

ITT WEDECO

Jiří Beneš, DISA v.o.s.

člen IUVA

Dezinfekce vody UV zářením

pro SZÚ, červen 2006

Osnova

- Historický úvod
- Validace UV systémů
- Legislativa o UV dezinfekci
- Ukázky aplikací, závěr



Historie „hygienického zabezpečení“ (dezinfekce) pitné vody*



První známé použití chloru k dezinfekci pitné vody: 1854 - John Snow dezinfikoval pumpu a studnu v londýnské ulici Broad Street po epidemii cholery, jejímž zdrojem byla tato studna.

První známá (jednorázová) dezinfekce potrubí pitné vody (chlorový roztok): 1897 v Maidstone (Kent, UK) po epidemii tyfu.

První kontinuální chlorace pitné vody: na počátku 20.století ve Velké Británii → výrazná redukce úmrtí na tyfus.

*MUDr. Kožíšek, SZÚ Praha, 2005, Seminář ve Slaném

Odvrácená tvář



Jako u mnoha jiných chemických inovací, co se kdysi zdálo být zcela neškodné, ukázalo se být poněkud rizikové...

1974: objeveno, že chlor v pitné vodě nezabíjí jen bakterie, ale že také reaguje s přítomnými přírodními organickými látkami za vzniku tzv. **vedlejších produktů dezinfekce (chlorace, VPD)**.

Historie UV záření

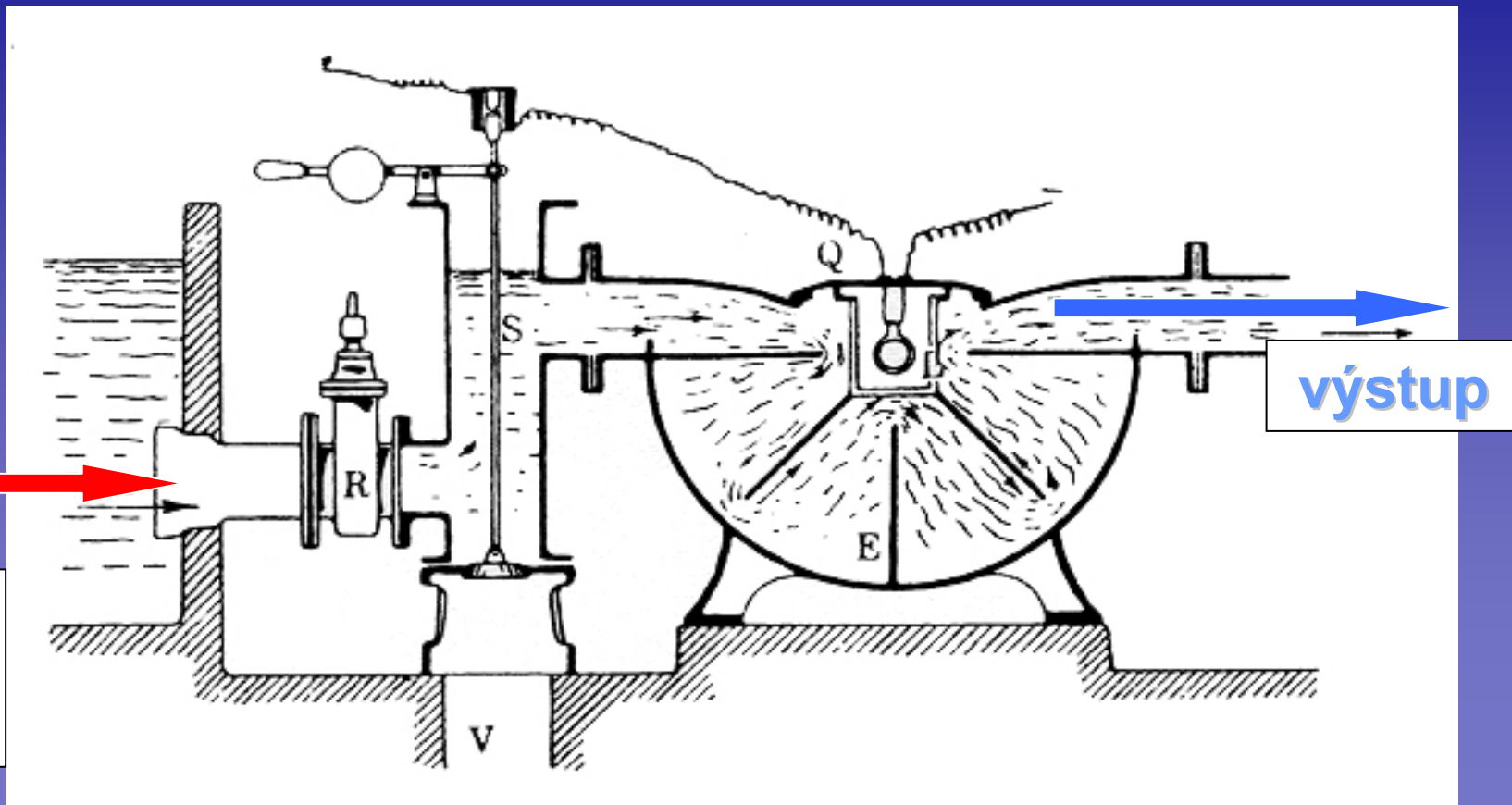


- 1801: objeveno neviditelné krátkovlnné záření, **J.W. Ritter**
- 1877: **Downs and Blunt**; vztah mezi UV zářením a bakteriemi
(Proc. Roy. Soc. London, 488-500)
- 1892: **Arons**: zkonstruována první rtuťová lampa
(skleněná trubice naplněna rtuťí)
- 1905: **Hereus** sklo nahrazeno křemenným sklem – propustnost UV záření

Historie UV záření (pokr.)

1910: **Marseille, Francie - první aplikace kontinuální UV dezinfekce**

(Henri et al., Compt. Rend. Acad. Sci. 151, 677-680)



vstup
25 m³/h

Historie UV záření (pokr.)



1916: Henderson, Kentucky – první využití UV záření k dezinfekci vody v USA

1898: Berlin: dezinfekce vody ozonem vody

**1955: první tlakové UV jednotky na úpravkách vody
(Switzerland, Austria)**

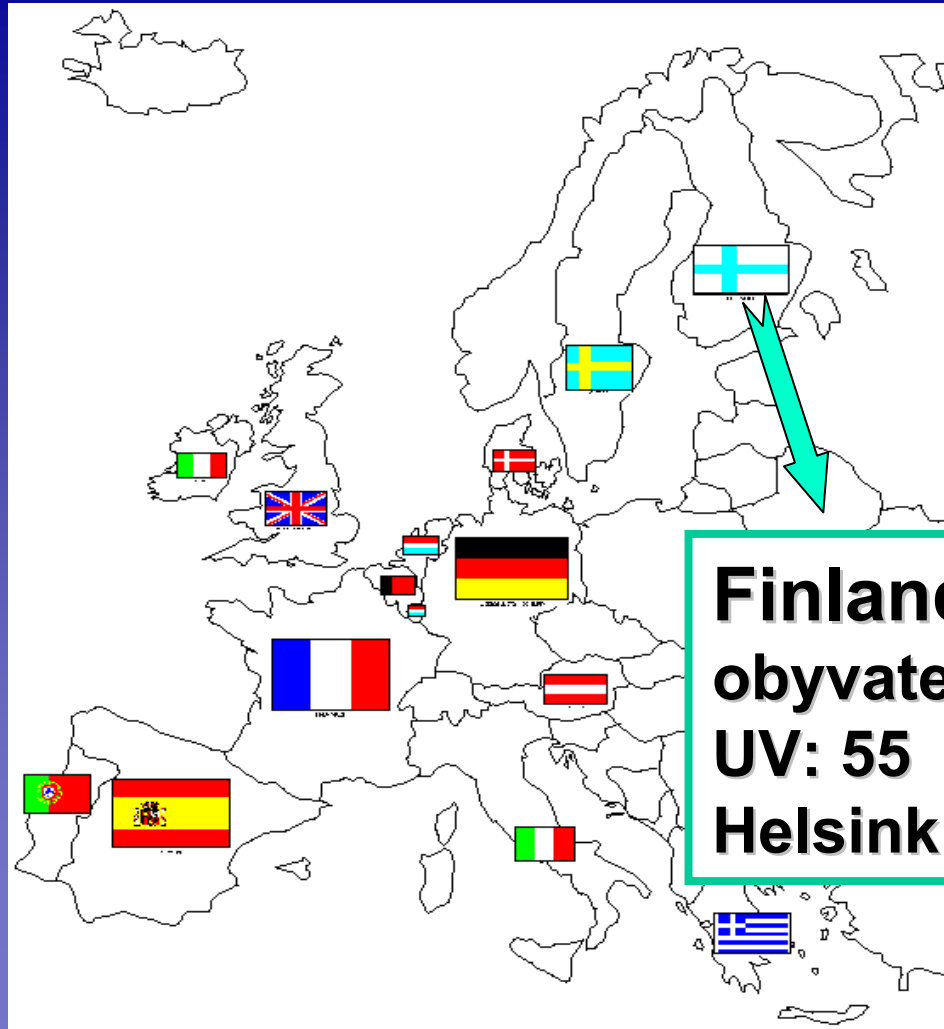
1974: THM problémy v souvislosti s chlorem



1985: UV systémy: 500 (Switzerland), 400 (Norway), 600 (Austria)

(Kruithof et al., J Wat SRT, 41, 88-94)

Množství UV systémů na ÚV v evropských zemích 2001



Finland

obyvatel: 5 Mil.

UV: 55

Helsinki: 12 500 m³/h

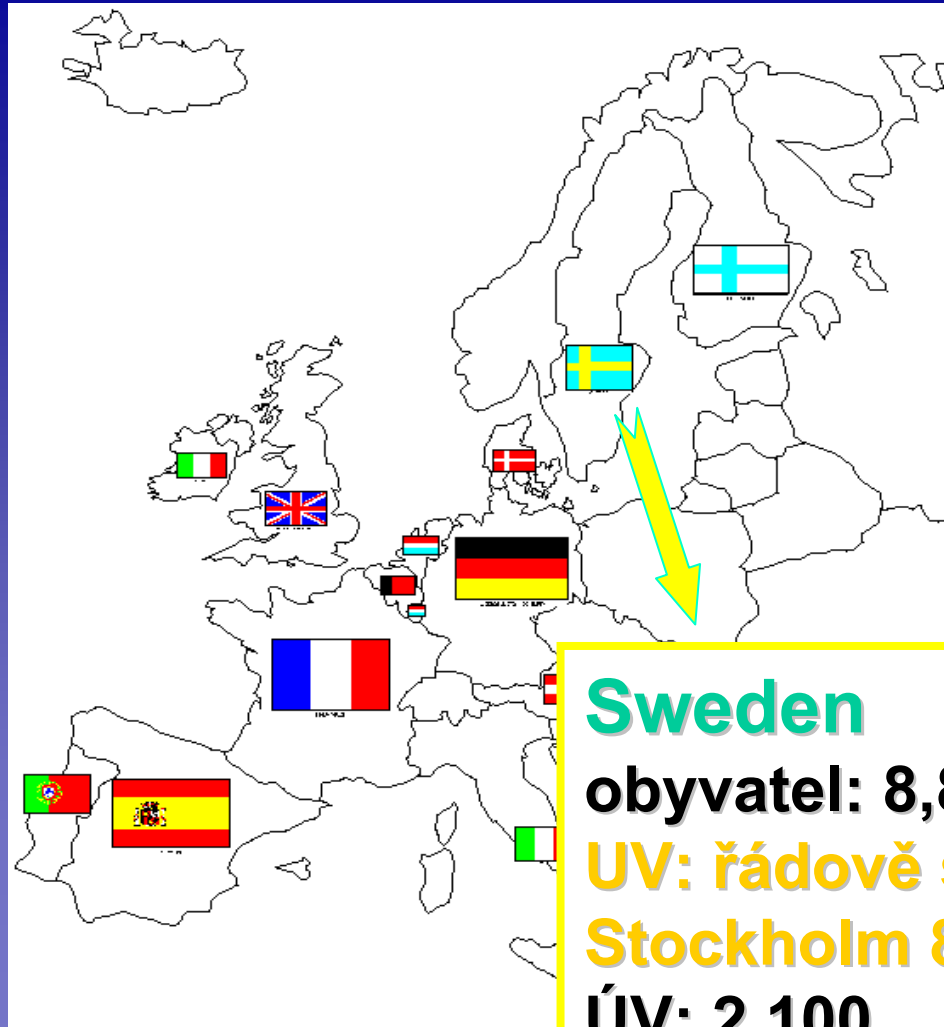
WEDECO AG

Water Technology

DISA v.o.s.

Jiří Beneš

Množství UV systémů na ÚV v evropských zemích 2001



Sweden

obyvatel: 8,8 Mil.

UV: řádově stovky (LP)

Stockholm 8400m³/h

ÚV: 2 100

podzemní vody

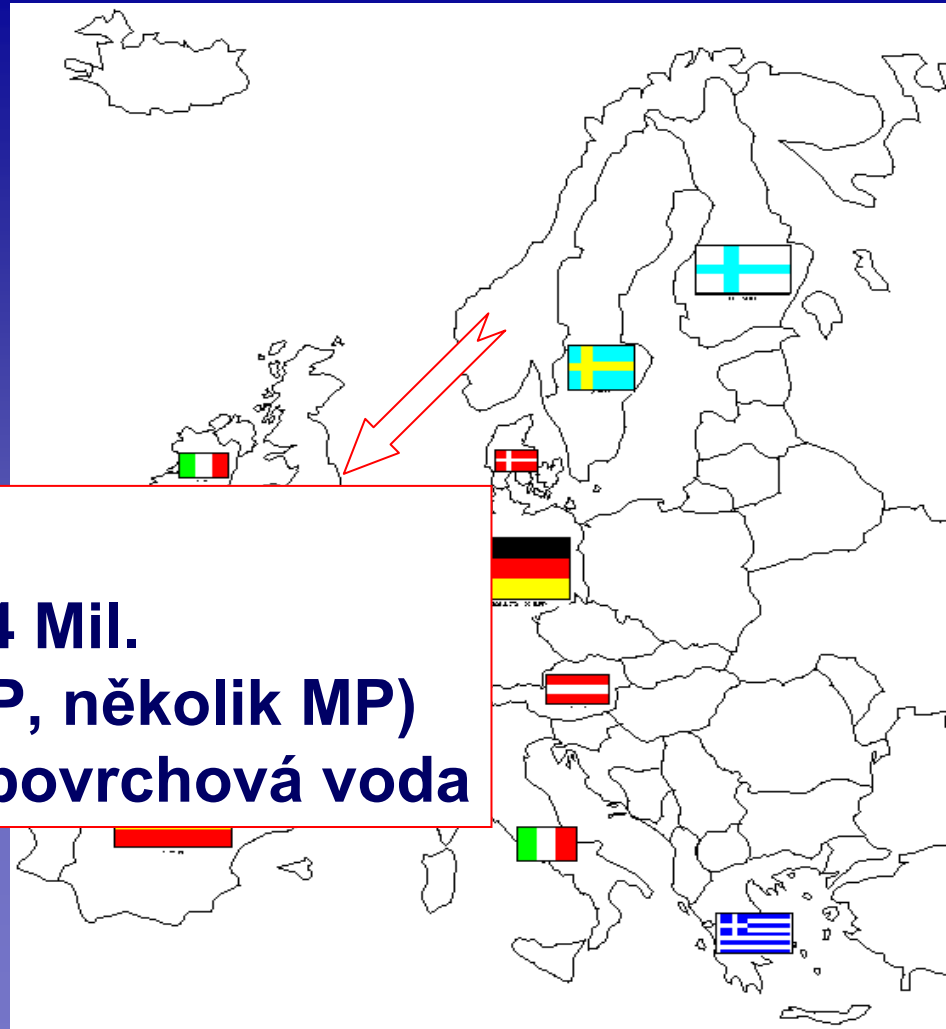
WEDECO AG

Water Technology

V.O.S.

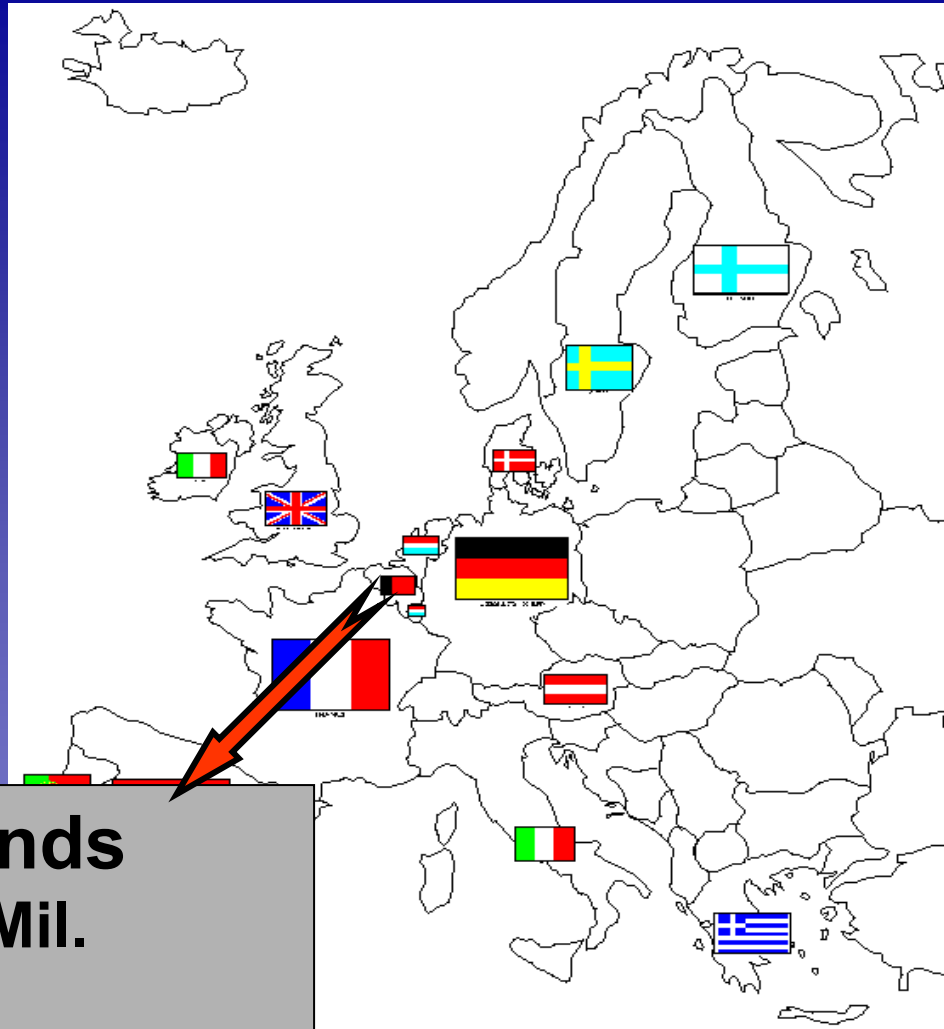
Jiří Beneš

Množství UV systémů na ÚV v evropských zemích 2001



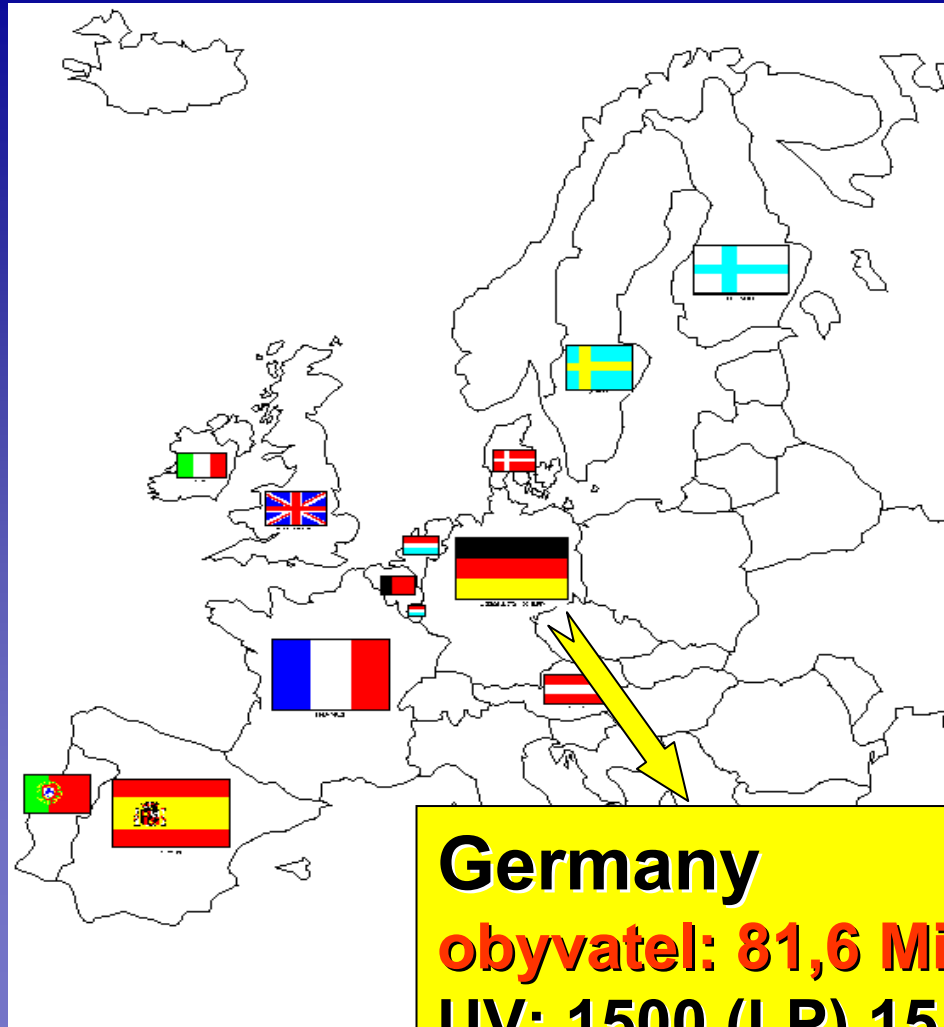
Norway
Obyvatel: 4 Mil.
UV: 500 (LP, několik MP)
Upravená povrchová voda

Množství UV systémů na ÚV v evropských zemích 2001



The Netherlands
obyvatel: 15,4 Mil.
UV: 15 (LP/MP)
Většinou podzemní voda

Množství UV systémů na ÚV v evropských zemích 2001



Germany

obyvatel: 81,6 Mil.

UV: 1500 (LP) 15 (MP)

Wahnbach: 14 200m³/h

Podzemní nebo povrchová voda

WEDECO AG

Water Technology

S.
eš

Množství UV systémů na ÚV v evropských zemích 2001



France

obyvatel: 58,0 Mil.

UV: 100-200 (LP)

Většinou podzemní voda



Množství UV systémů na ÚV v evropských zemích 2001



UK

obyvatel: 58,3 Mil.

UV: 40 (MP, LP)

68% povrch. 32% podzemní voda

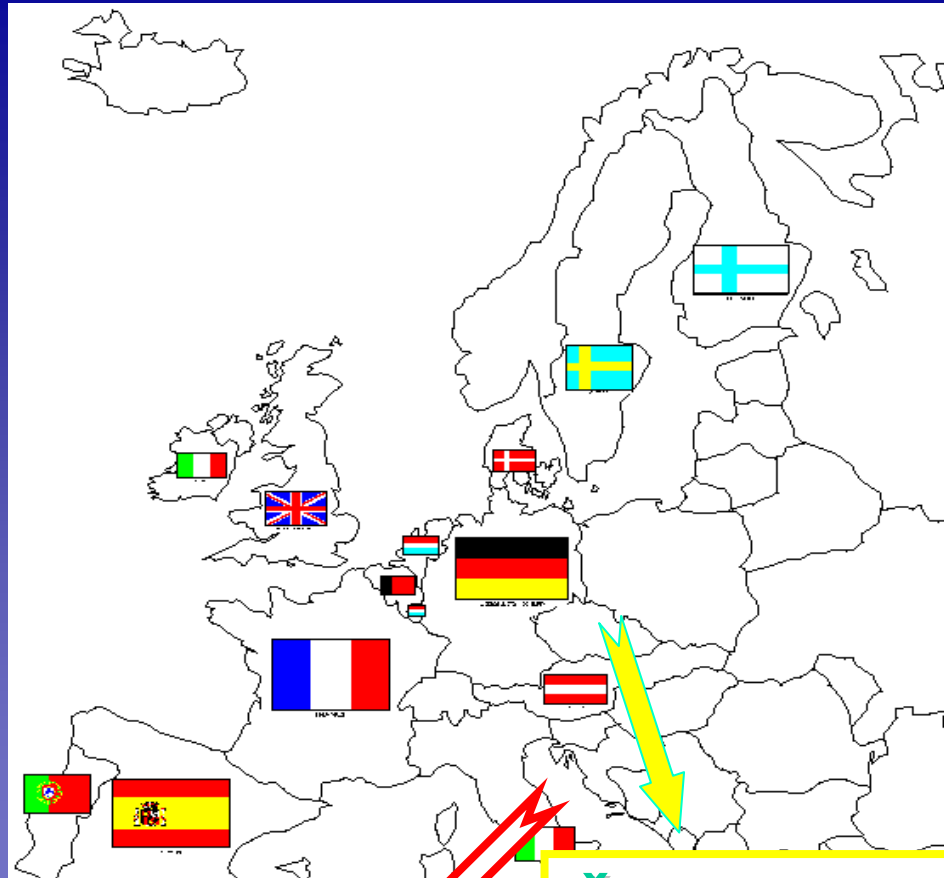
WEDECO AG

Water Technology

DISA v.o.s.

Jiří Beneš

Množství UV systémů na ÚV v evropských zemích 2001



Austria 2005
obyvatel: 8 Mil.
UV: 6000 (LP)
ground water

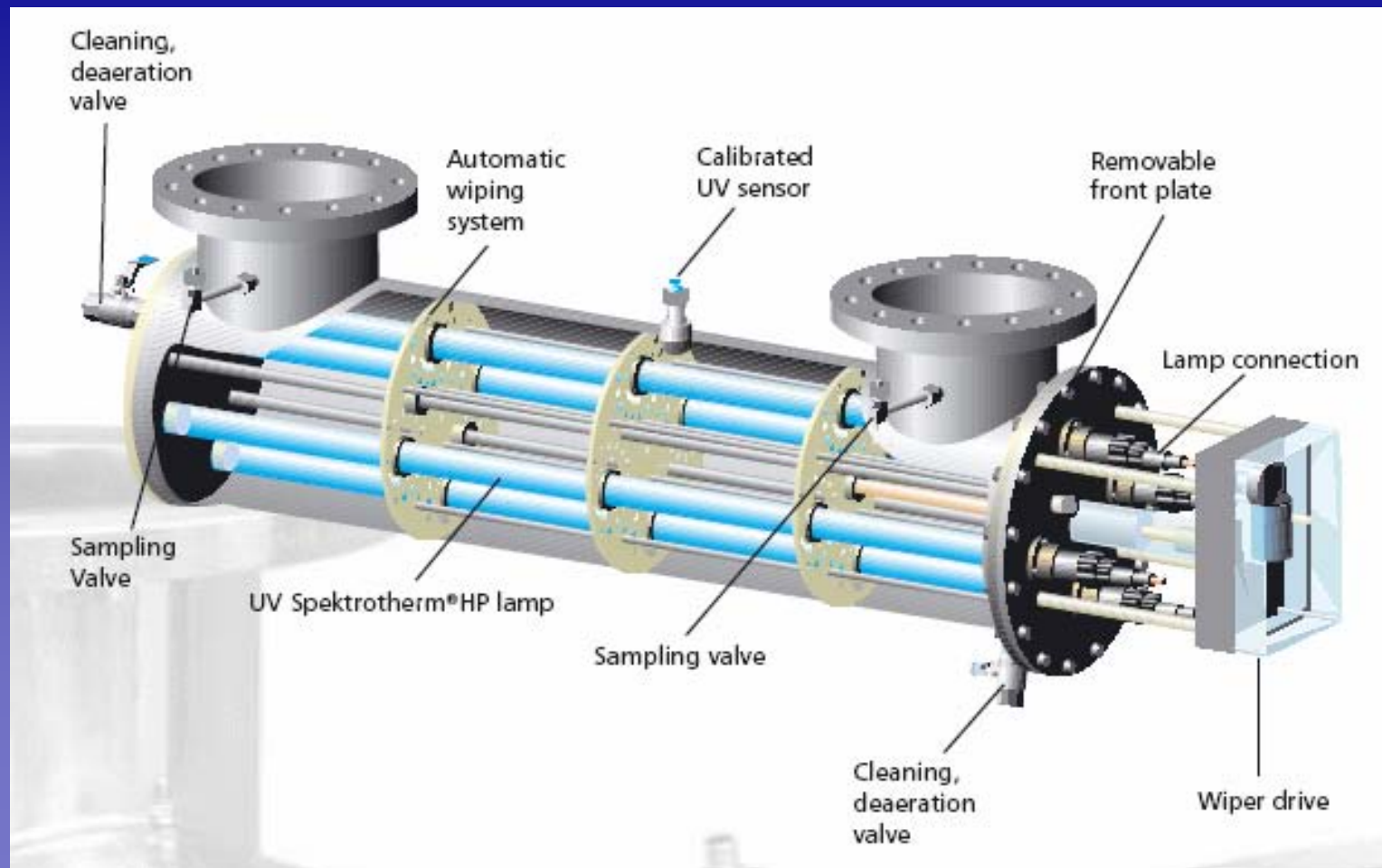
ČR
obyvatel: 10 Mil.
UV: 5ks (4xMP, 1xLP)
ÚV Souš 864m³/h

Proč dnes používat UV dezinfekci ?



- chemickou dezinfekcí se nedaří dosáhnout požadovanou kvalitu upravené vody – rezistentní org. (Clostridium, Crypto, Gardia)
- chemickou dezinfekcí lze dosáhnout mikrobiologickou kvalitu ⇒ na úkor zvýšené tvorby vedlejších produktů (THM, senzoričné vlastnosti ...)
- inspirace zahraničím: náhrada chemické dezinfekce UV zářením

Schéma standardní UV reaktoru

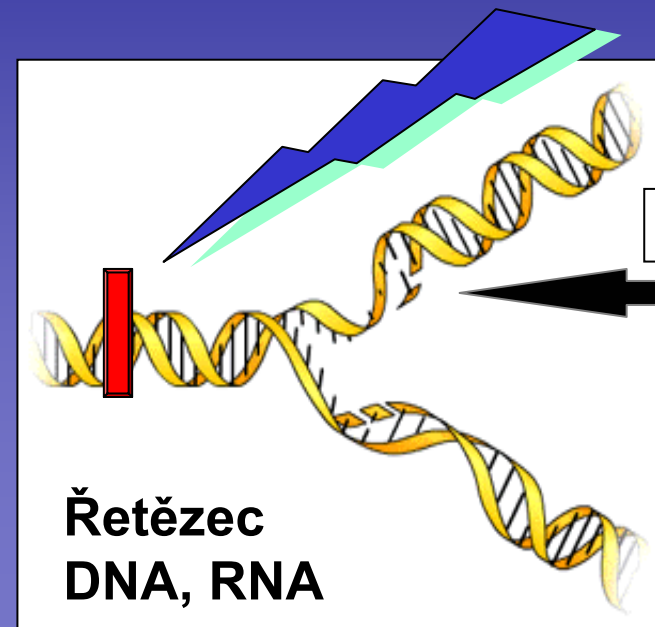


Hlavní dezinfekční účinek - princip



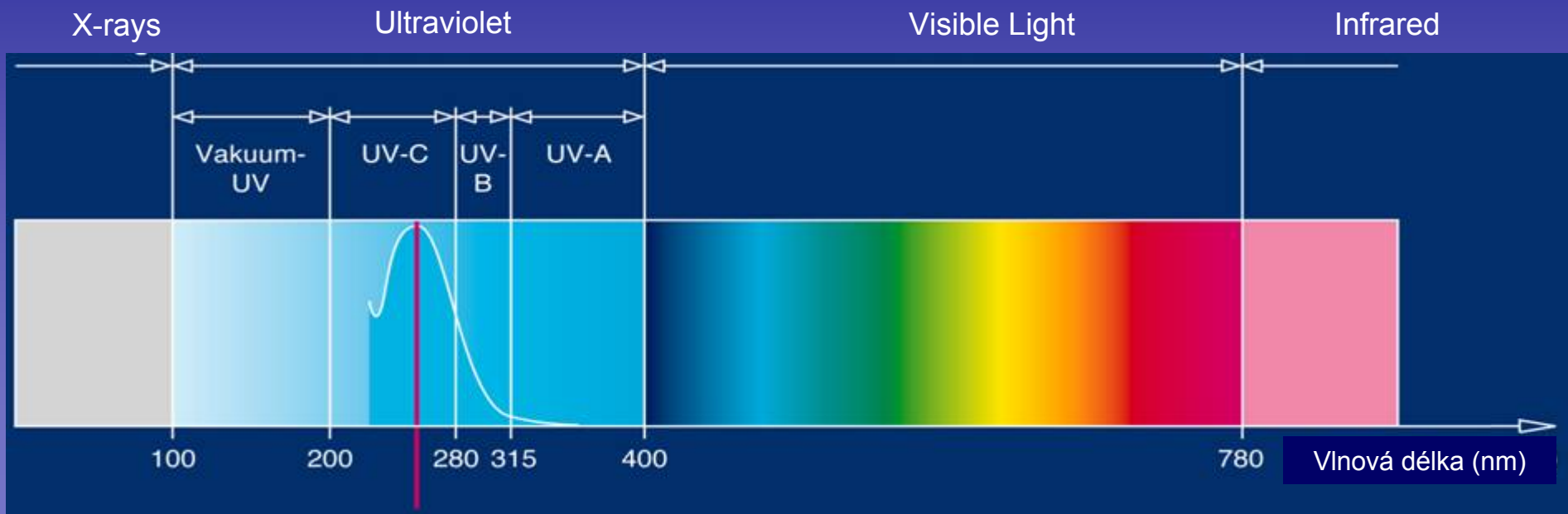
UV záření inaktivuje patogenní mikroorganismy v důsledku
strukturních změn v molekule DNA

- tvorba thyminových dimerů
zablokování reprodukce buňky



Hlavní dezinfekční účinek - princip

UV záření inaktivuje patogenní mikroorganismy v důsledku strukturních změn v molekule DNA



Absorpční spektrum DNA (max. 265 nm)

Dávka UV záření, způsoby stanovení



mira ozáření (W/m²) x doba expozice (sec.) = dávka (J/m²)

- Klíčová veličina určující dezinfekční výkon (analogie s CT hodnotou)
- Legislativa ČR: min. 400J/m²

Důležité správné stanovení, zákazník je odkázán na dodavatele

Nelze ji během provozu měřit...

Parametry ovlivňující dezinfekční kapacitu UV jednotky:



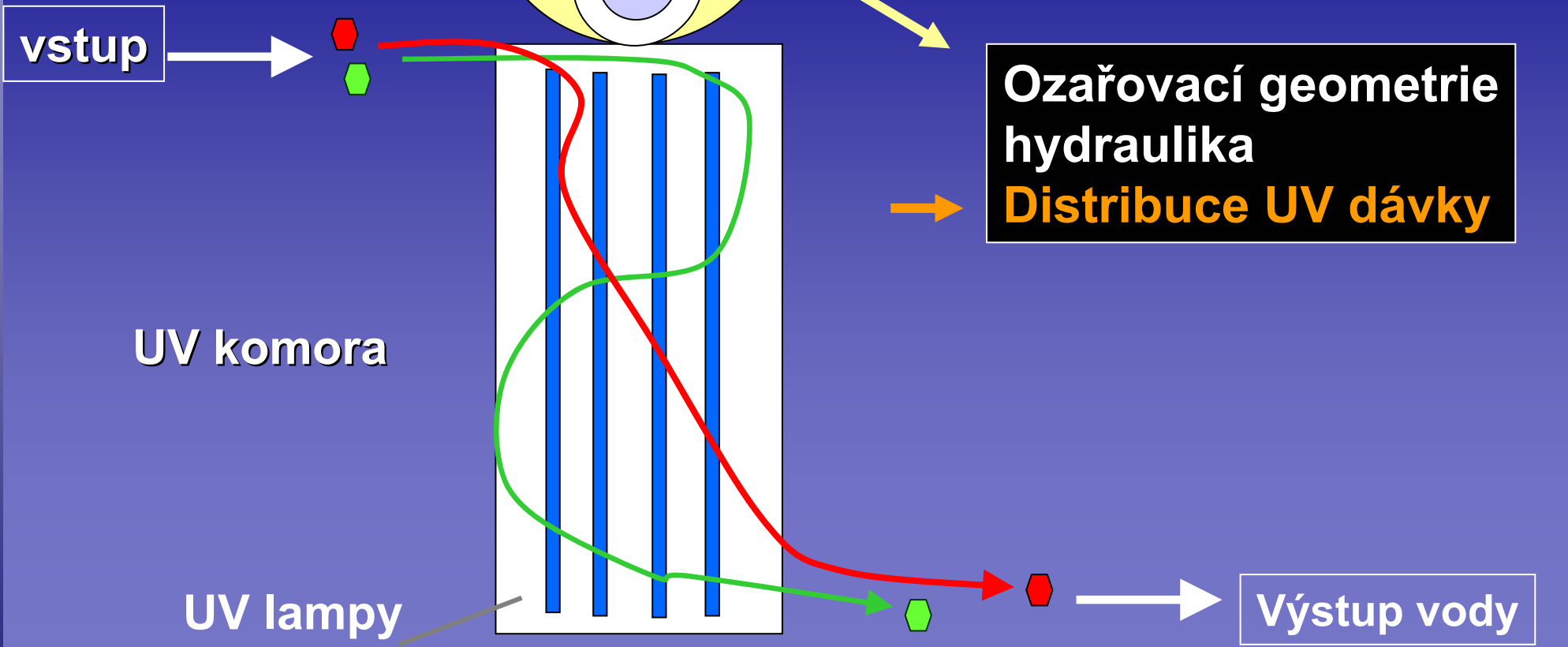
kvalita vody (UV transmittance - 253.7 nm)

míra UV ozáření (intenzita) (Watt / m²)

průtok vody (m³/h)

hydraulické podmínky a radiační geometrie UV komory

Distribuce dávky UV záření k mikroorganismům





Jedinečný způsob určení dávky UV záření

Zcela opačný přístup stanovení

biodosimetrická zkouška

Není snaha o co nejpřesnější stanovení UV intenzity a doby zdržení

Laboratorní zařízení podle rakouského standardu ÖNORM M 5873



WEDECO AG
Water Technology

DISA v.o.s.
Jiří Beneš

Graf závislosti inaktivace na dávce UV záření

Testovaný organismus: spory Bacillus subtilis ATCC 6633

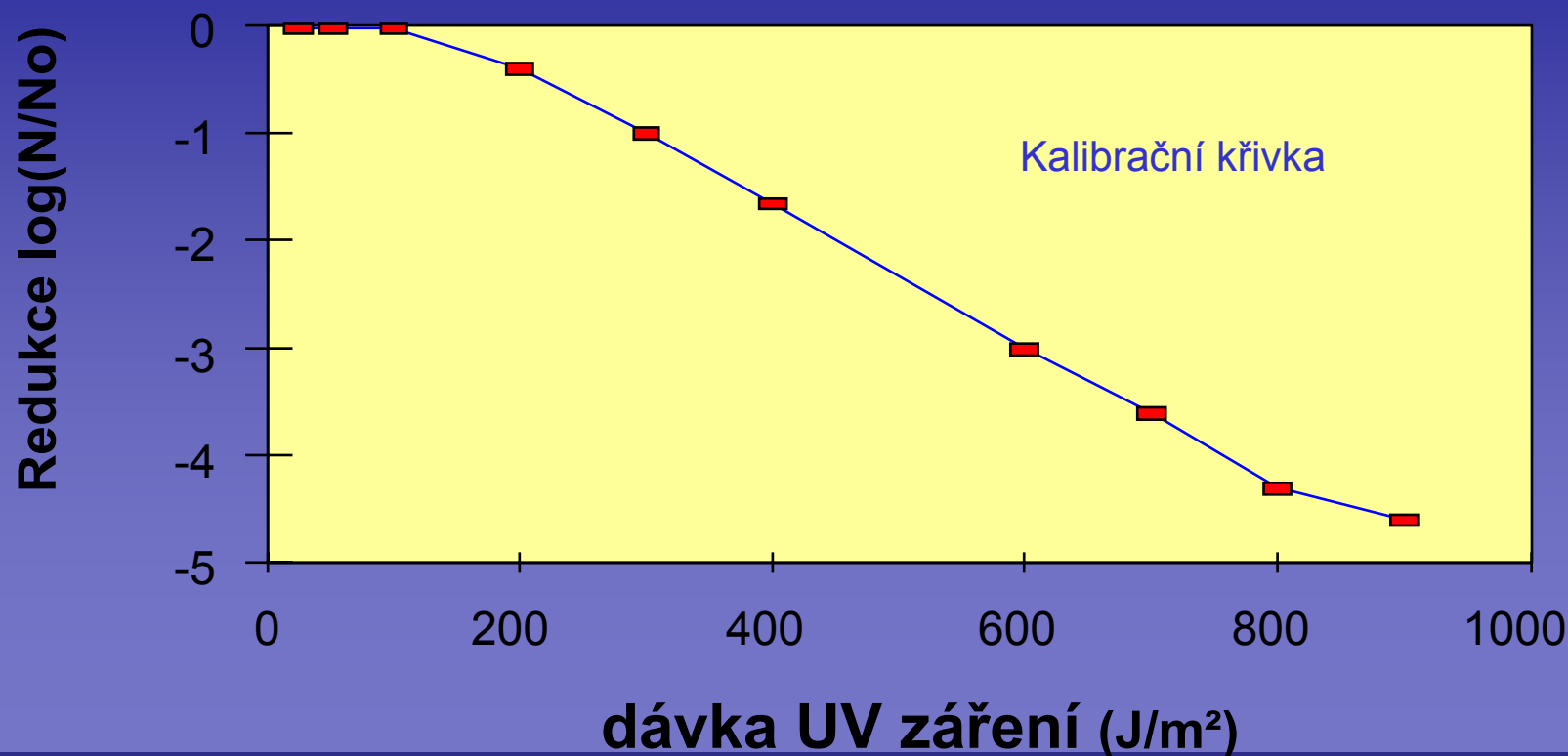
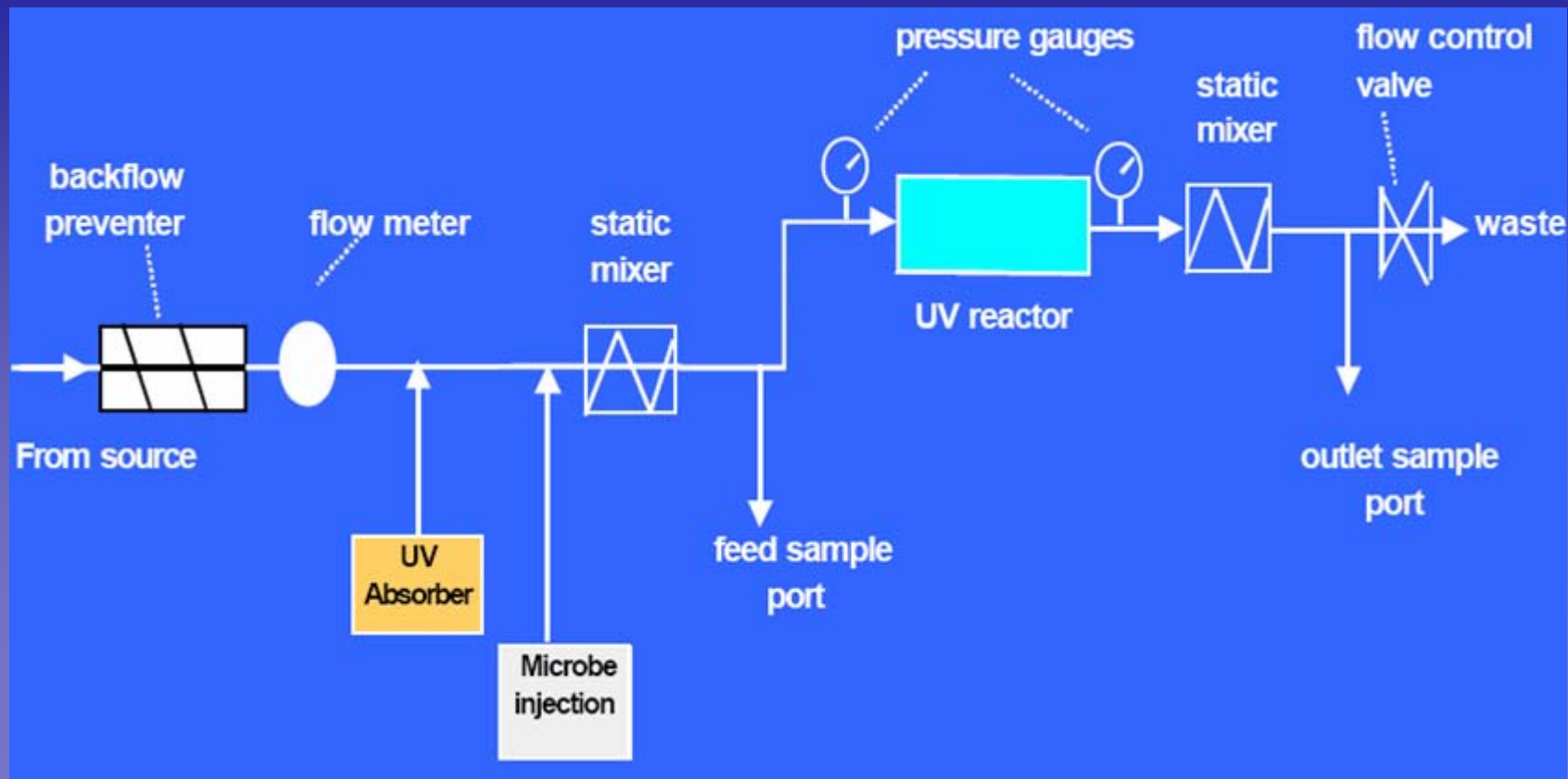


Schéma testovací aparatury při biodozimetrii

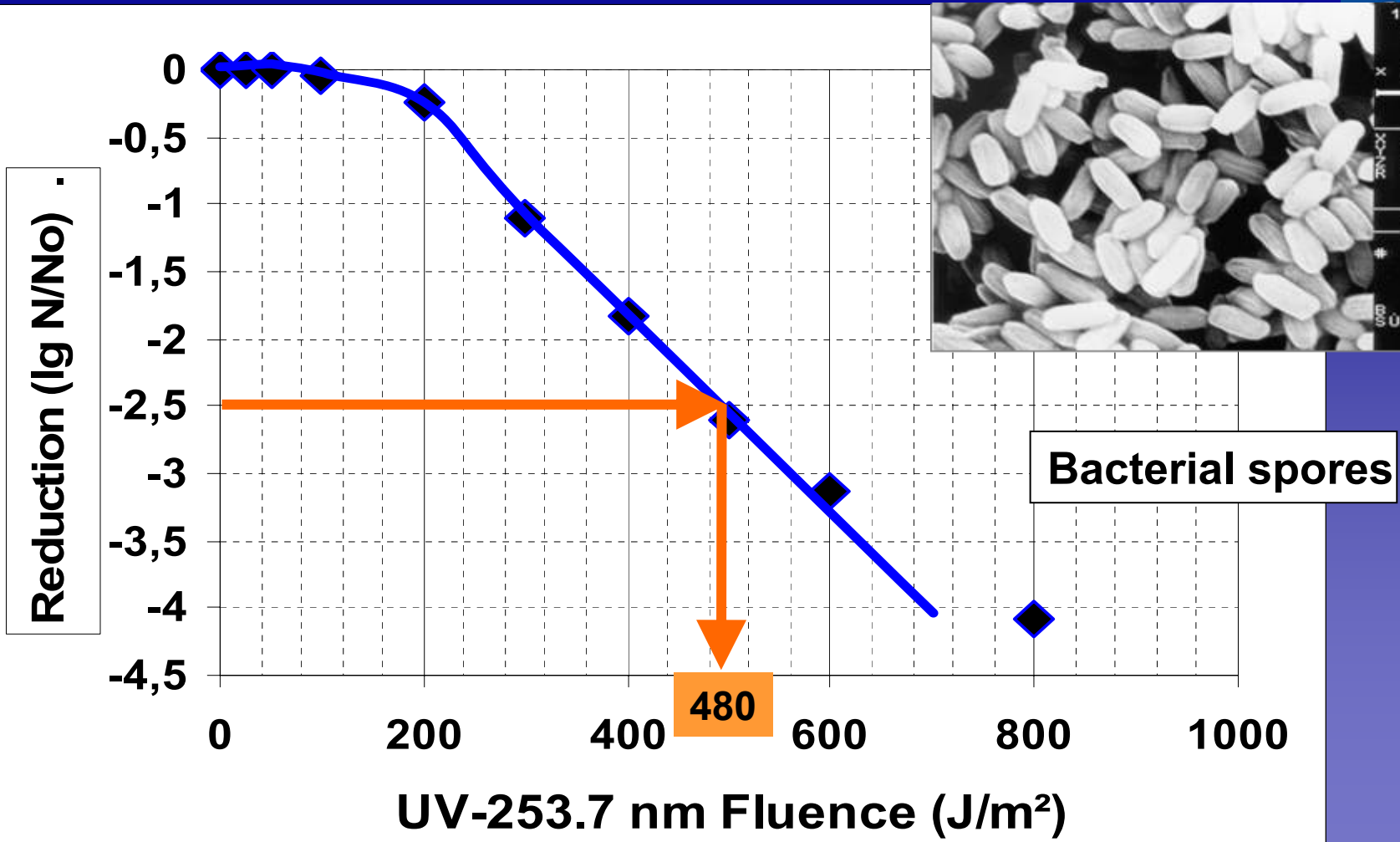




WEDECO AG
Water Technology

DISA v.o.s.
Jiří Beneš

Kalibrační křivka biodosimetru



Reduction equivalent fluence (REF) wavelength: 253.7 nm / biodosimeter



Výstup validace



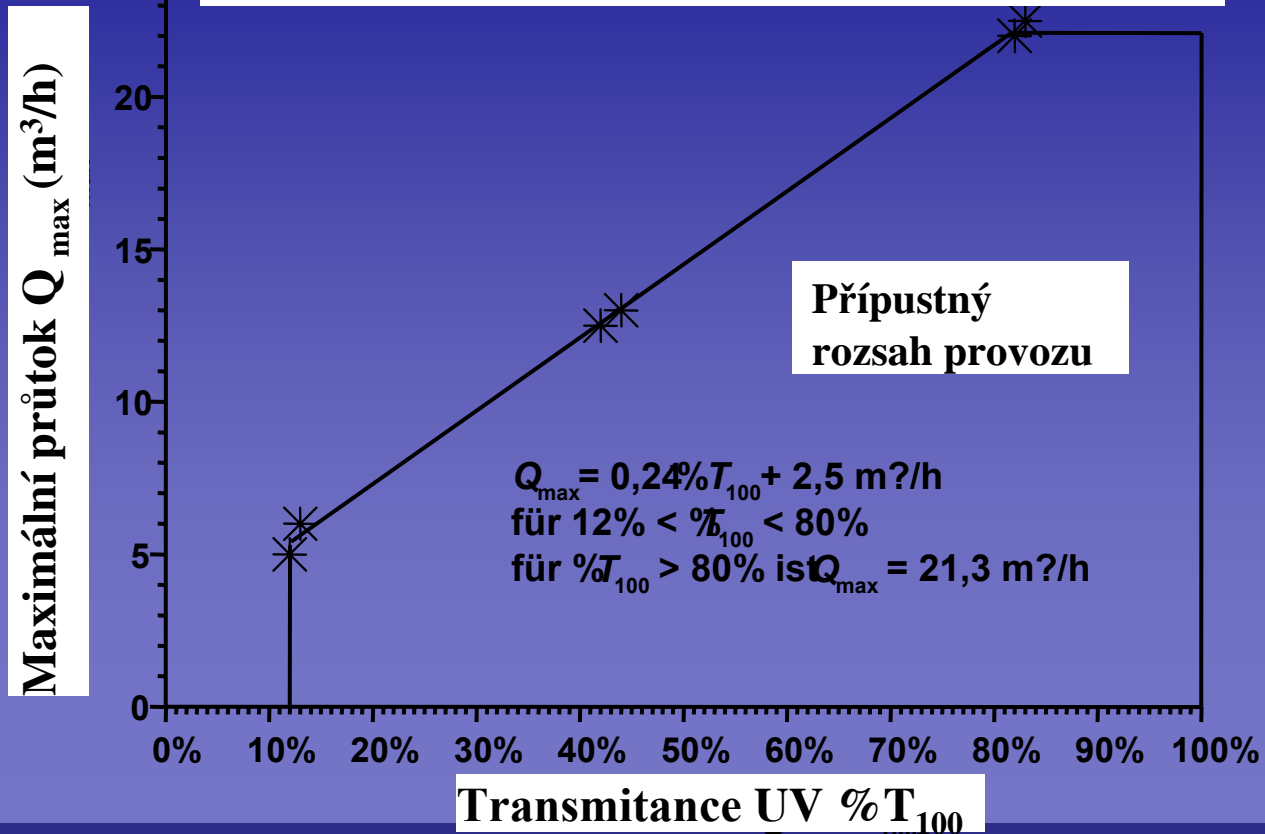
Min. hodnota (W/m ²) Referenční senzor	Min. hodnota (W/m ²) prov. senzor	Max. hodnota (W/m ²) prov. senzor	Max. průtok Q_{\max}	Min. UV- Transmittance $\%T_{100 \text{ mm}; 253,7 \text{ nm}}$
W/m ²	W/m ²	W/m ²	m ³ /h	%
13,0	9,7	16,0	7,0	50
13,5	10,0	16,6	8,0	55
14,0	10,4	17,3	9,0	60
14,5	10,8	17,9	10,0	65
15,0	11,2	18,6	11,0	70

Výsledek biodozimetrické zkoušky

Povolené provozní podmínky



*korigované naměřené hodnoty (pro 400 J/m²)
(15% nejistota měření, 70% výkon zářiče)



Validace UV systémů- zbytečnost x nutnost?



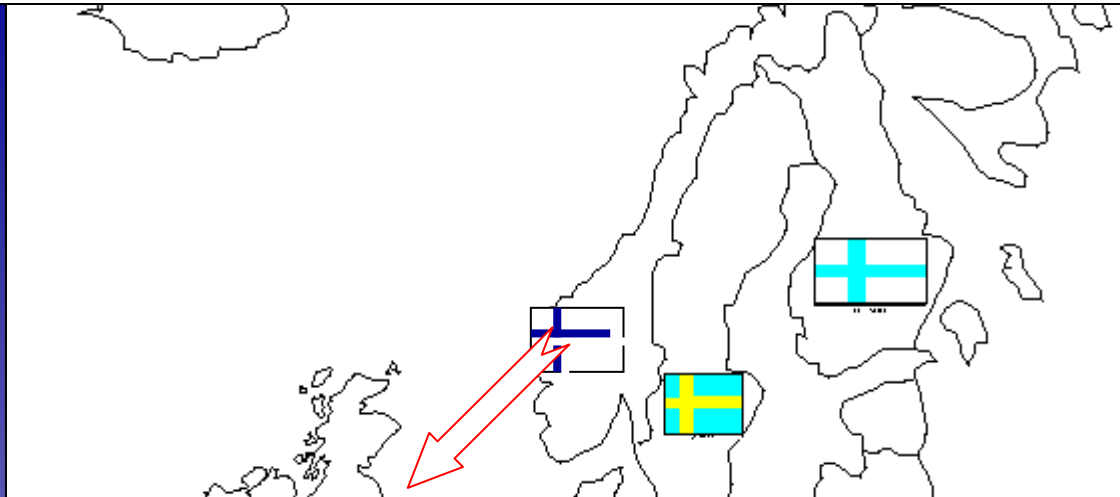
Přímé měření dávky není možné!

Zákazník je odkázán na dodavatele.

Kde lze získat validační certifikát?

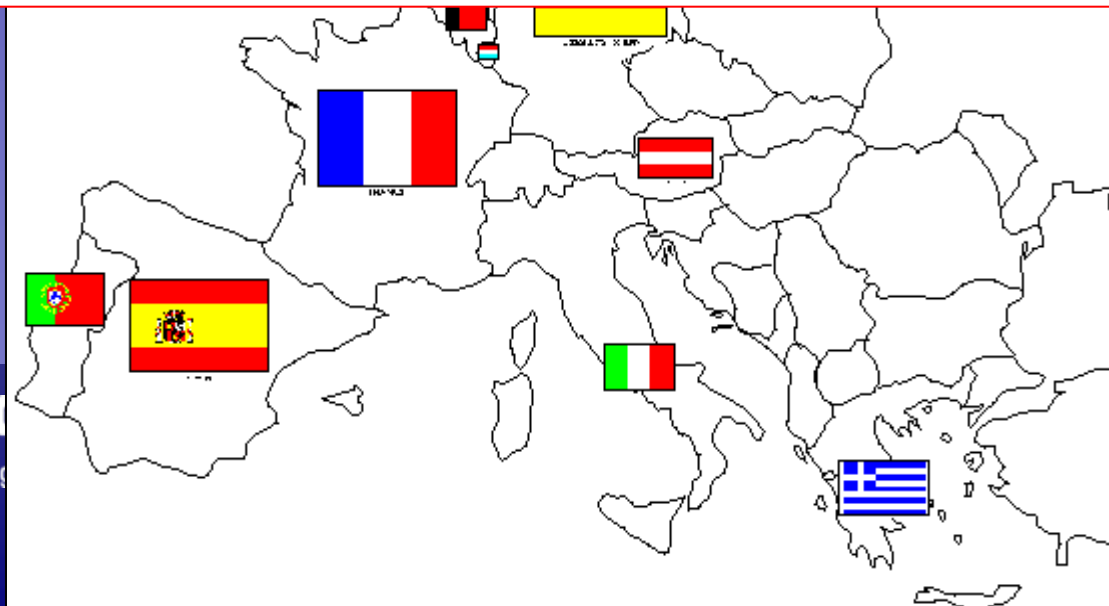
- standardy O Norm 5873 v Rakousku (validační centrum ve Vídni)
- standardy W 294 DVGW v Německu (validační centrum Sieburg)
- standardy US EPA v Severní Americe (validační centra v Johnstown, Portland, Grand Bend)

Stav legislativy v některých evropských zemích

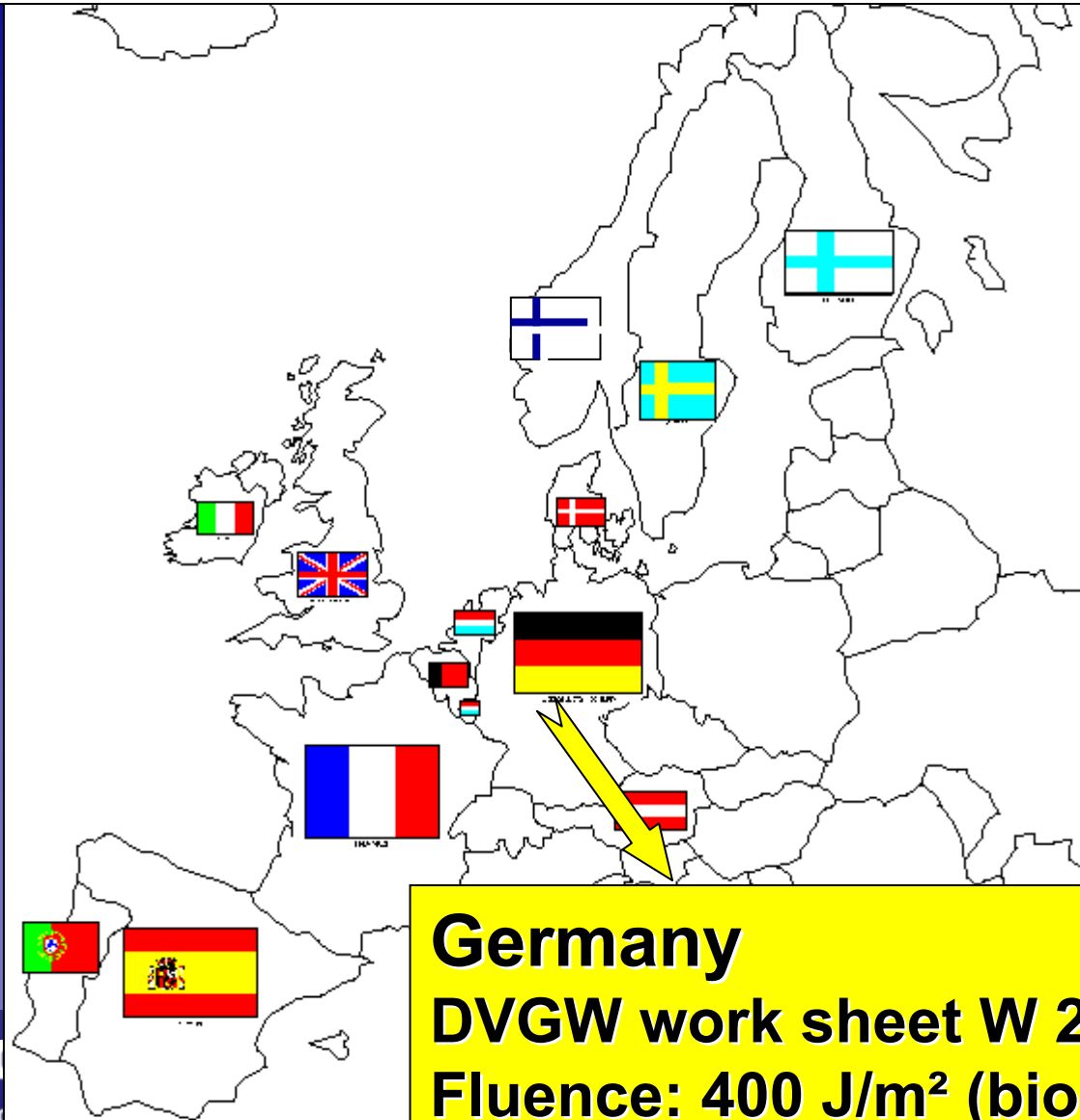


Norway

400J/m² bidosimetricky, akceptují OVGW, DVGW



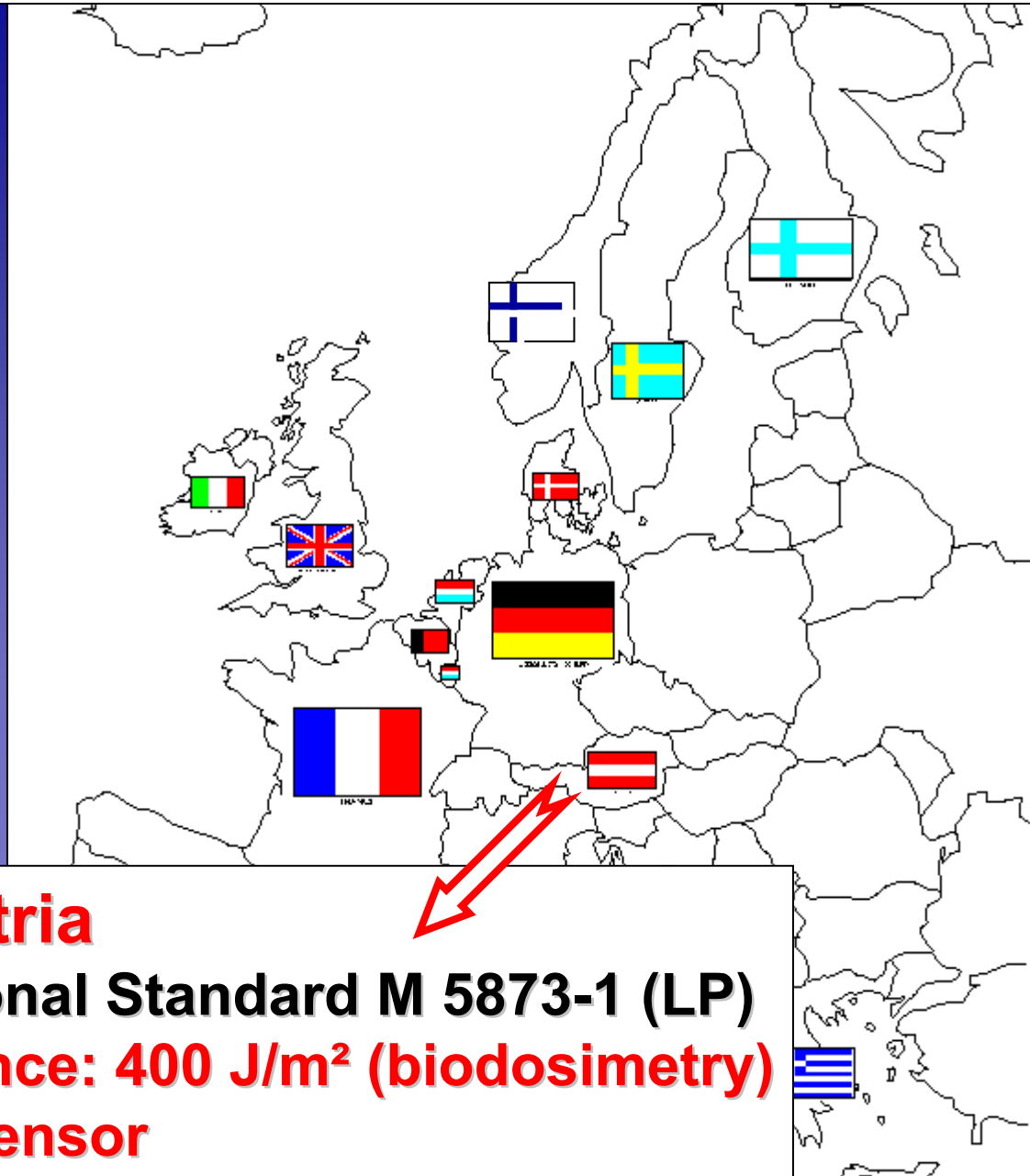
Stav legislativy v některých evropských zemích



Germany
DVGW work sheet W 294 (LP, MP)
Fluence: 400 J/m² (biodosimetry)
UV sensor

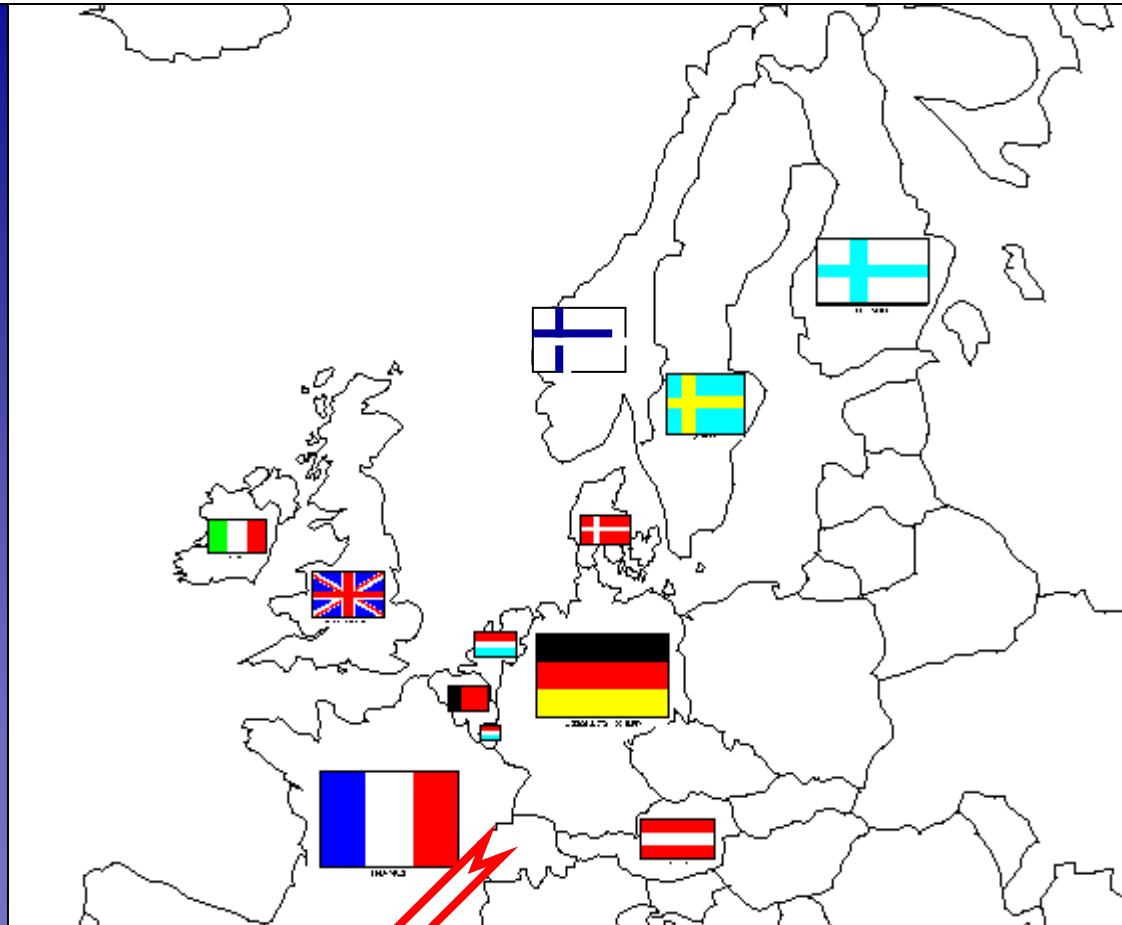


Stav legislativy v některých evropských zemích



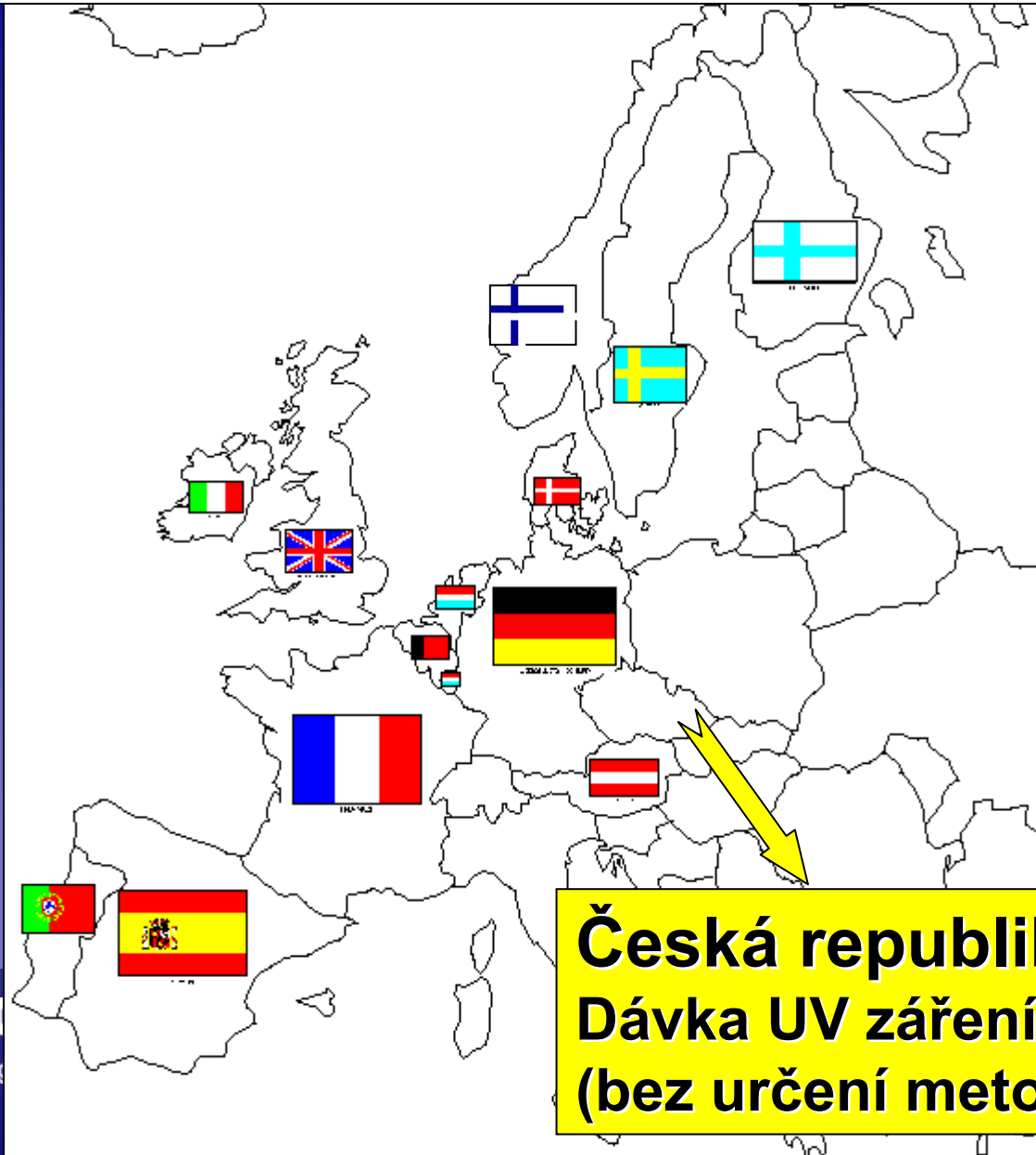
Austria
National Standard M 5873-1 (LP)
Fluence: 400 J/m² (biodosimetry)
UV sensor

Stav legislativy v některých evropských zemích



Švýcarsko,
SVGW, 400J/m² bidosimetricky, akceptují OVGW, DVGW

Stav legislativy v některých evropských zemích



Česká republika
Dávka UV záření: 400 J/m²
(bez určení metody stanovení)





ÖNORM M 5873-1 E

Edition: 2001-03-01

Plants for the disinfection of water using ultraviolet radiation

Requirements and testing

Part 1: Low pressure mercury lamp plants

1. UV dávka: 400 J/m² (REF)
2. validace (Biodosimetrie)
3. Dozor (kalibrovaný senzor ve W/m²)





1. Dávka UV záření

**Proč
400 J/m² (40mJ/cm²)**



Dávky pro redukci o 4 log (99.99%) ve vodě

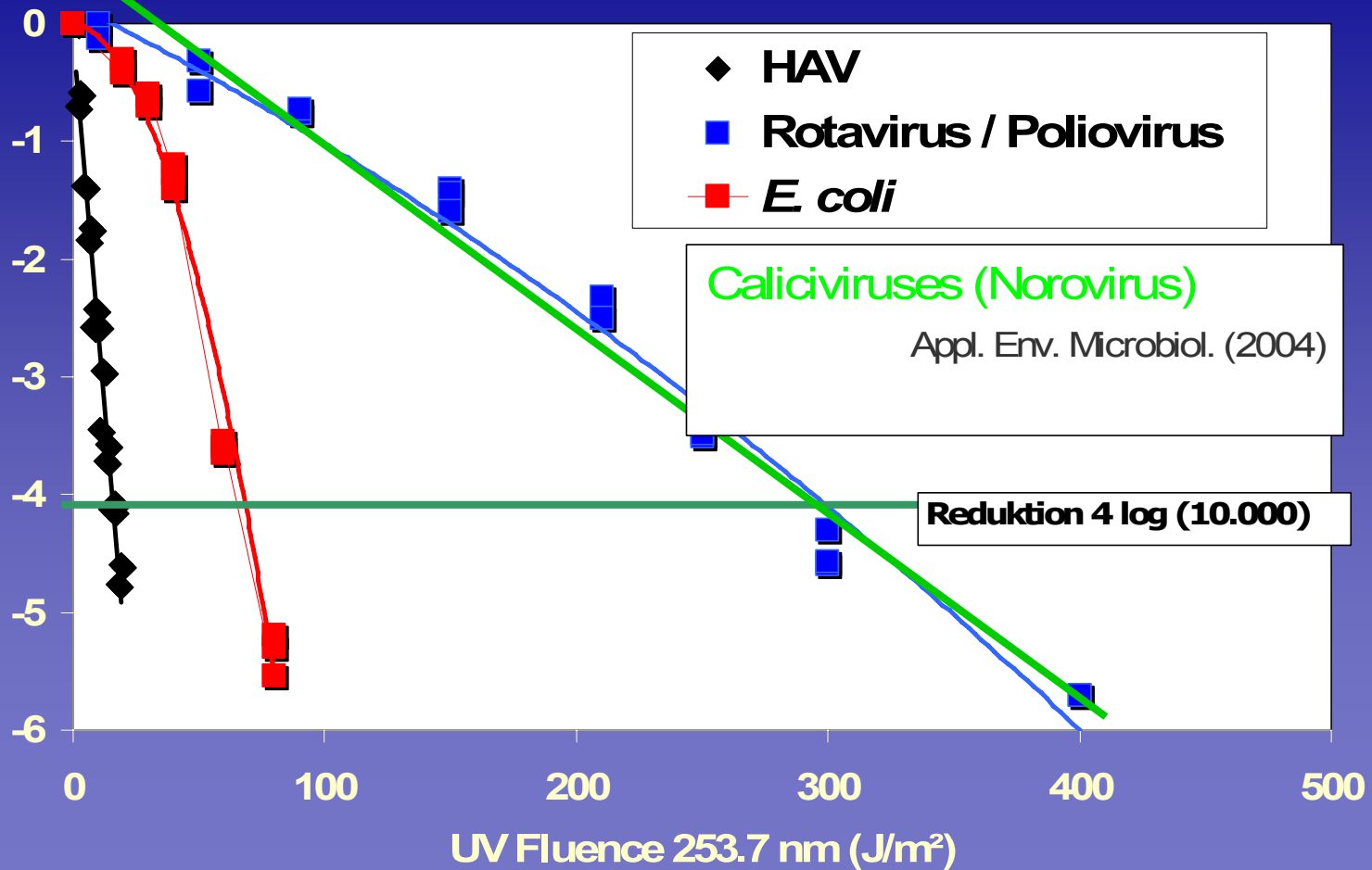
human pathogenic viruses	Poliovirus	Rotavirus	Parvovirus
UV Fluence (J m^{-2})	300	390	200

Sommer, Cabaj et al. (1989) Zbl. Hyg. 189, 214-224.

Indicator bacteria (EU directive 83/98)	<i>E. coli</i>	<i>Enterococcus faecium</i>	<i>P. aeruginosa</i>
UV Fluence (J m^{-2})	75	80	100

Sommer et al. (1998). Wat. Sci. Tech. 38 (12), 145-150.

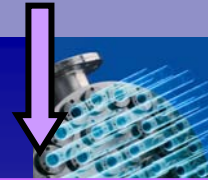
Mikrobiologická citlivost vybraných ukazatelů





2. BIODOSIMETRIE

Reduction Equivalent Fluence versus vypočtené UV dávky od výrobce. (Redukce of *E. faecium* pro srovnání)



Flow (m ³ /h)	Water Transmittance % (253,7 nm; 100 mm)	Reference fluence rate (W/m ²)	REF ¹⁾ (J/m ²) measured	UV Fluence (J/m ²) calculated	reduction lg(N/No) <i>E. faecium</i>
0.49	10	0,9	< 200	400	> 6
0.49	82	1,4	< 200	400	> 6
19.0	37	16.5	293 ± 10	420	> 6
28.0	88	50.8	325 ± 13	420	> 6
90.0	80	39.4	447 ± 10	400	> 6
400.0	90	103.4	450 ± 15	340	> 6



Stanovení provozních parametrů - **ALARM POINTS**

- maximální průtok
- minimální UV-transmittance vody
- minimální hodnota ozáření (W/m^2) = displej

3. Sledování UV dezinfekce při běžném provozu

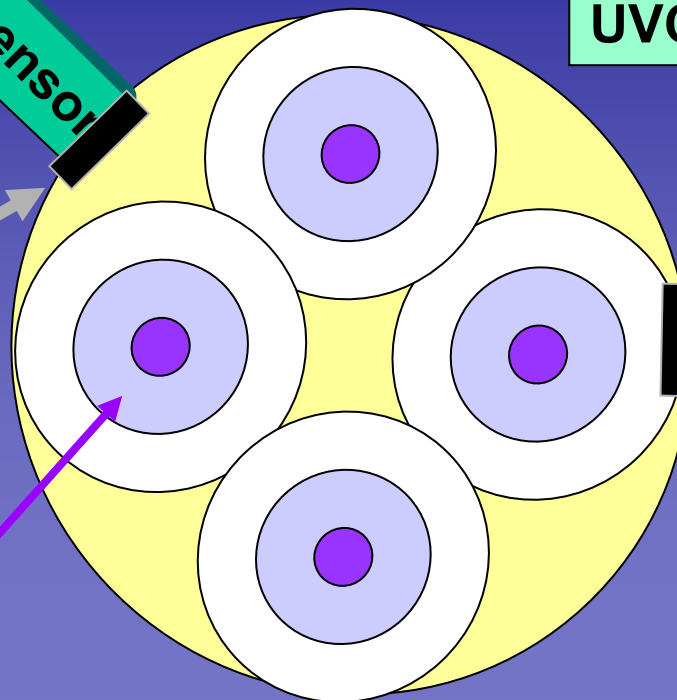


Watt / m²

Signál závislý na :
UV-transmittanci
UVC výkonu zářičů

standardizované
měřící okno

UV lampy



Sensor → Watt / m²

Monitoring: měření hodnoty ozáření



Přímé měření dávky není možné

UV senzor měří nepřetržitě hodnotu ozáření v reaktoru, jejíž minimální hodnota (alarm) je dána certifikátem nebo stanovena výrobcem

Senzor sleduje:
stárnutí lamp
zanášení křemenných trubic
Kvalitu vody (transmisi)

Požadavky na senzor: selektivita, citlivost, stabilita ...

Požadavky O Norm na monitoring:
možnost výměny senzoru
za chodu UV jednotky, náhodné kontroly

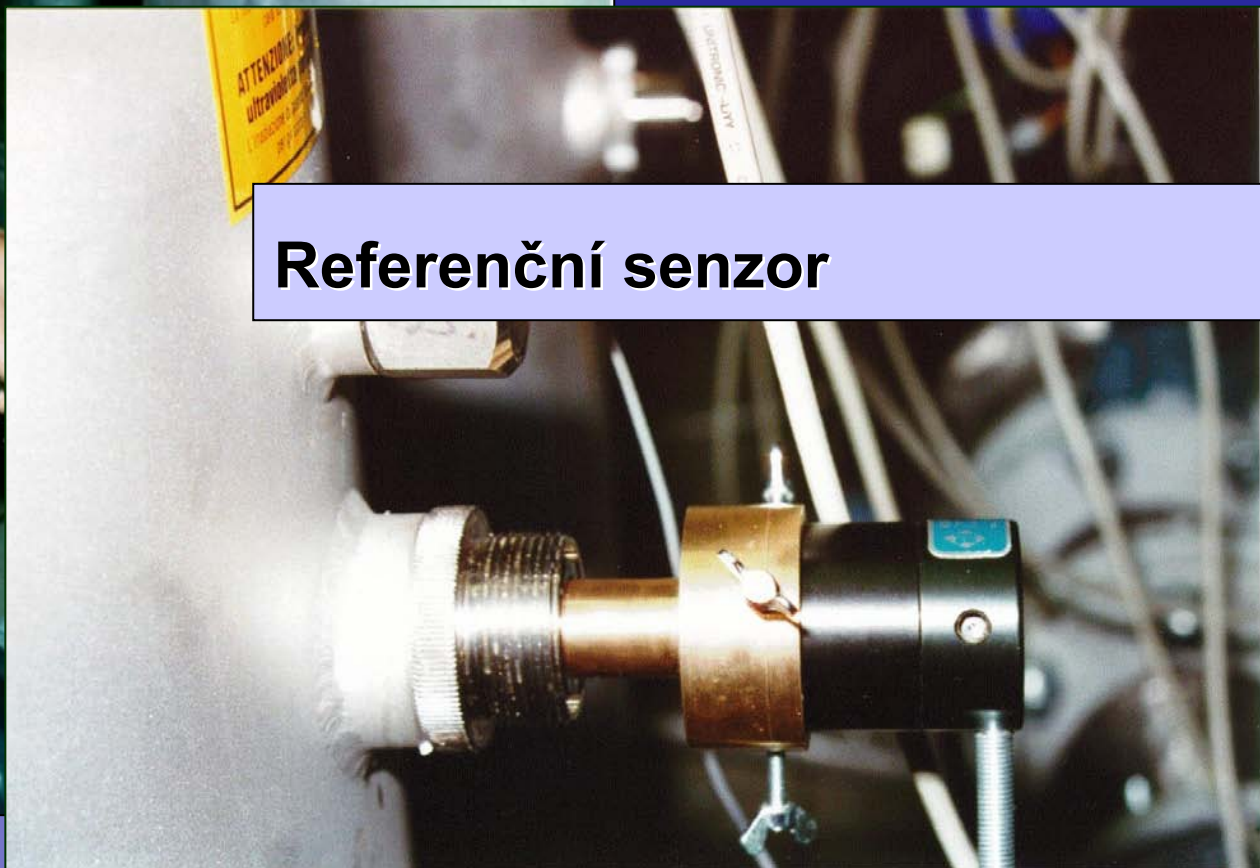


Kontrola správné funkce UV senzoru: odpovědný pracovník státní správy ověřuje správnost měření referenčním senzorem



**Výměna
provozního
senzoru**

Kontrola správné funkce UV senzoru: odpovědný pracovník státní správy ověřuje správnost měření referenčním senzorem



Referenční senzor



Bez certifikace/validace hrozí:

Obecně: neexistence objektivních kritérií ověření dávky UV záření, na kterou byl vypsán projekt (**deklaroval dodavatel**)

Pro provozovatele/investory: **nemožnost srovnat vícero nabídek, srovnávání hrušky s hruškama**

Pro pracovníky ZÚ a HS: **nemožnost nezávislého dohledu na správnou a bezpečnou funkci UV dezinfekce během běžného provozu**

Dva základní typy zářičů

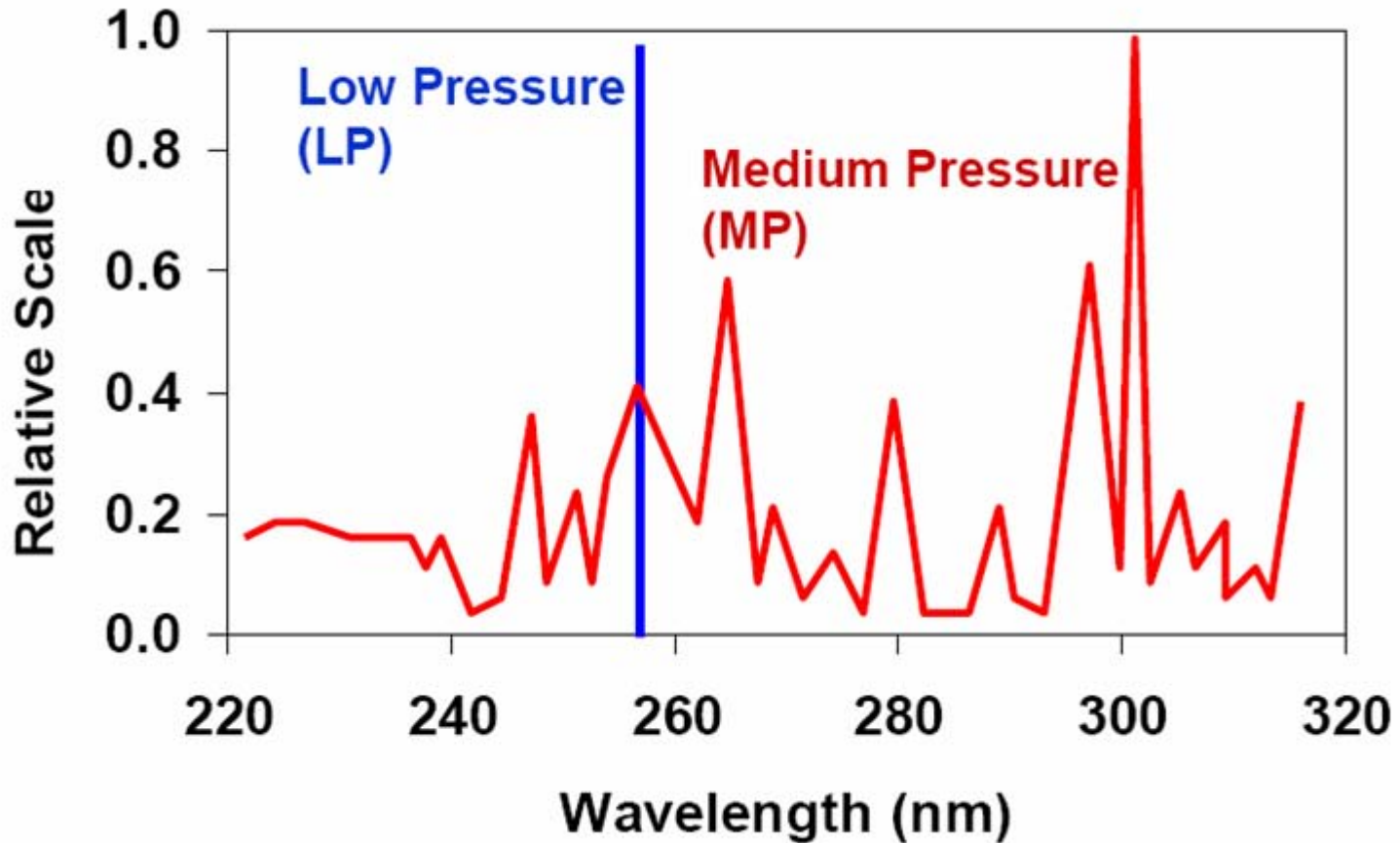


Nízkotlaké (LP)
(253,7 nm)

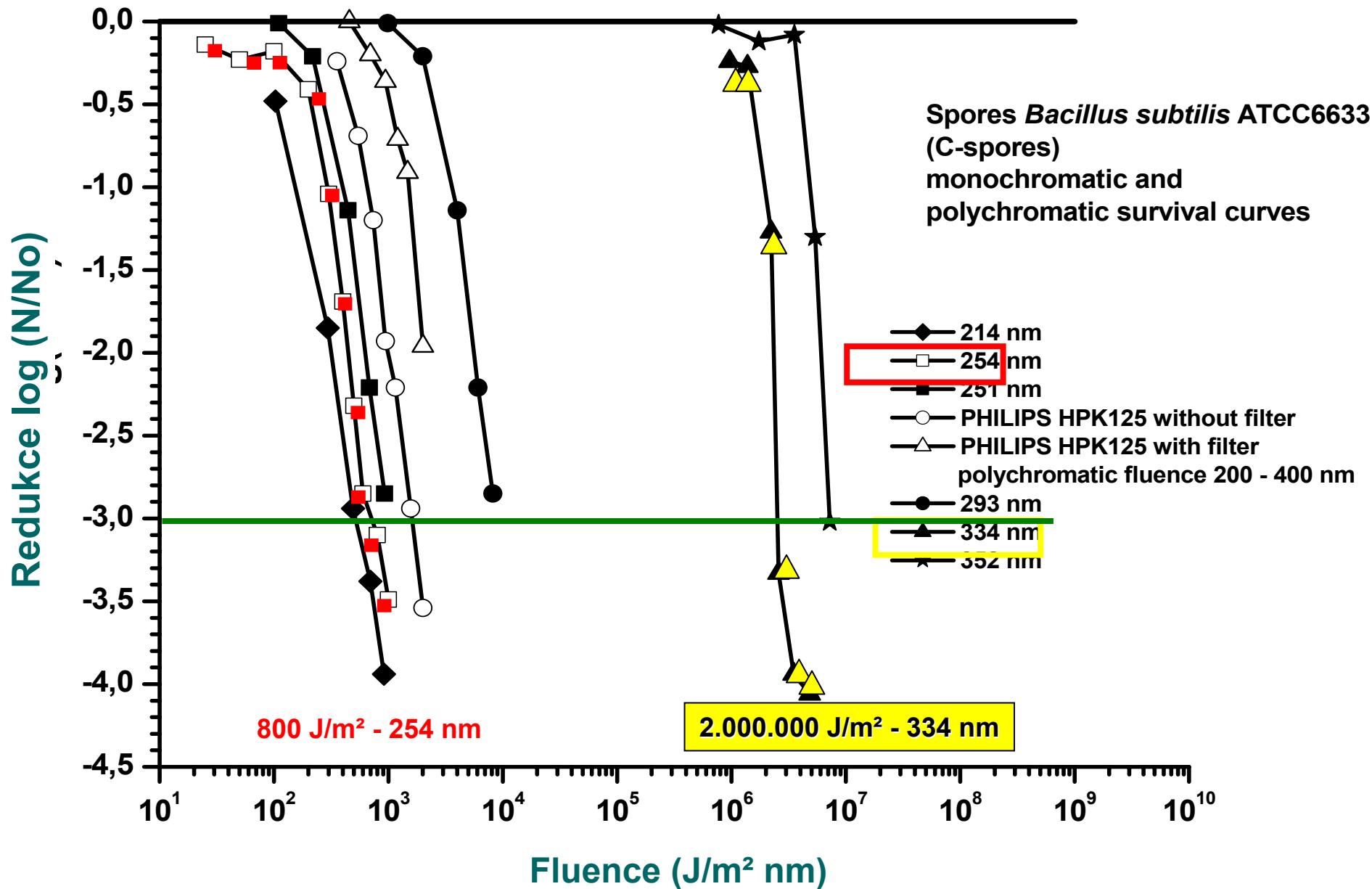
středotlaké (MP)
(200-700 nm)

Srovnání emisních spekter

Zdroj: R. Hofmann, Universita Toronto, Drinking water research group,
IUVA/OWWA konference, květen 2003



UV Inaktivace *B. subtilis* spores při ozáření různými vln. délkami



Klasická geometrie

Zářiče || Q



WEDECO AG
Water Technology

DISA v.o.s.
Jiří Beneš

Středotlaké systémy

Příčná geometrie

Zářiče \perp Q



WEDECO AG
Water Technology

DISA v.o.s.
Jiří Beneš

Příčná geometrie

nízkotlaké zářiče

Q = do 5 000 m³/h



UV jednotky pro vyšší
průtoky



WEDECO AG
Water Technology



DISA v.o.s.
Jiří Beneš

-nízkotlaké zářiče

USA, pitná voda



W 1.263 W 1.264 W 1.265



ADVANTAGES

- Very low electricity costs
- Long lamp life
- Low cleaning costs
- Very long service life of the quartz tubes

UV jednotky pro vyšší průtoky

WEDECO AG
Water Technology

DISA v.o.s.
Jiří Beneš

Nízkotlaké systémy

SRN, pitná voda
Q=14 200m³/h



WEDECO AG
Water Technology

DISA v.o.s.
Jiří Beneš

ÚV Valašské Meziříčí, KM 100

středotlaký zářič
výkon zářiče 2500W
průtok: 30 L/s
Spotřeba: 2,75 kW
UV dávka: 400J/m²
Transmise: 94% v 1 cm
zprovoznění: 12. 2004
Manuální ovládání
Ruční stírání



ÚV Jirkov, KM 900



středotlaký zářič
výkon zářiče 4 100W
průtok: 240 L/s
Spotřeba: 13,5 kW
UV dávka: 400J/m²
Transmise: 96% v 1 cm
zprovoznění: 11. 2004
automatické ovládání
automatické stírání



WEDECO AG
Water Technology

DISA v.o.s.
Jiří Beneš

ÚV Souš, KM 900



středotlaký zářič
výkon zářiče 4 100W
průtok: 240 L/s
Spotřeba: 13,5 kW
UV dávka: 400J/m²
Transmise: 96% v 1 cm
zprovoznění: 12. 2004
automatické ovládání
automatické stírání



ÚV Rožnov, BX 200

nízkotlaký zářič

výkon zářiče 330W

průtok: 50 L/s

Spotřeba: 1,4 kW

UV dávka: 400J/m²

Transmise: 90% v 1 cm

zprovoznění: 11. 2005



WEDECO AG
Water Technology

DISA v.o.s.
Jiří Beneš



UV záření

- ◆ je cenný způsob dezinfekce pitné vody
- ◆ dlouholeté zkušenosti v Evropě ověřili její praktické použití

Pro její použití by mělo být splněno:



- ◆ definovaná dostatečná dávka (SZÚ, legislativa)
- ◆ zajištění dávky v provozu: validace UV jednotek (biodosimetrie)
- ◆ deklarace správných provozních podmínek, které musí být pravidelně během provozu kontrolovány

Bezpečná UV dezinfekce pitné vody



Snažme se porozumět UV dezinfekci co nejvíce abychom věděli, co nám může nabídnout, s čím nám může pomoci

Pozorně přistupujme k monitoringu ozáření hlavně pro středotlaké zářiče

Legislativa by neměla jen stanovit min. dávku, ale rovněž specifikovat metodu, jakou má být dávka vypočtena

Potřeba doplnění poznatků o spektrální UV citlivosti jak patogenních mikroorganismů, tak biososimetrů

Potřeba studia vedlejších produktů středotlaků – pro nevyjasněnost rakouská norma min. 240nm, US EPA vyšší dávky pro MP- zkoumá se posun ve spektru



***Poděkování prof. Sommerové,
spoluautorce rakouské normy M 5873-1 a 2
z Medical University Vienna***