovat-rostliny-vedci-ted-zjistuji-zda-k-tomu-mohou-8391581>
- [32] Slavíčková, K. a M. Slavíček. *Vodní hospodářství obcí 1: Úprava a čištění vody*. 2. přepracované vydání. Praha: ČVUT v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05390-4

[33] Sukovítý, A., P. Višňovský a kol. *Vodárenství II: Úprava a akumulace vody, zásobování průmyslu a zemědělství vodou*. Praha: SNTL, 1971.

[34] Matoušek, Václav. *Obtékání a pevné částice v kapalině*. [on-line] FSv ČVUT v Praze. [vid. 24. 9. 2019] Dostupné z: <http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY3V/prednasky.htm>

[35] *Ceramic Membrane Filtration System*. In: *Ceramic Membrane Filtration System* [on-line]. Water Online, 2020. [vid. 27. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.wateronline.com/doc/ceramic-membrane-filtration-system-0001>

[36] *Polymerní membrány*. [on-line] Ústav makromolekulární chemie AV ČR, v. v. i. [vid. 27. 10. 2020] Dostupné z: <https://www.imc.cas.cz/cs/veda-a-vyzkum/vedecka-oddeleni/polymery-pro-optoelektronicke-a-energeticke-aplikace/polymerni-membrany/zamereni>

[37] Malý, J. a J. Malá. *Chemie a technologie vody*. Brno: Noel 2000 s.r.o., 1996. ISBN 80-86020-13-4

[38] Klikorka, J., B. Hájek a J. Votinský. *Obecná a anorganická chemie*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1989.

[39] Beneš, Jiří. *Pokročilé oxidační procesy – AOP*. In: *Sborník konference Pitná voda 2008*. České Budějovice: W&ET Team, 2008, s. 135-140. ISBN 978-80-254-2034-8

[40] Chudoba, J., M. Dohányos a J. Wanner. *Biologické čištění odpadních vod*. Praha: SNTL, 1991.

[41] Benáková, Andrea. *Čistírenská hydrobiologie*. [on-line] FSv ČVUT v Praze. [vid. 22. 9. 2020] Dostupné z: [http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/VO1\\_Cistirenska%20HB\\_Benakova2019.pdf](http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/VO1_Cistirenska%20HB_Benakova2019.pdf)

[42] *Membránové reaktory*. [on-line] CZEMP – Česká membránová platforma, 2020. [vid. 9. 11. 2020] Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/membranove-reaktory>

[43] Plumlee, D., E. K. Hudson et al. 2018. *Chemical Characterization of ISS Potable Water Collected in 2017*. In: *48th International Conference on Environmental Systems, 8 – 12 July 2018, Albuquerque, New Mexico*. ICES-2018-282

[44] Straub II, J. E., E. K. Hudson et al. 2017. *ISS Potable Water Sampling and Chemical Analysis Results for 2016*. In: *47th International Conference on Environmental Systems, 16 – 20 July 2017, Charleston, South Carolina*. ICES-2017-337

[45] Straub II, J. E., D. Plumlee et al. 2016. *Chemical Characterization and Identification of Organosilicon Contaminants in ISS Potable Water*. In: 46th International Conference on Environmental Systems, 10 – 14 July 2016, Vienna, Austria. ICES-2016-416

[46] Straub II, J. E., D. Plumlee et al. 2014. *International Space Station Potable Water Characterization for 2013*. In: 44th International Conference on Environmental Systems, 13 – 17 July 2014, Tucson, Arizona.

[47] Straub II, J. E., D. Plumlee et al. *Chemical Analysis Results for Potable Water from ISS Expeditions 21 through 25*. [on-line] NASA. [vid. 7. 12. 2020] Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20110012745/downloads/20110012745.pdf>

[48] Straub II, J. E., D. K. Plumlee and J. R. Schultz. *ISS Expeditions 16 through 20: Chemical Analysis Results for Potable Water*. [on-line] NASA. [vid. 7. 12. 2020] Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20100021393/downloads/20100021393.pdf>

[49] Wallace, W. T. et al. 2019. *Changes in Chemical Composition of ISS Archive Water Samples from Collection to Analysis*. In: 49th International Conference on Environmental Systems, 7 – 11 July 2019, Boston, Massachusetts. ICES-2019-70

[50] Vokurka, M., J. Hugo a kol. *Velký lékařský slovník*. 8. vydání. Praha: Maxdorf s. r. o., 2008. ISBN 978-80-7345-166-0

[51] *Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*. duben 2018. [on-line] [vid. 21. 12. 2020] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252?text=252%2F2004>

[52] *Kvalita pitné vody v distribuční síti hl. m. Prahy v říjnu 2018 - kohoutek u spotřebitele*. [on-line] Pražské vodovody a kanalizace, a.s. [vid. 21. 12. 2020] Dostupné z: <https://www.pvk.cz/res/archive/1812/224218.pdf?seek=1541580713>

## **10 Seznam příloh**

Příloha 1: Hodnoty vybraných ukazatelů vody na ISS



**Příloha 1: Hodnoty vybraných ukazatelů vody na ISS [43, 44, 45, 46, 47, 48]**

expedice	mise	datum odběru vzorku	popis vzorku	pH	konduktivita	zákal	celkový jód	jodidy	draslík	sodík	vápník	baryum	hliník	chrom	kadmium	měď	nikl	zinek	železo	křemík	celkový anorganický uhlík (TIC)	celkový organický uhlík (TOC)	diethylftalát	dimethylsilanediol (DMSD)
				-	μS/cm	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	mg/l	mg/l
18	ISS ULF2	26.11.2008	PWD pomocný port - regenerovaná voda	7,11	3	<0,1	2,20	1,18	0,02	<0,01	0,01	<1	<2	<5	<1	3	255	3	<5		0,50	0,47	<8	
18	ISS 15A	12.12.2008	PWD horká pitná voda	7,50	2	0,3	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,02	6	<2	<5	<1	<1	19	<1	12		1,09	0,84	<4	
18	ISS 15A	19.12.2008	PWD horká pitná voda	7,28	2	0,5	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	6	<2	<5	<1	2	38	<1	18		1,04	1,06	<8	
18	ISS 15A	29.12.2008	PWD horká pitná voda	7,03	2	1,6	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,02	7	<2	<5	<1	1	44	<1	56		1,11	1,20	<4	
18	ISS 15A	2.1.2009	PWD studená pitná voda	6,87	1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,01	15	<2	<5	<1	<1	14	1	<5		1,12	0,45	<4	
18	ISS 15A	14.1.2009	PWD studená pitná voda	6,76	2	0,1	0,53	0,48	<0,01	<0,01	0,02	20	<2	<5	<1	3	180	2	<5		1,20	0,29	<4	
18	ISS 15A	21.1.2009	PWD studená pitná voda	6,53	2	0,1	0,80	0,75	<0,01	<0,01	<0,01	18	<2	<5	<1	<1	220	4	<5		1,13	0,32	<4	
18	ISS 15A	30.1.2009	PWD studená pitná voda	7,66	2	<0,1	0,61	0,56	<0,01	<0,01	0,01	23	<2	<5	<1	2	35	<1	<5		1,19	0,31	<4	
18	ISS 15A	30.1.2009	PWD horká pitná voda	7,35	2	3,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,02	14	<2	<5	<1	1	32	1	261		1,02	0,79	<8	
18	ISS 15A	23.3.2009	PWD horká pitná voda	6,21	2	0,1	0,44	0,22	<0,01	<0,01	<0,01	2	<2	<5	<1	<1	11	1	<5		0,84	0,19	<8	
18	ISS 15A	25.3.2009	PWD studená pitná voda	5,68	3	<0,1	0,50	0,45	<0,01	<0,01	<0,01	11	<2	<5	<1	<1	24	2	<5		0,70	0,49	<4	
18	ISS 15A	25.3.2009	PWD pomocný port - regenerovaná voda	5,87	2	<0,1	1,83	0,60	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	76	2	<5		0,96	0,12	<8	
18	Sojuz 17	2.4.2009	PWD studená pitná voda	7,27	3	<0,1	0,43	0,38	<0,01	<0,01	<0,01	22	<2	<5	<1	<1	28	<1	<5		0,95	1,11	<8	
20	ISS 2JA	15.4.2009	PWD studená pitná voda	7,83	2	<0,1	0,16	0,11	<0,01	<0,01	<0,01	20	<2	<5	<1	<1	24	<1	<5		0,85	0,78	<4	
20	ISS 2JA	4.5.2009	PWD studená pitná voda	7,66	1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	26	<2	<5	<1	<1	31	<1	<5		0,86	0,37	<4	
20	ISS 2JA	16.6.2009	PWD horká pitná voda	7,00	1	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	2	<2	<5	<1	<1	22	<1	<5		0,75	0,19	<8	
20	ISS 2JA	16.6.2009	PWD studená pitná voda	6,73	1	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	1	<2	<5	<1	<1	13	<1	<5		0,68	0,19	<8	
20	ISS 2JA	24.7.2009	PWD horká pitná voda	6,75	1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	12	1	<5		0,60	0,18	<8	
20	ISS 2JA	24.7.2009	PWD studená pitná voda	6,39	2	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	17	1	<5		0,57	0,16	<8	
20	ISS 17A	4.8.2009	PWD studená pitná voda	7,57	1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	23	<1	<5		0,92	0,18	<8	
20	ISS 17A	4.8.2009	PWD horká pitná voda	7,49	2	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,01	<1	<2	<5	<1	3	25	<1	<5		0,70	0,21	<8	
20	Sojuz 18	22.9.2009	PWD horká pitná voda	5,96	3	NA	<0,05	<0,05	<0,01	0,02	<0,01	<1	<2	<5	<1	1	30	2	<5		0,79	0,21	<8	
20	Sojuz 18	22.9.2009	PWD studená pitná voda	5,65	7	NA	<0,05	<0,05	0,01	0,03	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	27	3	<5		0,83	0,20	<8	
21	Sojuz 19	20.10.2009	PWD horká pitná voda	7,38	2	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	17	<1	<5	NA	0,71	0,30	<8	NA
21	Sojuz 19	20.10.2009	PWD studená pitná voda	7,09	2	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	24	<1	<5	NA	0,73	0,22	<8	NA
21	ISS ULF3	10.11.2009	PWD horká pitná voda	7,06	2	<0,1	<0,05	<0,05	0,01	0,02	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	25	<1	42	NA	1,09	0,22	<8	NA
21	ISS ULF3	10.11.2009	PWD studená pitná voda	6,93	2	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	33	<1	<5	43	1,08	0,14	<4	<400

expedice	mise	datum odběru vzorku	popis vzorku	pH	konduktivita	zákal	celkový jód	jodidy	draslík	sodík	vápník	baryum	hlinit	chrom	kadmium	měď	nikl	zinek	železo	křemík	celkový anorganický uhlík (TIC)	celkový organický uhlík (TOC)	diethylftalát	dimethylsilanediol (DMSD)
				-	µS/cm	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
22	ISS 20A	6.1.2010	PWD studená pitná voda	6,91	14	<0,1	<0,05	<0,05	0,03	0,02	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	10	<1	<5	22	1,22	0,16	<8	<400
23	ISS 19A	25.2.2010	PWD pomocný port - regenerovaná voda	6,05	3	0,1	2,24	1,13	0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	270	2	<5	NA	1,21	0,24	<8	NA
23	ISS 19A	3.3.2010	PWD studená pitná voda	6,74	2	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	34	<1	<5	136	1,34	0,17	<8	<400
23	ISS 19A	3.3.2010	PWD horká pitná voda	6,55	2	0,2	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,01	<1	<2	<5	<1	1	26	<1	<5	185	1,23	0,16	<8	<400
23	Sojuz 21	31.3.2010	PWD horká pitná voda	7,15	2	0,2	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,03	<1	<2	<5	<1	<1	40	<1	<5	NA	1,70	0,26	<8	NA
23	ISS ULF4	26.4.2010	PWD studená pitná voda	7,35	2	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	27	<1	<5	NA	0,87	0,16	<8	NA
23	ISS ULF4	18.5.2010	PWD studená pitná voda	7,25	1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	0,02	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	29	<1	<5	NA	0,84	0,22	<4	NA
24	Sojuz 22	14.7.2010	PWD studená pitná voda	7,95	1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<2	<4	<10	<2	<2	29	<2	<10	1530	1,17	1,51	<4	6100
24	Sojuz 22	25.8.2010	PWD horká pitná voda	7,88	1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	0,03	<2	<4	<10	<2	<2	17	<2	<10	2130	0,93	2,19	<4	8240
24	Sojuz 22	15.9.2010	PWD studená pitná voda	7,56	1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	0,03	15	<4	<10	<2	<2	4	2	<10	1210	1,05	1,11	<8	4730
25	Sojuz 23	19.10.2010	PWD horká pitná voda	6,86	4	NA	<0,05	<0,05	0,03	0,02	0,03	<1	<2	<5	<1	<1	17	<1	<5	2360	0,98	2,51	<8	8490
25	Sojuz 23	23.11.2010	PWD horká pitná voda	6,95	2	<0,1	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<2	<5	<1	<1	23	<1	<5	223	0,73	0,15	<8	<400
34	Sojuz 32	11.2.2013	PWD studená pitná voda	5,2	2	<0,4	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,01	<1	1	<1	<1	<1	10	2	<3	180	0,90	0,14	<8	<500
34	Sojuz 32	19.2.2013	PWD horká pitná voda	6,9	1	<0,4	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	1	<1	<1	<1	9	4	<3	105	0,83	0,17	<16	<500
35	Sojuz 33	8.4.2013	PWD studená pitná voda	4,9	2	<0,4	<0,05	<0,05	0,02	<0,01	0,01	<1	2	<1	<1	<1	7	<1	<3	31	1,07	0,13	<8	<500
36	Sojuz 34	30.7.2013	PWD studená pitná voda	6,4	1	<0,4	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,02	<1	<1	<1	<1	<1	5	<1	<3	993	1,11	1,08	<8	3800
36	Sojuz 34	26.8.2013	PWD horká pitná voda	6,2	2	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,04	<1	<1	<1	<1	<1	6	<1	<3	1620	1,03	1,64	<16	5700
37	Sojuz 35	8.10.2013	PWD studená pitná voda	5,3	5	<0,4	<0,05	<0,05	0,05	<0,01	0,05	<1	1	<1	<1	<1	5	2	<3	3180	0,94	2,83	<8	12000
37	Sojuz 35	6.11.2013	PWD horká pitná voda	4,8	4	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	3	<1	<1	<1	6	<1	<3	64	0,83	<0,10	<16	<500
42	Sojuz 40	2.2.2015	PWD studená pitná voda	6,25	2	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	2	<1			4	<1	49	25	0,96	<0,10	<8	<500
42	Sojuz 40	4.3.2015	PWD horká pitná voda	5,65	3	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	6	1	<1			7	<1	<5	18	0,96	<0,10	<8	<500
43	SpaceX-6	31.3.2015	PWD studená pitná voda	6,17	1	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<1	<1			7	2	<5	44	0,79	<0,10	<8	<500
43	SpaceX-6	4.5.2015	PWD horká pitná voda	6,58	1	NA	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,01	<1	<1	<1			6	2	<5	248	0,80	0,18	14	<500
43	Sojuz 41	10.6.2015	PWD pomocný port - regenerovaná voda	NA	NA	NA	NA	NA	0,02	<0,02	0,04	<2	<2	<2			96	<2	<10	4260	0,81	2,44	NA	850
44	Sojuz 42	10.9.2015	PWD pomocný port - regenerovaná voda	6,72	4	NA	3,00	1,58	0,11	0,05	0,10	<2	<2	24			101	4	<10	16500	0,37	2,50	NA	5500
45	Sojuz 43	10.11.2015	PWD horká pitná voda	5,59	2	<0,4	<0,05	<0,05	0,01	0,05	<0,01	<1	5	<1			8	2	<5	62	0,84	<0,10	13	<1000
45	Sojuz 43	1.12.2015	PWD studená pitná voda	5,46	2	NA	<0,05	<0,05	<0,01	0,05	<0,01	<1	<1	<1			2	2	<5	30	0,72	<0,10	<16	<1000

expedice	mise	datum odběru vzorku	popis vzorku	pH	konduktivita	zákal	celkový jód	jodidy	draslík	sodík	vápník	baryum	hliník	chrom	kadmium	měď	nikl	zinek	železo	křemík	celkový anorganický uhlík (TIC)	celkový organický uhlík (TOC)	diethylftalát	dimethylsilanediol (DMSD)
				-	μS/cm	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	mg/l	mg/l
46	Sojuz 44	25.1.2016	PWD studená pitná voda	5,2	2	<0,4	<0,05	<0,05	0,02	0,02	0,07	<1	1		1	<1	3	42		104	1,04	<0,10	<20	
46	Sojuz 44	2.2.2016	PWD horká pitná voda	5,1	2	<0,4	<0,05	<0,05	0,04	0,02	<0,01	<1	<1		<1	<1	5	5		125	1,13	0,16	<20	
47	Sojuz 45	4.4.2016	PWD studená pitná voda	5,86	2	<0,4	<0,05	<0,05	<0,01	0,02	0,02	<1	2		<1	<1	3	2		78	1,03	0,11	<20	
47	Sojuz 45	25.5.2016	PWD horká pitná voda	5,36	2	<0,4	<0,05	<0,05	<0,01	0,05	0,02	<1	2		<1	<1	3	3		46	1,02	0,13	<20	
48	Sojuz 46	2.8.2016	PWD horká pitná voda	5,54	2	<0,4	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	6	<1		<1	<1	5	2		28	1,01	0,41	<20	
48	Sojuz 46	23.8.2016	PWD studená pitná voda	5,34	2	<0,4	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<1		<1	<1	<1	2		25	0,99	0,31	<20	
49	Sojuz 47	19.9.2016	PWD horká pitná voda	5,57	2	<0,4	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,01	<1	2		<1	2	4	3		63	0,97	0,18	21	
49	Sojuz 47	18.10.2016	PWD studená pitná voda	5,32	2	<0,4	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,02	<1	2		<1	<1	3	4		119	0,97	0,15	<20	
50	SpaceX-10	17.1.2017	PWD horká pitná voda	5,82	2	<0,4	<0,05	<0,05		0,08	0,01	<1	1				3	<1		1210	1,04	1,46	<20	4400
50	Sojuz 48	14.3.2017	PWD studená pitná voda	5,42	2	<0,4	<0,05	<0,05		<0,01	0,01	<1	<1				3	<1		1460	1,15	1,54	<20	4900
50	SpaceX-10	14.3.2017	PWD pomocný port - regenerovaná voda	5,23	2	NA	2,04	0,52		0,05	0,02	<1	1				59	5		1300	0,8	1,56	<50	4800
51	SpaceX-11	25.4.2017	PWD horká pitná voda	5,87	2	<0,4	<0,05	<0,05		0,03	0,02	<1	2				3	3		1290	0,612	1,39	<20	4300
52	SpaceX-11	14.6.2017	PWD horká pitná voda	5,57	2	<0,4	<0,05	<0,05		0,13	0,02	2	2				2	3		1310	0,606	1,45	<20	4500
52	SpaceX-12	6.7.2017	PWD studená pitná voda	5,4	1	<0,4	<0,05	<0,05		0,02	0,01	<1	<1				4	1		768	0,66	0,96	21	2700
52	Sojuz 50	8.8.2017	PWD studená pitná voda	5,9	2	<0,4	<0,05	<0,05		0,06	0,02	<1	<1				5	<1		690	1,09	1,04	<20	2400
52	Sojuz 50	23.8.2017	PWD horká pitná voda	5,67	2	<0,4	<0,05	<0,05		0,23	0,03	<1	2				7	2		781	0,72	1,01	<20	1900
53	Sojuz 51	14.11.2017	PWD horká pitná voda	5,70	2	<0,4	<0,05	<0,05		<0,01	0,01	<1	<1				6	2		891	1,06	1,26	24	2700
53	Sojuz 51	4.12.2017	PWD studená pitná voda	5,65	2	<0,4	<0,05	<0,05		<0,01	0,01	<1	<1				9	1		735	1,03	1,16	<20	2500

Pozn.: PWD... dávkovač pitné vody; NA ... neanalyzováno