

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

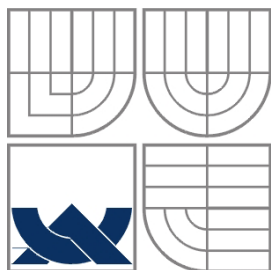
PROBLEMATIKA NAKLÁDÁNÍ S DEŠŤOVÝMI VODAMI
Z KOMUNIKACÍ

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

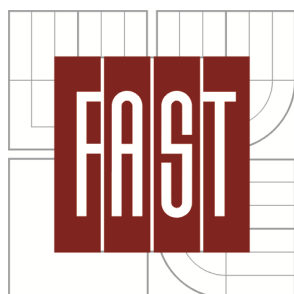
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. MARIE OPRCHALOVÁ

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

PROBLEMATIKA NAKLÁDÁNÍ S DEŠŤOVÝMI VODAMI Z KOMUNIKACÍ

PROBLEMS OF DISPOSAL WITH RAINWATER FROM A COMMUNICATION

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. MARIE OPRCHALOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

PROF. ING. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA

BRNO 2013

Abstrakt

Zvyšováním intenzity dopravy na stávajících komunikacích, výstavba nových dálnic a rychlostních komunikací způsobuje větší znečištění povrchových vod látkami, které pocházejí z údržby cest a provozu vozidel. Proto jsou zařízení na úpravu těchto kontaminovaných vod jako např. odlučovače lehkých kapalin v dnešní době velmi aktuální.

Předmětem této práce bylo testování možnosti zvýšení účinnosti mechanického odlučovače lehkých kapalin instalací různých typů vestaveb. Cílem bylo zjistit účinnost této konvenční technologie, která je energeticky a technicky nenáročná a její využitelnost pro předčištění (předúpravu) před případným dalším stupněm čištění.

Abstract

Transportation has unfavorably influence on a quality of enviroment. Increase of traffic leads to construction of new motorways and to intensify the traffic on current comuncations. A consequence is more polluted hard surfaces, when surface-wash contaminate soil, surface water and underground water. Devices for treating contaminated water, such as oil-separators, are very actual in these days.

The subject of this thesis was to test the possibilities of increasing effectiveness of mechanical separator for light liquids by installing various types of constructions. Target was to determine effectiveness of this conventional technology, which is energetically and technically simple and find out applicability for first step cleaning and further usage.

Klíčová slova

Odlučovač lehkých kapalin, dešťové vody, zaolejované vody, separace ropných látek

Keywords

Separator systems for light liquids, rainwater, oily water, separator of oil substances

Bibliografická citace disertační práce

OPRCHALOVÁ, Marie. *Problematika nakládání s dešťovými vodami z komunikací*: Brno, 2013, 98 str. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování:

Děkuji svému školiteli prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za pomoc a vedení při tvoření této práce. Děkuji Ing. Karlu Plotěnému za odbornou pomoc, která napomohla ke zkvalitnění této práce. V neposlední řadě děkuji mé rodině za jejich podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

1. ÚVOD	3
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	4
2.1. LÉHKÉ KAPALINY	6
2.1.1. Definice a struktura	6
2.1.2. Výskyt v životním prostředí	7
2.1.3. Vlastnosti, klasifikace, škodlivost látek	9
2.1.4. Rozpusťnost ropných látek	11
2.1.5. Odstraňování, zachycení nebo minimalizace	13
2.1.6. Legislativa a normy	17
2.2. POLYCYKLIČKÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY	18
2.2.1. Definice a struktura	18
2.2.2. Výskyt v životním prostředí	19
2.2.3. Vlastnosti, klasifikace, škodlivost látek	20
2.2.4. Metody stanovení PAU	22
2.2.5. Normy pro stanovení PAU	23
2.3. TĚŽKÉ KOVY	25
2.3.1. Definice a struktura	25
2.3.2. Výskyt v životním prostředí	25
2.3.3. Vlastnosti, klasifikace, škodlivost látek	26
2.3.4. Metody stanovení těžkých kovů	28
2.4. CHLORIDY	29
2.4.1. Druhy posypových materiálů	29
2.4.2. Vlastnosti, klasifikace, škodlivost látek	31
2.4.3. Legislativa	32
2.5. MOŽNOSTI MINIMALIZACE ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK	33
2.5.1. Odlučovače lehkých kapalin	33
2.5.2. Dešťová usazovací nádrž (sedimentační nádrž)	54
2.5.3. Jednoúčelové speciální objekty (např. rozdělovací objekty)	55

2.5.4.	Retenční filtrační nádrž	55
2.5.5.	Kombinace objektů	56
2.5.6.	Nanotechnologie.....	63
3.	CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	68
4.	POROVNÁNÍ ÚČINNOSTI ODLUČOVAČE LEHKÝCH KAPALIN	70
4.1.	METODIKA	70
4.2.	ZKUŠEBNÍ TEKUTINA.....	70
4.3.	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ	70
4.3.1.	Druhy vestaveb.....	72
4.4.	STANOVENÍ OBSAHU UHLOVODÍKŮ VE VZORCÍCH	73
4.5.	PROVEDENÍ TESTŮ.....	73
4.5.1.	Testování dle ČSN EN 858-1	74
4.5.2.	Testování dle ÖNORM B1504.....	79
5.	VÝZNAM DISERTAČNÍ PRÁCE PRO PRAXI A ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU	85
6.	ZÁVĚR	86
7.	SUMMARY	88
8.	SEZNAMY	90
8.1.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	90
8.2.	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	94
8.3.	SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	96

1. ÚVOD

Silniční doprava v České republice a jiných zemích nepříznivě ovlivňuje kvalitu životního prostředí. Nárůst dopravy vede k výstavbě nových dálnic, rychlostních komunikací a k zahušťování dopravy na stávajících komunikacích. Povrchové smyvy z těchto komunikací kontaminují půdu, povrchové a podzemní vody. Vody odtékající z komunikací jsou znečištěny látkami pocházejícími z údržby cest a samotným provozem vozidel (opotřebováním pneumatik a brzdových kotoučů, zbytky z procesu spalování v motorech, atd.).

Automobilová doprava ovlivňuje rozhodujícím způsobem stupeň znečištění dešťového odtoku z vozovek a současně i znečištění půdy v okolí vozovek. Dešťová voda na vozovkách a v ní obsažené látky jsou projíždějícími vozidly za eventuálního přispění větru rozstříkávány do okolí. Půda a vegetační pruhy podél vozovek jsou proto i při odkanalizování vozovek silně znečištěny snadno absorbovatelnými těžkými kovy, uhlovodíky a jinými syntetickými látkami. (Beránková, 2008)

Česká republika má závazky vyplývající z přístupové smlouvy k EU a splnění těchto závazků závisí i na vyřešení některých druhů znečištění z povrchových vod, přičemž právě vody odtékající z komunikací patří k těm zdrojům znečištění, které nelze opomenout. Legislativně se problematikou zabývá Rámcová směrnice pro vodní politiku 2000/60/ES (WFD), ze které vyplývají pro členské státy důležité požadavky na dobrý a ekologický stav vodních útvarů, snižování a zastavení úniků nebezpečných látek do vodního prostředí.



Obr. 1.1 – Dálnice (ŘSD ČR, 2012)

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Působením člověka neustále dochází ke snižování kvality povrchových a podzemních vod. Jedním z negativních faktorů ovlivňujícím právě jejich kvalitu jsou nejrůznější druhy dopravy. Znečištění silniční dopravou může mít charakter náhodný, v podobě havárií automobilů, kdy dochází k úniku pohonných hmot, motorových olejů, provozních kapalin a dalších škodlivin, ale také dlouhodobým vlivem výfukových plynů, obrusů pneumatik a svrchní konstrukce vozovky a úkapů pohonných hmot (viz. Tab. 2.1).

Znečištění povrchových vod je způsobeno splachy srážkových vod z povrchu komunikací s vysokou intenzitou dopravy, zejména dálnic a rychlostních komunikací. V povrchovém odtoku byla identifikována celá řada škodlivin, včetně kovových prvků a suspendovaných pevných látek vznikajících při dopravním provozu, zejména obrušováním povrchu vozovek a pneumatik.

Škodliviny mohou rovněž pocházet z materiálů používaných k údržbě silnic, ploch odpočívadel a parkovišť, zejména v zimním období, kdy může být kontaminace spojena s aplikací rozmrazovacích prostředků a nemrznoucích směsí.

Další významné riziko možné kontaminace životního prostředí představují čerpací stanice, v jejichž blízkosti a na přilehlých parkovištích byly stanoveny nejvyšší koncentrace PAU. Silniční komunikace jsou podle řady studií rovněž hlavním zdrojem chloridů, které neodtékají vodním tokem, ale převážně se vsakují do půdního a horninového prostředí, kde za vhodných podmínek může docházet k jejich akumulaci a následnému postupnému vymývání.

Obdobným problémem, i když ne tak naléhavým, je kontaminace podzemních vod škodlivinami z materiálů používaných na výstavbu vozovek. Při té se v minulých letech užívala celá řada materiálů, které splňovaly v dané době technické požadavky na výstavbu, avšak v současnosti, v důsledku přísnějších opatření (limitů), mohou mít negativní vliv na složky životního prostředí a zdraví člověka.

Dlouhodobá kontaminace půd v okolí pozemních komunikací je spojena zejména se splachem škodlivin z povrchu vozovek a jejich rozstříkáním do okolí projíždějícími automobily. Ke znečištění půd může dojít také při užívání zdrsňujících posypových materiálů a chemických rozmrazovacích materiálů při zimní údržbě pozemních komunikací. Problematika kontaminace půd je rovněž úzce spojena s vyluhováním škodlivin ze samostatných těles komunikací, kdy vlivem vody vsakující do tělesa vozovky dochází k jejich vyluhování a následnému transportu do okolního prostředí. (*Adamec a kol., 2008*)

Tab. 2.1 – Původ škodlivých látek

Původ	Škodlivé látky
Atmosferické srážky	
Děšť vymývá z usazených anorganických a organických látek (zbytky rostlin apod.)	NL, P, NH ₄ -N, NO ₃ -N, Zn, Pb, Ca, Fe, uhlovodíky, organické látky
Provoz vozidel	
Oděr komunikace a dopravního značení	Sloučeniny síry, dusíku, kovů, Ca, PAU, bitumen
Otěr pneumatik	Zn, Ca, Pb, síra, aromatické uhlovodíky, PAU
Otěr brzd	Cu, Ni, Cr, Pb, Fe
Zbytky ze spalování	Uhlovodíky, Pb, Zn, MTBE, ETBE
Úkapy	Uhlovodíky, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, aditiva
Koroze	Al, Cu, Fe
Katalyzátory	Pt, Pa, Rh
Zimní a letní údržba komunikací	Chloridy, pesticidy

Tab. 2.2 – Účinky obsažených látek

Obsažené látky/parametr	Účinky na:
N _{celk} , P _{celk} , CHSK	Tekoucí vody – zhoršení stavu vod, trofie
Amoniak	Ryby – jedovaté
Hliník	Lidé – ovlivnění růstu kostí, nervového systému a alergetické reakce
Zinek	Lidé – nevolnost
Měď	Mikroorganismy – toxické
Olovo	Lidé – toxické, únava, bolení hlavy, defektní stavy nervového systému
Kadmium	Lidé – poškození ledvin a kostí, karcinogenní
Uhlovodíky	Voda – ohrožení života vodních organismů
PAU	Lidé – karcinogenní, genotoxické
Pt, Pa, Rh – skupina platiny	Lidé – alergické reakce, poškození ledvin a jater
MTBE	Lidé – karcinogenní
Chloridy	Půda – destabilizace, uvolnění těžkých kovů Vody – poškození fauny a flory Rostliny – poškození jako by měly málo vody

Znečišťující látky obsažené v dešťových vodách z dopravy:

- lehké kapaliny;
- polycyklické aromatické uhlovodíky;
- těžké kovy;
- chloridy.



Obr. 2.1 – Komunikace (ŘSD ČR, 2012)

2.1. LÉHKÉ KAPALINY

2.1.1. Definice a struktura

Lehké kapaliny jsou definovány v ČSN EN 858-1 „Odlučovače lehkých kapalin“ jako kapaliny s hustotou do $0,95 \text{ g.cm}^3$, které jsou nerozpustné a nezmýdelnitelné, např. motorový benzín, motorová nafta, topný olej a jiné oleje minerálního původu, avšak s vyloučením (mazacího) tuku a olejů rostlinného a živočišného původu.

Ropnými látkami se označují uhlovodíky a jejich směsi, které jsou při teplotě $+40 \text{ °C}$ ještě tekuté. (Grünwald, 1993) Ropné látky jsou tvořeny především ropnými uhlovodíky n-alkany, iso-alkany a cyklickými a aromatickými uhlovodíky (mono- a polycyklickými), nesubstituovanými i substituovanými. V ropných uhlovodících chybějí alkeny a alkiny. (Škorvan, 2009)

Protože uhlovodíky ve vodách nemusí být vždy ropného původu, ale mohou být i původu přírodního (mohou vznikat biologickými pochody), upustilo se od pojmu „stanovení ropných látek“ a hovoří se o stanovení nepolárních extrahovatelných látek (NEL).

Hlavním zdrojem uhlovodíků jsou produkty získané z ropy: benzíny, petrolej, motorová nafta, topné mazací oleje, mazut a asfalt. Směsi uhlovodíků jsou asi od C_4 - C_{12} benzíny, asi od C_{12} - C_{18} petroleje, asi od C_{16} - C_{24} topné oleje a od C_{24} - C_{40} mazací oleje. Samostatnou skupinu tvoří polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). (Pitter, 1999)

Rozdělení ropných látek dle použitelnosti:

- Benzíny jsou směsi uhlovodíků C_4 - C_{12} , vroucí v rozmezí teplot $30\text{ °C} - 210\text{ °C}$. Obsahují alkyly, isoalkany, cyklopentany, cyklohexany, benzen a jeho homology.
- Oleje obsahují uhlovodíky C_{16} - C_{24} . Minerální oleje se dělí (podle viskozity) na lehké, střední a těžké. V rámci těchto tříd existuje však dlouhá řada označení (strojní, ložiskový, motorový, vyplachovací, převodový, turbínový, kompresorový, vřetenový aj.).
- Ropa (surová nafta) je tmavá olejovitá kapalina, obvykle lehčí než voda a ve vodě nerozpustná. Podle převažujících typů uhlovodíků se ropa dělí na parafinické, naftenické, aromatické a asfaltické. Kromě uhlíku a vodíku obsahuje ropa i dusík, kyslík a kovy (hlavně sodík a hořčík). Z hygienického hlediska i technicky je významný obsah vanadu, niklu a hlavně síry.
- Nafta. Jako motorová či topná nafta se označuje produkt, kterým je kapalina získávána destilací ropy v teplotním rozmezí $170\text{ °C} - 360\text{ °C}$. Jsou u ní dominantní alkyly C_{10} - C_{20} a je to tzv. parafinická ropa. (Škorvan, 2009)

2.1.2. Výskyt v životním prostředí

Uhlovodíky ze spalovacích procesů je kontaminována především atmosféra, odkud se suchou a mokrou depozicí dostávají do vody a půdy. Voda a půda jsou přímo kontaminovány především při haváriích vznikajících v důsledku technických závad a chyb obsluhy při dopravě, manipulaci a skladování ropy a ropných produktů.

Uhlovodíky (včetně PAU) mohou však v přírodě vznikat i přírodními biologickými procesy, biosyntézou řas, vodních rostlin a bakterií, např. mohou vznikat jako produkty metabolismu některých bakterií a fytoplanktonu. (Pitter, 1999)

Únik ropných látek do vodního toku obvykle provází tvorba olejovitých filmů na vodní hladině. Jedná se o koncentraci volných olejů nad $0,1$ až $0,2\text{ mg/l}$ (50 litrů oleje stačí pokrýt

1 km² vodní plochy vrstvičkou o tloušťce 0,05 mm (*Synáčková, 2000*). Pokud je vrstva ropných látek na hladině dostatečně silná, může omezit přestup kyslíku z ovzduší do vody, čímž jsou negativně ovlivněny procesy samočištění. (*Grünwald, 1993*)

V praxi dochází k souvislému olejovitému filmu velmi málo. Zabraňují tomu meteorologické vlivy a proudění vody. Vznik filmů podporuje samovolné rozptylování ropných látek po povrchu vodní hladiny. Rychlost šíření po hladině je podmíněna viskozitou látky. Viskozita závisí na teplotě, z čehož vyplývá, že vysokovroucí ropné látky se šíří po hladině pomaleji než níževroucí frakce. Rychlost odpařování ropných látek ovlivňují meteorologické podmínky a hydraulické vlivy. Tyto vlivy se také uplatňují při rozptylování souvislých plovoucích filmových vrstev ropných látek a podporují jejich rozpouštění ve vodné fázi, popřípadě emulgaci.

Po rozpadu plovoucích ropných filmů v důsledku rozpouštění ropných látek, emulgace, biochemických a oxidačních procesů, po odpaření nízkovroucích uhlovodíků do ovzduší zůstanou u hladiny jen málo rozpustné těžší ropné uhlovodíky. Ty pak ulpívají na březích říčního koryta či vodní nádrže. Značná část ropných látek se také postupně absorbuje na přítomné suspendované drobné částice splavenin.

Přítomnost ropných látek v podzemní nebo povrchové vodě zabraňuje využití této vody nejen na pitné účely, ale i jako užitkovou vodu. (*Dvořák a kol., 1982*)

Jako konečný produkt anaerobního odbourávání organického materiálu jsou ale také uhlovodíky v dnových vodných sedimentech, obsahujících hnilý kal a v nich vytvořených dnových útvech. Přítomnost uhlovodíků u dna a ve vodě nemusí proto nutně být známkou lidské přítomnosti s produkty minerálních olejů. Uhlovodíky jsou součástí přírodního koloběhu látek a pokud jsou dostatečně jemně rozptýleny a zředěny, jsou dobře biologicky odbouratelné. (*Plotěný, 2004*)

Uhlovodíky se vyskytují především:

- v odtocích srážkových vod z otevřených ploch zařízení a provozů, které mají spojitost s automobily (např. z velkých parkovišť, umývacích míst, dílen, šrotišť a podobně);
- v odpadních vodách z čištění, údržby a oprav automobilů a jiných strojů;
- v odpadních vodách z obrábění a zpracování kovů (například řezací olejové emulze a odmašťovací roztoky).

2.1.3. Vlastnosti, klasifikace, škodlivost látek

Vlastnosti uhlovodíků jsou závislé na chemické struktuře. Obecně jsou stabilní, zejména při nízké teplotě, biochemicky se rozkládají pomalu, silně se bioakumulují a sorbují v horninovém prostředí.

Obecně je rozpustnost a toxicita nejmenší u nasycených necycleckých uhlovodíků a klesá s rostoucím počtem uhlíkových atomů v molekule. Rozpustnější a toxičtější jsou nenasyčené uhlovodíky a substituované aromatické. Nejtoxičtější a nejkarcinogennější jsou kondenzované polycyklické aromáty.

Podle specifické hmotnosti rozdělujeme uhlovodíky na:

- lehčí než voda (benzíny, motorová nafta, oleje);
- těžší než voda (mazuty, asfalty, mazadla).

Klasifikace podle stupně nasycení:

- nenasyčené uhlovodíky;
- nasycené uhlovodíky;
- aromatické uhlovodíky.

Klasifikace podle těkavosti:

- těkavé;
- polotěkavé;
- netěkavé.

Těkavé organické látky (TOL) - jsou to těkavé monoaromatické uhlovodíky (BTEX), ostatní těkavé ropné látky a nižší alkány a alkeny asi do 11 uhlíků.

Do skupiny polotěkavé a obtížně těkavé organické látky lze zahrnout např. polyaromatické uhlovodíky (PAU) a ostatní ropné uhlovodíky (prakticky motorová nafta a topné oleje).
(Landa, 2004)

Tyto látky mohou být:

- nehalogenované;
- halogenované.

Při styku uhlovodíků s vodou může docházet k jejich rozpouštění, těkání (odvětrávání), emulgaci, sorpci na tuhých fázích, fotooxidaci a biochemickému rozkladu. (*Škorvan, 2009*)

Společné je všem uhlovodíkům rovněž to, že jsou velice málo rozpustné ve vodě a jako fáze jsou obtížněji biologicky odbouratelné, než například živočišné a rostlinné tuky a oleje.

Zhoršují také organoleptické vlastnosti vody (pach a chuť), mohou tvořit povrchové filmy na hladině vod a působit toxicky na vodní organismy. Mají významné adsorpční schopnosti, takže se hromadí v sedimentech. Přesto jsou v přírodě biologicky rozložitelné.

Jako součásti odpadních vod hrají uhlovodíky roli svým rozsahem bodu varu mezi 40 a 370 °C. Všem je společné, že jako fáze vyplavávají na povrch, mají tedy hustotu menší než 1 g/cm³. Benzín s hustotou 0,63–0,72 g/cm³ a hodnotou bodu varu cca od 150 °C tvoří výbušnou směs par a vzduchu.

Z uhlovodíků s vyšším varem se vyskytují mazací oleje (a další motorové a strojní oleje), hydraulické nebo protikorozní oleje s hustotou do 0,95 g/cm³.

Podle zkušeností není u malých přítoků podíl emulgovaných uhlovodíků rozhodující. Vyšší koncentrace emulgovaných podílů mohou ale vzniknout při použití vysokotlakých čistících přístrojů, např. při umývání motorů a pro čistící prostředky, obsahující tenzidy a rozpouštědla (studené čištění). Zde je nutné použít odlučovače s lipofilním filtrem (koalescenční odlučovače). (*Plotěný, 2004*)

Z těchto vlastností uhlovodíků vznikají následující poruchy, případně nebezpečné stavy a škody na veřejných kanalizacích:

- výbuchy a požáry;
- těžce odstranitelné nárůsty v kanalizaci;
- omezení přestupu kyslíku do vody;
- tvorba plovoucího kalu na ČOV;
- při proniknutí do odtoku z ČOV zvýšené CHSK, poškozování vyšších organismů (zvířata a rostliny) ve vodách (například kvůli zalepení žáber nebo pórů).

2.1.4. Rozpustnost ropných látek

Rozpustnost ropných látek ve vodě nelze ve skutečnosti přesně stanovit, neboť jde vlastně o směsi uhlovodíkových sloučenin o nestejně rozpustnosti ve vodě.

Rozpustnost lze definovat jako maximální množství ropných látek, jež se dostane do vodného roztoku za dané teploty, přičemž celkové složení vzorku ropné látky před loužením a po loužení vodou se chemicky změní jen zanedbatelně. (*Dvořák a kol., 1982*)

Rozpustnost ropných látek závisí na celé řadě faktorů, jako např., vlastnostech vody, vlastnostech ropných látek (které jsou dány délkou uhlíkového řetězce. Čím je délka řetězce větší, tím je horší rozpustnost ropných uhlovodíků) (*Synáčková, 2000*), teplotě, obsahu rozpuštěných solí, pH atd. S rostoucí teplotou se rozpustnost ropných látek zvyšuje, s rostoucím obsahem solí ve vodě se snižuje. (*Grünwald, 1993*)

Pokud se týká rozpustnosti směsí uhlovodíků, lze uvést jen orientační údaje rozpustnosti pro benzíny 30-200 mg/l, pro motorovou naftu 20 mg/l, petrolej cca. 10 mg/l, topný olej asi od 1-10 mg/l a ložiskový olej obvykle pod 1 mg/l. Údaje o rozpustnosti jednotlivých uhlovodíků se v literatuře dosti liší a je nutné je brát pouze jako orientační hodnoty. Je to způsobeno především různorodostí analytických metod používaných ke stanovení ropných látek a různým poměrem ropné fáze a vody. (*Škorvan, 2009*)

Stanovení rozpustnosti ropných látek

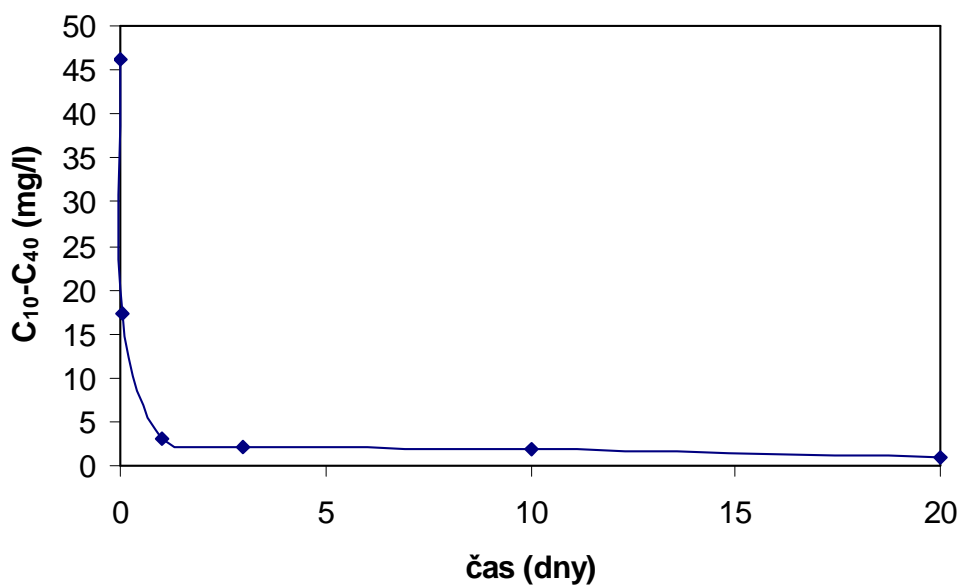
V rámci této práce byla provedena zkouška rozpustnosti uhlovodíků C₁₀–C₄₀ v závislosti na čase, údaje jsou shrnuty v Tab. 2.3 a znázorněny v Graf 2.1.

Jako zkušební tekutinu jsme použili lehký topný olej podle ISO 8217, s označením ISO-F-DMA, o objemové hmotnosti (0,85±0,015) g/cm³ při teplotě 12 °C, která je v normě ČSN EN 858-1 uvedena jako zkušební tekutina pro stanovení třídy odlučovače.

Uhlovodíky jsme protřepali s vodou a pro analýzu byla odebrána pouze vodná fáze - emulze vody a uhlovodíků. Během časové řady (od 15 min. až do 20 dnů) došlo k postupnému uvolňování uhlovodíků a k vytvoření jejich vrstvy na hladině vody. Z výsledků zkoušky je zřejmé, že v časové řadě dochází k poklesu obsahu uhlovodíků obsažených ve vodě (z hodnoty 46,3 mg/l na 0,94 mg/l). Za předpokladu, že se nemění rozpustnost uhlovodíků ve vodě (ta je daná jejich fyzikálními vlastnostmi) je rozpustnost LTO ve vodě min. 1 mg/l, což odpovídá výsledkům složení vodné fáze provedené zkoušky.

Tab. 2.3 – Analýza lehkého topného oleje (LTO) v daných časech

čas	C ₁₀ -C ₄₀ (mg/l)
15min	46,3
1hod	17,4
1den	3,06
3dny	2,15
10 dnů	1,98
20 dnů	0,94



Graf 2.1 - Rozpustnost uhlovodíků C₁₀-C₄₀ v závislosti na čase

2.1.5. Odstraňování, zachycení nebo minimalizace

Ropné látky se mohou ve vodách vyskytovat jako rozpustné, nerozpuštěné – volné, emulgované a absorbované na organických látkách (*Synáčková, 2000*). Jednotlivé technologie jejich odstranění z vody musí respektovat formu jejich výskytu. (*MM spektrum, 2001*)

Nejčastěji se používají:

- mechanické metody (gravitační odlučování, odstředění);
- fyzikální metody (adsorpce, desorbce).

Odstředování volných ropných látek

Volné a slabě emulgované ropné látky lze odstředováním v separačních odstředivkách průběžně oddělovat od vodné fáze až na zbytkovou koncentraci přibližně 100 mg/l ropných látek ve fugátu. Emulgátory vytvářející stálé emulze, kalírenské soli, ropné látky o vyšší hustotě značně snižují separační účinnost při oddělování vodné a olejové fáze odstředováním. Protože i při velmi dobré separovatelnosti fází zůstává ve vodě přibližně 100 mg/l ropných látek, bývá nutno fugát ještě dočistit před vypuštěním do veřejného recipientu. Obsah vody v separované ropné látce bývá obvykle menší než 10 %. (*MM spektrum, 2001*)

Separace ropných látek tuhými adsorbenty

Při čištění odpadních vod znečištěných ropnými látkami je adsorpce významným čistírenským procesem, používaným obvykle pro dočišťování a k odstranění volných ropných látek. Jako adsorbentu se používá různých přírodních materiálů, materiálů uměle upravených nebo i uměle připravených, známý je především VAPEX (hydrofobizovaný expandovaný perlit). (*MM spektrum, 2001*)

Adsorpce

Pokud je požadována vyšší účinnost čištění, je třeba zařadit další stupeň čištění, kterým většinou bývá adsorpční filtr. Tyto filtry využívají tzv. adsorpce, tj. procesu, kterým se odstraňuje látka z roztoku jejich vazbou na povrch adsorbentu. Čím je povrch adsorbentu vyšší, tím je výraznější účinnost čištění. Při adsorpci se uplatňují tři základní druhy sil, přičemž o tom, která síla je rozhodující, rozhoduje charakter adsorbované látky a rozpouštědla. Při fyzikální adsorpci se uplatňují poměrně slabé, mezimolekulární Van der Waalsovy síly. V pórech adsorbentu se tak může vázat až několik vrstev adsorbované látky.

Protože jsou však vazební síly slabé, může dojít za určitých podmínek (zvýšení teploty) k opětovné desorpci navázaných látek do roztoku. Při chemisorpci hraje roli chemická reakce a vzájemné sdílení elektronů. Vzhledem k tomu je možné, aby se látka v roztoku vázala pouze na určitá centra sorbentu a může se tak tvořit pouze jedna vrstva zachycených látek na jeho povrchu. Chemická sorpce bývá většinou pomalejší, nevratná, ale její rychlost s rostoucí teplotou roste. Při iontové sorpci se využívá vzájemné elektrické přitažlivosti mezi adsorbentem a adsorbátem.

Po určité době od zahájení adsorpce se ustavuje dynamická rovnováha mezi koncentrací látky v roztoku a koncentrací látky vázané na povrch adsorbentu. Vztah, který popisuje tuto závislost, se nazývá adsorpční izoterma. (*MM spektrum, 2001*)

Adsorbenty

Vlastní adsorbenty rozlišujeme na polární a nepolární. Pro čištění vod znečištěných ropnými látkami se používá zejména nepolární Fibroil tvořený vláknitým PE a PP materiálem s cca 20-30 % mikromletého vápence. U chlorovaných uhlovodíků je nejčastějším nepolárním adsorbentem aktivní uhlí. Přípravuje se z dřevěných odpadů (např. březových nebo bukových pilin), které jsou chemicky preparovány $ZnCl_2$. Zahřátím za nepřístupu vzduchu při teplotách $600\div 1000\text{ }^\circ\text{C}$ vzniká aktivní uhlí s mikroporézní strukturou a měrným povrchem nad $1000\text{ m}^2/\text{g}$. Teplota aktivace uhlí ovlivňuje charakter aktivních center, při nižších teplotách vznikají převážně kyselá, při vyšších pak převážně zásaditá.

Po vyčerpání kapacity adsorbentu je nezbytné provést obnovení jeho adsorpčních schopností, tzv. regeneraci. Regenerace adsorbentu (aktivního uhlí), který je ve styku s vodou, je technicky obtížnější. Lze provádět například tzv. reaktivaci uhlí parou při teplotě vyšší než $600\text{ }^\circ\text{C}$ v reaktivačních pecích u výrobce. Dalším způsobem regenerace aktivního uhlí je propaření vodní parou při teplotě cca $105\div 110\text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $0,1\text{ MPa}$. Někdy se uhlí regeneruje extrakcí rozpouštědlem (např. při odfenolování vody se jako extrakční činidlo používá benzen, který se následně odstraní párou). Tyto metody jsou vhodné spíše pro odstranění fyzikálně sorbovaných kontaminantů zejména z čištění procesního vzduchu v rámci stripingu. (*MM spektrum, 2001*)

Desorpce (striping)

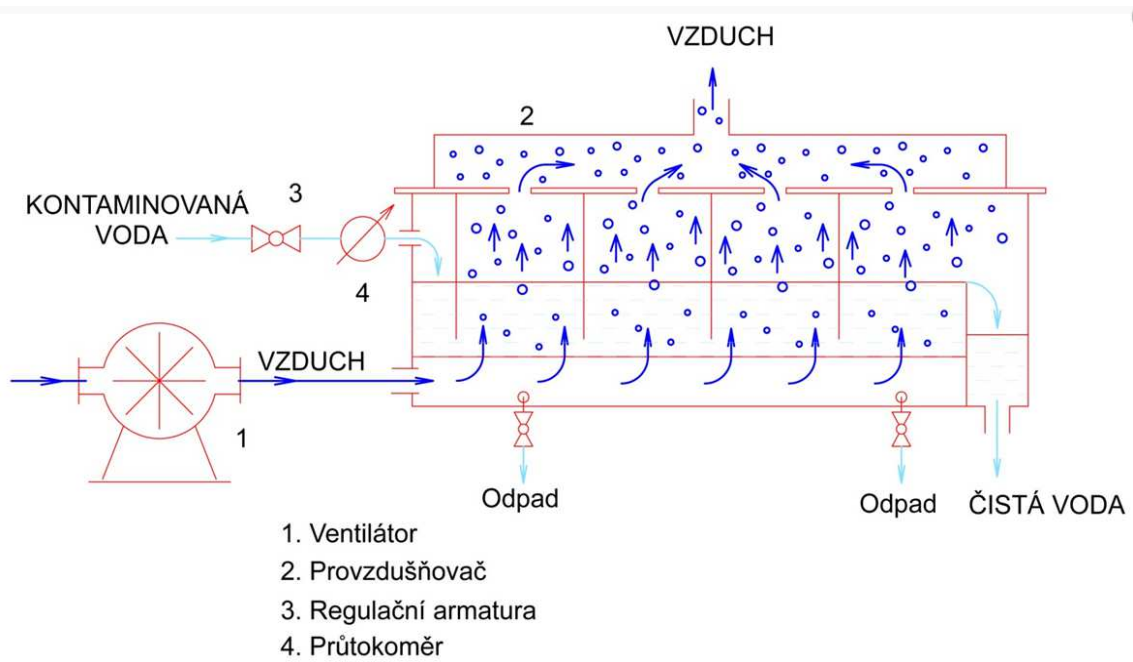
Nejčastější metodou pro odstranění rozpuštěných těkavých ropných látek a zejména halogenderivátů (chlorovaných uhlovodíků) je tzv. desorpce neboli striping. Obecně se jedná o fyzikální proces, kterým jsou těkavé látky z vody odstraňovány přiváděním vodní páry,

vzduchu nebo jiných plynů. Rozpustnost plynů a těkavých látek se v kapalinách řídí Henryho zákonem. Z Henryho zákona je patrné, že rozpustnost určitého plynu je při konstantní teplotě úměrná parciálnímu tlaku tohoto plynu nad kapalinou. Přivádí-li se jiný plyn do kapaliny, snižuje se tak parciální tlak ostatních plynů rozpuštěných v kapalině. Tím dojde k porušení fyzikální rovnováhy a tyto plyny pak z kapaliny unikají. Rychlost desorpčních procesů se výrazně zlepšuje s teplotou, proto se ve speciálních případech používají pro desorpci média s vyšší teplotou (vodní pára, kouřové plyny apod.). (*MM spektrum, 2001*)

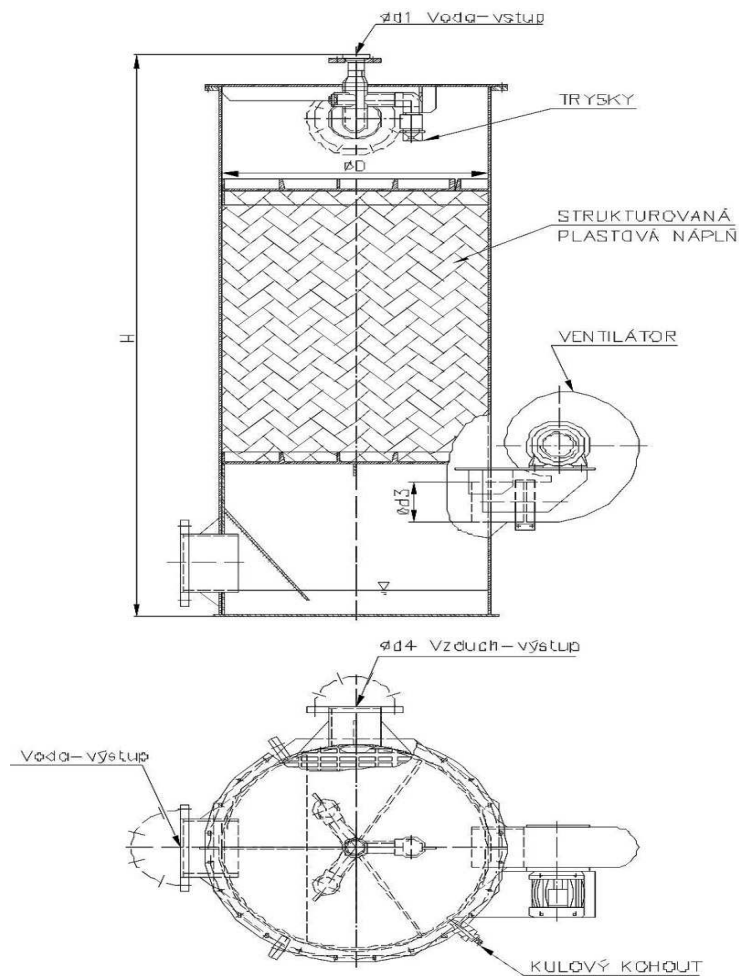
Stripovací věže a horizontální provzdušňovače

Typickým příkladem desorpčních kolon jsou tzv. stripovací věže pracující buď na principu vertikálního průtoku vody členitou výplní věže s protiběžným vháněním vzduchu (tzv. skrápěná kolona), nebo na principu rozstříku vody v horní části věže s protiběžným vháněním vzduchu (tzv. sprejové věže). Účinnost těchto zařízení se pohybovala mezi 98-99 %. Množství vháněného plynu (vzduchu) se pohybovalo okolo $15\div 20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ vody, povrchové zatížení činí cca $40\div 60 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. Dalším typem stripovacího zařízení jsou pěnové kolony, ve kterých voda gravitačně protéká soustavou sít za protisměrného vhánění vzduchu, který zabezpečuje na každém patře kolony tvorbu pěny. Rozměry otvorů jsou cca 2-12 mm a tvoří cca 12-35 % plochy patra. Hydraulický odpor patra je $50\div 70 \text{ mm}$ vodního sloupce ($500\div 700 \text{ Pa}$). Povrchové zatížení je až $200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ s rychlostí proudění plynu kolem 1,5 až $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Nevýhodou vertikálních stripovacích zařízení - věží - jsou zejména prostorové nároky; při vyšších průtocích nebo vysokých nárocích na účinnost čištění dosahuje výška nástaveb až několika metrů. Velkým problémem je rovněž výměna náplní, resp. čištění sít v kolonách, vyžadující většinou složitou demontáž celého zařízení nebo jeho větších částí. V současné době se proto převážně z provozních důvodů využívá ke stripingu vod vícestupňových horizontálních provzdušňovačů, ve kterých je voda provzdušňována v sériově řazených komorách intenzivním proudem vzduchu vháněným ventilátorem. Výhodou tohoto zařízení jsou především nízké provozní nároky a možnost snadné údržby, účinnost čištění však mírně klesá a pohybuje se v reálných podmínkách do cca 95 %. Celkový rozměr zařízení s kapacitou $3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ obvykle nepřekračuje cca $2 \times 1 \times 1,5 \text{ m}$.

Procesní vzduch ze stripingu je obvykle čištěn na koncových filtrech se sorbentem AU, většinou 100-200 kg, v případě vyšších koncentrací na výstupu je možné paralelní i sériově řazení filtrů. Adsorpční procesy v prostředí plyn - sorbent se dají opět popsat adsorpčními izotermami, jako v prostředí voda - sorbent. (*MM spektrum, 2001*)



Obr. 2.2 – Horizontální provzdušňovač (Ekosystém spol. s.r.o., 2013)



Obr. 2.3 – Stripovací věž (Ekosystém spol. s.r.o., 2013)

2.1.6. Legislativa a normy

Dle platné legislativy jsou lehké kapaliny jednoznačně stanoveny jako ukazatel $C_{10-C_{40}}$.

U legislativních požadavků na vypouštění vyčištěných vod s obsahem uhlovodíků $C_{10-C_{40}}$ do recipientu je nutné respektovat zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění a navazující prováděcí předpisy a zvláště nařízení vlády č. 61/2003 Sb. v platném znění, o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších předpisů. Jako imisní standard (norma environmentální kvality NEK-RP) přípustného znečištění povrchových vod v ukazateli $C_{10-C_{40}}$ je stanovena hodnota 0,1 mg/l. (*Nařízení vlády 61/2003 Sb., 2003*)

V případě, že jsou vyčištěné odpadní vody vypouštěny do kanalizace splaškové nebo jednotné, je nutné respektovat schválený kanalizační řád, ve kterém jsou uvedeny koncentrační limity pro jednotlivé ukazatele. Hodnoty $C_{10-C_{40}}$ se pohybují převážně v rozmezí 10-15 mg/l u velkých měst, jinak se pohybují v řádu jednotek mg/l. V případě přímého vypouštění do vodních toků pak mohou být požadovány výstupní koncentrace v řádu desetin mg/l.

ČSN 75 6551 Odvádění a čištění odpadních vod s obsahem ropných látek

Tato norma platí pro odvádění odkanalizovaných vod s obsahem ropných látek všeobecně a pro čištění odpadních vod s obsahem ropných látek, přítomných ve formě volně vzplývavé, dispergované a nebo usaditelné. Norma platí pro odlučování ropných látek z odpadních vod gravitací a nebo shlukováním souběžně s ČSN EN 858-1, ČSN EN 858-2 a pro dočišťování filtrací, sorpcí a flotací.

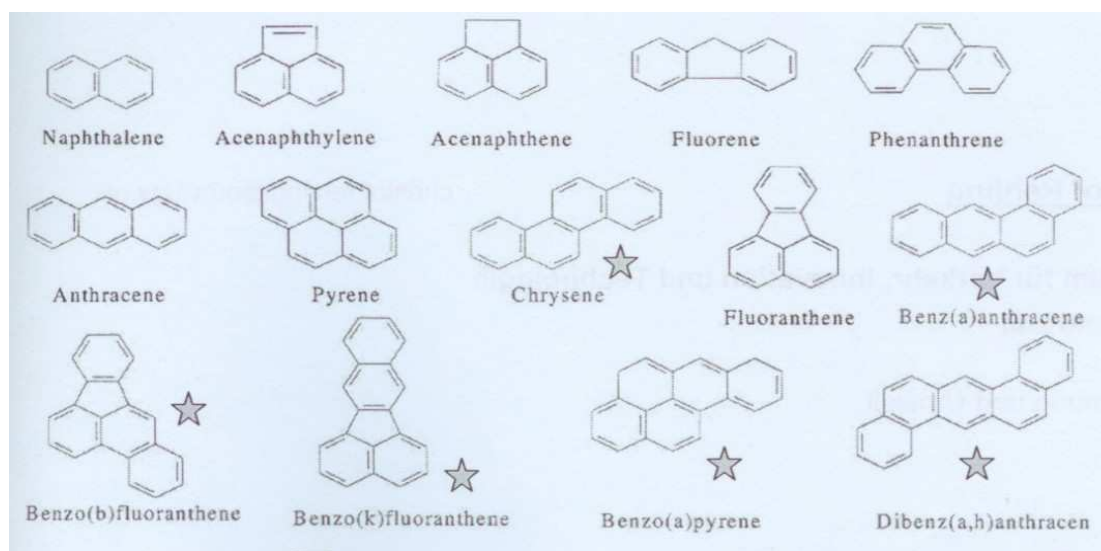
2.2. POLYCYKlickÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY

2.2.1. Definice a struktura

Skupina polycyklických aromatických uhlovdíků (dále PAU) představuje velmi širokou škálu různých látek vyznačujících se tím, že ve své molekule obsahují kondenzovaná aromatická jádra a nenesou žádné heteroatomy ani substituenty. Jsou tvořené uhlíkem a vodíkem, dvěma a více benzenovými jádry. Jsou velmi málo rozpustné ve vodě, ale snadno se rozpouštějí v tucích a olejích. (IRZ, 2008)

Pro svou schopnost dlouhodobě přetrvávat v životním prostředí a zdravotní závažnost (projevují toxické, karcinogenní a mutagenní vlastnosti) jsou považovány za typické představitele perzistentních organických polutantů (POPs – jsou to látky, které se do životního prostředí dostávají pouze vlivem lidské činnosti, a to buď úmyslně nebo jako únik z antropogenních aktivit (výroba, transport, doprava, chemické havárie)). (Pavlíková a kol., 2007)

Do skupiny PAU náleží například následující látky: naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benz(a)antracen, chrysen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen, indeno(1,2,3-c,d)pyren a benzo(ghi)perylene. (IRZ, 2008)



Obr. 2.4 - Polycyklické aromatické uhlovdíky (Pavlíková a kol., 2007)

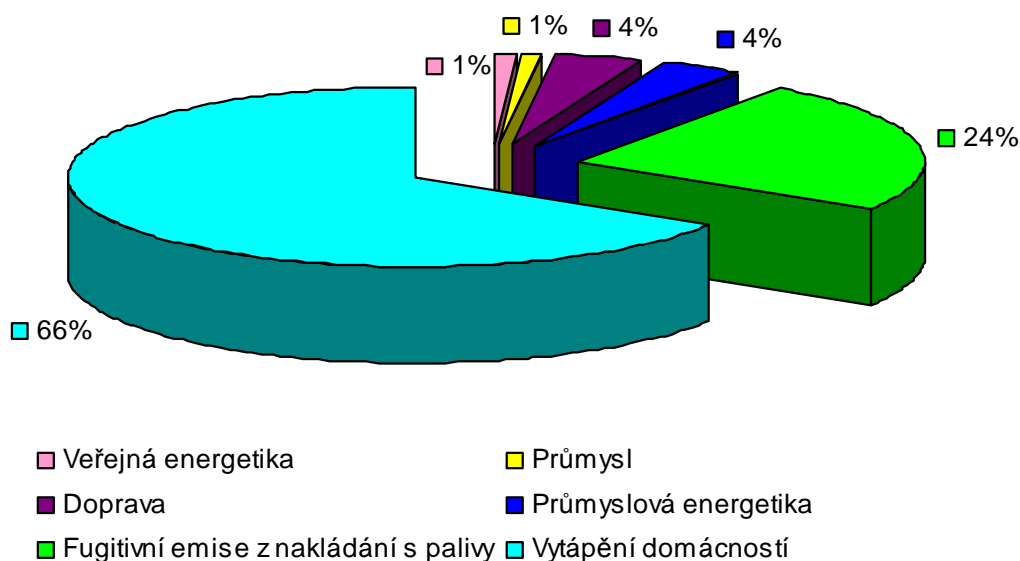
2.2.2. Výskyt v životním prostředí

PAU jsou se vyskytují prakticky ve všech složkách životního prostředí, v oblastech průmyslových i venkovských. V zimě jsou koncentrace PAU v ovzduší několikanásobně vyšší než v létě. PAU v plynné fázi začínají od teploty cca 150 °C kondenzovat na prachové částice a proto je vysoké procento vzdušných PAU vázáno na prach.

Původ PAU je především ze spalování fosilních paliv. Typicky se tyto látky uvolňují při nedokonalém spalovacím procesu. Do prostředí se tedy dostávají zejména při výrobě energie, spalování odpadů, ze silniční dopravy např. motorová nafta, opotřebování asfaltových vozovek a pneumatik, výrobky z černouhelného dehtu, asfalt a materiály používané při pokrývání střech a při stavbě silnic. (Pavlíková a kol., 2007)

Mezi antropogenní zdroje emisí můžeme zařadit zejména:

- spalovací procesy;
- koksárenství, rafinerie ropy, zplyňování a zkapaňování uhlí;
- výrobu hliníku;
- uvolňování z materiálů, které PAU obsahují – silnice, asfaltové izolace střech apod.;
- obecně procesy, kde dochází k nakládání s dehty, asfalty a dalšími vysokovroucími ropnými či uhelnými produkty. (IRZ, 2008)



Obr. 2.5 - Průměrný podíl významných sektorů na emisích PAU (IRZ, 2008)

2.2.3. Vlastnosti, klasifikace, škodlivost látek

Polycyklické aromatické uhlovodíky jsou za normálních podmínek tuhé látky, většinou bezbarvé, bílé nebo žluté, s relativně vysokými body tání i varu, které závisí na počtu benzenových jader a na struktuře molekuly. (*Kužílek, 1994*)

Fyzikálně chemické vlastnosti PAU jsou obecně podmíněny molekulovou hmotností: s jejím růstem roste bod tání, bod varu a klesá rozpustnost ve vodě a tenze par.

PAU jsou látky rozptýlené ve všech složkách a oblastech prostředí, jak již bylo uvedeno výše. Příčinou výskytu a rozptýlu těchto sloučenin jsou transportní mechanismy. Rozlišujeme jednak transport vzdušným prouděním z oblastí městských a průmyslových aglomerací a transport kontaminovaných sedimentů ze znečištěných oblastí. PAU primárně emitované do atmosféry z popsanych zdrojů podléhají v atmosféře transformačním reakcím a mohou být transportovány především sorbované na tuhé částice. Z atmosféry se dostávají do vody a půdy buď přímým spádem (tzv. suchá depozice) nebo jsou strženy srážkovými vodami (mokrá depozice).

Pokud se PAU dostanou do atmosféry, mohou podléhat celé řadě atmosférických procesů, jako je jejich distribuce, transport, depozice a degradace. Množství a distribuce PAU v atmosféře jsou závislé nejenom na velikosti emise, ale také na stabilitě PAU v atmosféře.

Doba setrvání PAU sorbovaných na povrchu tuhých částic a atmosféře a transport do různých oblastí jsou řízeny velikostí částic v atmosféře meteorologickými podmínkami a atmosférickou fyzikou.

Větší částice emitované z městských zdrojů mají tendenci usazovat se na ulicích a stávají se součástí městských splachů. (*Holoubek, 1996*)

Významné jsou rovněž sezónní variace PAU a atmosféře. Všeobecně platí, že vyšší množství jsou přítomna v ovzduší v zimních obdobích než v letních měsících. Tuto skutečnost ovlivňuje řada faktorů, především fakt, že jedním z hlavních zdrojů jsou domácí topeniště, dále pak zimní meteorologické podmínky, především teplotní inverze, které významně snižují disperzi vzdušných polutantů; teplotní sluneční podmínky, které v létě významně přispívají k rozkladným reakcím PAU.

Rozpustnost PAU a jejich derivátů je jedním s faktorů, které ovlivňují jejich distribuci ve vodním ekosystému. PAU jsou sloučeniny s velice nízkou rozpustností ve vodě, což je dáno jejich hydrofobní povahou a tak jsou hlavně adsorbovány na organických částech.

Rozpustnost je ovlivňována teplotou a přítomností dalších rozpuštěných látek. PAU se můžou z vody vypařovat, dispergují se ve vodním sloupci, postupně se stávají součástí sedimentů, koncentrují se ve vodní biotě. (Kužílek, 1994)

Většina PAU ve vodném prostředí je asociována s tuhými částicemi, pouze 33 % je přítomno v rozpuštěné formě. PAU rozpuštěné ve vodě mohou snadněji podléhat fotooxidační degradaci. Rychlost degradace se zvyšuje s koncentracemi PAU, se zvýšenou teplotou, vyšším obsahem kyslíku a vyšší úrovní sluneční radiace. Degradace PAU fyzikálně-chemickými cestami v sedimentech je proti tomu pomalejší vzhledem k nepřítomnosti slunečního záření a kyslíku. To může vést k jejich postupné akumulaci a jejich osud je dán hlavně rychlostí mikrobiální degradace. Degradace PAU ve vodném prostředí je obecně pomalejší než v atmosféře. (Holoubek, 1996)

Koncentrace PAU v říčních sedimentech je rozmanitá v závislosti na řadě faktorů, především na vzdálenosti od zdroje, hydrologických a sedimentačních poměrech, průtoku, koncentracích PAU ve vodě a v atmosféře, na rozsahu vertikálního a horizontálního transportu, převládajícím směru větru, množství srážek a dalších.

Většina PAU uvolňovaných do prostředí zůstává relativně blízko bodových zdrojů a koncentrace klesají přibližně logaritmicky s rostoucí vzdáleností od zdroje. Koncentrace PAU v řekách odráží různorodost zdrojů, říční voda často obsahuje významná množství těchto látek.

Koncentrace PAU v tocích se může rychle měnit. Hlavním důvodem je proměnlivost vstupů PAU do vodného prostředí, jedním z důvodů jsou také změny v transportu vody a částicového materiálu. Naproti tomu se koncentrace PAU v sedimentech mění jen pomalu.

PAU jsou toxické pro celou řadu živých organismů. Mohou způsobovat rakovinu, poruchy reprodukce a mutace u zvířat. Jejich působení na celé populace organismů je proto závažné. Nejproblematičtější vlastností PAU je jejich perzistence, tedy schopnost odolávat přirozeným rozkladným procesům. PAU se silně adsorbují na sedimenty ve vodách, které proto působí jako určité rezervoáry. (Kužílek, 1994)

2.2.4. Metody stanovení PAU

Pro stanovení PAU se používají chromatografické metody (plynová, kapalinová), superkritická fluidní extrakce a chromatografie nebo ultrafialová a fluorescenční spektrofotometrie.

Plynová chromatografie (GC, GLC, gas chromatography)

Plynová chromatografie je metoda určená k dělení a stanovení plynů, kapalin i látek pevných s bodem varu do cca 400 °C. Metoda je založena na rozdělování složek mezi dvě fáze, fázi pohyblivou - mobilní a fázi nepohyblivou - stacionární.

V plynové chromatografii je mobilní fází plyn, nazývaný nosný plyn. Stacionární fáze je umístěna v chromatografické koloně. Stacionární fáze u náplňových kolon může být pevná látka (aktivní uhlí, silikagel, oxid hlinitý, polymerní sorbenty apod.) nebo vysoko vroucí kapalina nanosená v tenké vrstvě na pevném, inertním nosiči.

U kapilárních kolon je stacionární fáze nanosená v tenké vrstvě přímo na upravenou vnitřní stěnu křemenné kapiláry. Princip separace látek plynovou chromatografií je následující. Kolonou se stacionární fází prochází stále nosný plyn. Vzorek se vnese (nastříkne) do vyhřívaného bloku - nástřikové komory (injektoru), kde se odpaří a ve formě par je unášen nosným plynem do kolony. Složky ze vzorku se sorbují na začátku kolony ve stacionární fází a pak desorbují čerstvým nosným plynem. Nosný plyn unáší složky vzorku postupně ke konci kolony a dělicí proces se neustále opakuje. (*Krovta a kol., 2001*)

Kapalinová chromatografie (LC, HPLC, liquid chrom., rozdělovací chrom.)

Vysoko-účinná kapalinová chromatografie (HPLC–High Performance Liquid Chromatography) se řadí mezi nejčastěji používané separační metody. Tato metoda je vhodná pro dělení netěkavých a polárních látek, jejichž analýza příbuznou plynovou chromatografií bývá často obtížná. HPLC je založena na separaci analytů na základě jejich distribuce mezi stacionární a mobilní fází. Během separace dochází k mnoha typům interakcí. Uplatňují se interakce analytů s mobilní fází, interakce mobilní fáze se stacionární fází a sorpce analytů na stacionární fází. (*Churáček, 1984*)

Superkritická fluidní chromatografie (SFC)

Superkritická fluidní chromatografie se s výhodou používá v případech, kde selhává plynová chromatografie (GC), tzn. pro analýzu málo těkavých nebo tepelně labilních látek. Tyto látky

Lze analyzovat metodou vysoce účinné kapalinové chromatografie (HPLC), avšak s nižší účinností a s delší dobou analýzy než v SFC.

Nižší viskozita superkritické tekutiny a vyšší difuzivita analytu v SF umožňují dosáhnout požadovaného rozlišení při vyšších průtocích mobilní fáze a účinnou separaci v kratších analytických kolonách ve srovnání s HPLC. (*Bielská, 2008*)

Superkritická fluidní extrakce (SFE)

Superkritická fluidní extrakce je účinná izolační metoda, která eliminovala některé nedostatky kapalinové extrakce kapalin a pevných látek. Kombinuje jedinečné fyzikální a chemické vlastnosti superkritických tekutin usnadňujících difuzi do matrice vzorku a umožňující rychlou a kvantitní separaci.

Nejčastěji používaným superkritickým rozpouštědlem je oxid uhličitý. (*Bielská, 2008*)

2.2.5. Normy pro stanovení PAU

ČSN EN ISO 17993 (75 7555) Jakost vod - Stanovení 15 polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) metodou HPLC s fluorescenční detekcí po extrakci kapalina-kapalina.

Tato norma specifikuje stanovení 15 vybraných PAU vysoko-účinnou kapalinovou chromatografií (HPLC) s fluorescenční detekcí po extrakci kapalina-kapalina. Metoda je vhodná pro přírodní i užitkové vody a po určité obměně také k analýze odpadních vod. V pitných a podzemních vodách lze stanovit koncentrace PAU nad 0,05 µg/l a v povrchových vodách nad 0,01 µg/l. Podstatou zkoušky je extrakce PAU z vody hexanem. Extrakt se zkoncentruje odpařením a odparek se převede do rozpouštědla vhodného k analýze HPLC. Podle potřeby se extrakty čistí chromatograficky oxidem křemičitým. PAU se dělí HPLC na vhodné zakotvené fázi gradientovou elací. Identifikují a stanoví se fluorescenční detekcí po naprogramování excitačních a emisních vlnových délek. Hodnota se uvádí na dvě platné číslice. U hmotnostních koncentrací pod 0,01 µg/l se výsledek zaokrouhluje na nejbližší 0,001 µg/l.

ČSN EN 15527 (838029) Charakterizace odpadů - Stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) v odpadech plynovou chromatografií s hmotnostním spektrometrem (GC/MS)

Tato evropská norma popisuje kvantitativní stanovení 16 polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) podle seznamu priorit Environmental Protection Agency (EPA, 1982). Tato evropská norma je vhodná pro odpady, jako jsou kontaminovaná zemina, kaly a stavební sut, bitumeny nebo obsahující bitumen.

Norma popisuje metodu plynové chromatografie s hmotnostním spektrometrem (GC-MS). Za podmínek popsanych v tomto dokumentu může být dosažena obvyklá nejnižší mez použití 0,1 mg/kg pro každý jednotlivý PAH. PAH se extrahuje ze vzorku propanonem nebo rozpouštědly podobnými hexanu. Jestliže je to nutné, získaný extrakt se čistí na chromatografické adsorpční koloně. Extrakt se analyzuje plynovou chromatografií s hmotnostním spektrometrem (GC-MS) s použitím kapilární kolony nízké polarit. Koncentrace PAH se stanoví metodou vnitřního standardu.

TNV 75 8055 Charakterizace kalů

Stanovení vybraných PAU metodou HPLC s fluorescenční detekcí.

Princip stanovení je uveden v názvu. Lze stanovit PAU v koncentracích asi od 0,05 mg/kg sušiny čistírenského kalu nebo sedimentu. Lze stanovit 15 PAU. Výsledky se vyjadřují v mg/kg s přesností na dvě platná čísla.

Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater.

V amerických standardních metodách jsou uvedeny obdobné postupy uvedené výše. Jde o vysoko-účinnou kapalinovou chromatografii (HPLC) s UV a fluorescenční detekcí a dále o plynovou chromatografii s plamenovou ionizační detekcí. Méně citlivá je plynová chromatografie s hmotnostně spektrometrickou detekcí. Metoda kapalinové chromatografie je použitelná i pro městské a průmyslové odpadní vody. Počáteční extrakce se provádí dichlormethanem. Extrakt se suší, koncentruje a PAU se separují kapalinou nebo plynovou chromatografií. Odstranění některých rušivých látek se provádí na silikagelu. U metody s HPLC bylo možné separovat 19 PAU s mezí detekce od 0,013 µg/l do 2,3 µg/l. U metody s GC bylo možné separovat 16 PAU, avšak meze se pohybovaly od jednotek do desítek µg/l.

2.3. TĚŽKÉ KOVY

Znečištění způsobené provozem dopravních prostředků zahrnuje i některé těžké kovy. Opotřebováním pneumatik se uvolňuje zinek a uhlovodíky. Při korozi vozidel se uvolňuje železo, chrom, olovo a zinek. Další znečištění zahrnuje částice kovu, zejména měď a nikl, vznikající opotřebováním spojky a brzdového obložení. (Krejčí a kol., 2002)



Obr. 2.6 – Opotřebování pneumatik otěrem (Nokiantyres, 2009)

2.3.1. Definice a struktura

Těžkými kovy rozumíme kovy o hustotě vyšší než 5g/cm^3 , patří mezi ně např. železo, měď, zinek, chrom, nikl, kadmium, olovo a rtuť. Některé z nich jsou pro živé organismy nezbytné (železo, měď, zinek), ovšem při vyšších koncentracích jsou toxické, jiné jsou jedovaté při všech koncentracích (olovo, rtuť, kadmium). Velká část těžkých kovů rozptýlených nyní v půdě, atmosféře a organismech se na svoje místo dostala zásluhou lidské činnosti. (Ulbrichová, 2007)

2.3.2. Výskyt v životním prostředí

U většiny kovů je to metalurgický průmysl, spalování fosilních paliv, prašné provozy, automobilová doprava, dále k uvolňování kovů dochází při průmyslových procesech, kde se využívají jejich sloučeniny (výroba cementu a skla), při použití výrobků obsahujících těžké kovy (výfukové plyny motorových vozidel) nebo při spalování odpadků a čistírenských kalů. (Ulbrichová, 2007)

Těžké kovy se z ovzduší dostávají do půdy a do povrchových vod. Rostliny jich odeberou z půdy jen nepatrnou část, která se potravinovým řetězcem prostřednictvím živočichů nebo přímo v rostlinné stravě dostane do lidského těla. Z řek přecházejí těžké kovy do moře. Těžké kovy se hromadí v říčních, jezerních a mořských sedimentech. Akumulace těžkých kovů v půdě představuje rostoucí potenciální nebezpečí pro rostliny, vyšší i nižší organismy. Pohyblivost těžkých kovů v půdě ovlivňuje hodnota pH. Okyselení půdy, např. kyselým deštěm, může způsobit vymývání těžkých kovů do hlubších vrstev půdy, a tím i do podzemních vod. (Včelica, 2005)

2.3.3. Vlastnosti, klasifikace, škodlivost látek

Jde o skupinu prvků správně definovanou jako stopové chemické prvky určitých vlastností. Mohou mezi nimi být zastoupeny jak kovy podle specifické hmotnosti opravdu "těžké" (Hg, Cu, Pb), tak i kovy, které tak nazvat nelze (Be, Al, Ba), dále polokovy (As, Se, Te, Tl), nebo nekovy (B, Cl, S). (Ulbrichová, 2007)

Kovy jsou zpravidla prvky, a proto se nemohou rozložit nebo zmizet. Mohou se však slučovat s jinými látkami, a tak získávat jiné vlastnosti a mít různý vliv na životní prostředí.

Těžké kovy jako např. Cd, Zn, Pb, Cu a Fe se nacházejí jak v rozpuštěných, tak i v nerozpuštěných formách, což je ovlivněno různými fyzikálními, chemickými a biologickými interakcemi. Koncentrace partikulárně vázaných kovů jsou významnější oproti rozpuštěné fázi. Hlavními složkami s komunikací splachovaných pevných částic jsou železo a hliník. (Beránková a kol., 2008)

Jednotlivé těžké kovy při provozu dopravy:

Železo - formy výskytu rozpuštěného a nerozpuštěného železa ve vodách závisejí na hodnotě pH, oxidačně-redukčním potenciálu a komplexotvorných látkách přítomných ve vodě.

Z hygienického hlediska ovlivňuje negativně organoleptické vlastnosti vody, a to barvu, chuť a zákal. I malé koncentrace Fe^{II} ve vodě mohou být příčinou nadměrného rozvoje železitých bakterií, jež pak ucpávají potrubí a při jejichž odumírání voda zapáchá.

Olovo - stále významným antropogenním zdrojem olova jsou výfukové plyny motorových vozidel. Olovo se hromadí na vegetaci v okolí komunikací a dostává se do atmosférických

vod a odtud i do vod povrchových a podzemních. Olovo se akumuluje nejenom v sedimentech a kalcích, ale i v biomase mikroorganismů a rostlin. Pro svou toxicitu je ve vodě velmi závadné.

Nikl - antropogenním zdrojem niklu jsou především odpadní vody z povrchové úpravy kovů, kde je převážně komplexně vázán, a dále odpadní vody z barevné metalurgie. Používá se také v keramickém a sklářském průmyslu a při některých chemických syntézách jako katalyzátor. Dalším zdrojem mohou být poniklované části zařízení přicházejících do styku s vodou.

Nikl není pro člověka příliš toxický, avšak patří mezi potenciální karcinogeny. Toxicita pro některé vodní organismy je poměrně vysoká, a proto je jeho přípustná koncentrace ve vodárenských tocích limitována přísněji než v pitné vodě.

Chrom - antropogenním zdrojem chromu jsou např. odpadní vody z barevné metalurgie, povrchové úpravy kovů, kožedělného a textilního průmyslu, kde je součástí některých barvicích lázní. Dalším zdrojem jsou některé inhibitory koroze, používané např. v chladicích okruzích, při rozvodu teplé vody nebo při čištění kotlů. Značné koncentrace chromu lze nalézt ve vodách z hydraulické dopravy popílku.

Značná část chromu je v přírodních vodách vázána na nerozpuštěné látky a sedimenty. Jeho toxicita závisí na oxidačním stupni.

Zinek - antropogenním zdrojem zinku v přírodních vodách je především atmosférický spád. Do atmosféry se dostává zinek při spalování fosilních paliv a při zpracování neželezných rud. Z průmyslových odpadních vod obsahují zinek např. vody ze zpracování zinkových rud, z mořiren mosazi, ze zpracování tuků a z povrchové úpravy kovů, atd.

Zinek je značně toxický pro ryby a jiné vodní organismy. Toxicita závisí na složení vody.

Měď - antropogenním zdrojem mědi v povrchových vodách mohou být odpadní vody z povrchové úpravy kovů. V pitné a užitkové vodě může být zdrojem mědi rozpouštění měděného vodovodního potrubí v důsledku agresivního působení vody. Dalším zdrojem mědi mohou být i atmosférické depozice.

Formy výskytu mědi ve vodách jsou velmi rozmanité v závislosti na jejich složení. Ovlivňuje negativně organoleptické vlastnosti vody (chuť). Poměrně přísné limity pro koncentraci mědi v povrchových vodách jsou dány její značnou toxicitou pro vodní organismy včetně ryb. (Pitter, 1999)

2.3.4. Metody stanovení těžkých kovů

Předpokladem pro zjišťování obsahu sledovaných látek jak v emisích, tak i ve složkách životního prostředí (a v ovzduší zvláště), bylo uplatnění nových fyzikálních a fyzikálně chemických analytických metod, které se od šedesátých let úspěšně rozvíjely a postupně byly doplňovány elektronickými prvky, což umožnilo racionalizaci analytické práce a vývoj a dostupnost autonomních a automatických analyzátorů. Metody založené na spektroskopických principech (např. atomová absorpční spektrometrie - AAS, optická emisní spektrometrie s induktivním plasmatem – OES-ICP nebo její varianta s hmotností detekcí – ICP-MS) a později metody plynové, kapalinové a iontové chromatografie a hmotnostní spektrometrie byly propracovány do oblasti stopové až ultrastopové analýzy, a to i při mikroanalytickém objemu vzorku. Analytické metody v oblasti životního prostředí byly dále do značné míry standardizovány, zejména pro potřeby hygienické služby. Tento úspěšný vývoj znamenal reálnou možnost pro zavedení standardního monitoringu jak emisí, tak i vnějšího ovzduší. (*Janoušek, 1993*)

2.4. CHLORIDY

2.4.1. Druhy posypových materiálů

Při zajišťování sjízdnosti komunikace během zimního období se používají obecně dva základní druhy posypových materiálů:

- chemické rozmrazovací materiály – to jsou látky, které svými vlastnostmi způsobují fyzikálně chemickou změnu sněhu a ledu přítomného na povrchu vozovky, přičemž dochází k jejich tání.
- zdrsňující (inertní) posypové materiály – to jsou látky, které mechanickým způsobem zvyšují součinitel tření zledovatělé, nebo ujeté sněhové vrstvy na povrchu vozovky. (*Melcher, 2001*)

Posyp dálnic a rychlostních komunikací se provádí zásadně chemickými rozmrazovacími materiály. K nejvíce používaným patří soli. Při teplotách mezi 0 a -8 °C se v ČR používá chlorid sodný (NaCl, kuchyňská sůl). Při nižších teplotách se solný roztok míchá s chloridem vápenatým nebo hořečnatým a při teplotách pod -20°C není již účinek posypových solí dostačující.

Ostatní rozmrazovací látky jako alkoholy, glykoly, močovina, CMA (Kalcium Magnesium Acetate), KA (Kalium Acetate) apod. nejsou běžně rozšířeny. (*Cyhelská, 2009*)

Chlorid sodný (NaCl)

Jednoznačně nejrozšířeněji používaný výrobek, těžený v solných dolech, nebo i získávaný odpařováním z mořské vody. Chlorid sodný je aktivní i pod -10 °C. V zimní údržbě se používá v pevném stavu nebo jako solankový roztok.

Pro účely zimní údržby komunikací účinkuje chlorid sodný optimálně do teploty zhruba -5 °C až maximálně -7 °C. Pod touto teplotou se již značně zpomaluje jeho tavící schopnost a při teplotách pod -11 °C se v podstatě stává pro zimní posyp už neúčinným. Proto se v některých zemích chlorid sodný při poklesu teploty pod -7 °C běžně používá ve spojení s chloridem vápenatým. Cenový rozdíl mezi oběma výrobky (chlorid vápenatý je až šestkrát dražší než chlorid sodný) je také poměrně dosti určujícím faktorem při rozhodování o vhodnosti aplikačního použití daného druhu.

Chlorid sodný je endotermický, tzn. že vždy potřebuje také určitou externí tepelnou energii k tomu, aby mohl vytvářet komplexní účinek. Proto také začíná jeho působení zpočátku

pomaleji. Tato energie je v praxi dodávána například dopravním provozem, nebo přímo i ze slunečního záření. Různé ovlivňující faktory, jako je třeba vítr (způsobující vypařování), nebo snížení dopravní intenzity, pokles teploty, mohou rovněž značně časově zpomalit rozmrazovací schopnosti této soli. (Melcher, 2001)

Chlorid vápenatý (CaCl_2)

Tato substance je v podstatě vedlejším produktem výroby sody. Chlorid vápenatý je hygroskopický již od cca 40 % relativní vlhkosti vzduchu a je velmi účinný i při nízkých teplotách až do $-35\text{ }^\circ\text{C}$. Větší hygroskopičnost materiálu doplňkově povzbuzuje rychlejší počátek rozpouštění. Používá se v pevném stavu, nebo jako solanka s koncentracemi pohybujícími se v rozmezí zhruba mezi 15 % až 32 %. Nejběžněji používanou solankou je roztok s koncentrací 26%. Jak již bylo uvedeno, chlorid vápenatý se v konkrétním praktickém použití v zimní údržbě dost často používá rovněž ve směsi s chloridem sodným.

V protikladu k chloridu sodnému, je chlorid vápenatý exotermický. To znamená, že tepelnou energii naopak vydává. Také jeho velká hygroskopicita mu umožňuje dříve získávat vlhkost ze vzduchu nebo ledu a tím také rychleji rozeběhnout vlastní tavicí proces. (Melcher, 2001)

Chlorid hořečnatý (MgCl_2)

Látka je vedlejším produktem při výrobě potaše a používá se ve formě roztoku. Je velmi hygroskopická (ještě více než CaCl_2) a v zásadě se v zimní údržbě používá pouze při likvidačním posypu. Jeho použití v preventivním posypu se nedoporučuje, protože může určitým způsobem dokonce snížit přilnavost pneumatik k vozovce, tzn. snížit součinitel tření a tak v podstatě dokonce bezpečnost dopravy zhoršit. Používá se při teplotách nižších než $-9\text{ }^\circ\text{C}$. Výrobek se převážně přepravuje přímo z výroby ve formě solného roztoku. (Melcher, 2001)

Močovina ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

Je to krystalická substance dodávaná v zrnité formě o průměrné velikosti zrn cca 1-2 mm. Substance není žíravá, je však velmi lehká a proto snadno odvanutelná větrem. Z tohoto důvodu pro účinnou aplikaci musí být používána ve směsi s vodou, nebo v některých případech ve směsi s pískem.

Nejnižší bod praktického užití materiálu je o něco vyšší než u NaCl , ale jeho rozmrazovací schopnosti pod teplotou $-7\text{ }^\circ\text{C}$ velice příkře klesají. Velkou předností je nízký korozivní účinek na materiály. Mimo vysokou pořizovací cenu je zásadním nedostatkem jeho schopnost

"nadměrného hnojení", které způsobuje růst bujné vegetace na přilehlých pozemcích a i vodních plochách.

Cena tohoto materiálu je velmi vysoká, až osmkrát vyšší než soli NaCl. I z tohoto důvodu je jeho konkrétní aplikování v zimní údržbě komunikací omezeno pouze pro určité specifické případy, jako jsou například letištní plochy. (*Melcher, 2001*)

Alkoholy a glykoly

Vzhledem k jejich antikorozivním vlastnostem jsou tyto chemikálie používány hlavně na letištních plochách. Při používání těchto produktů dochází k velmi intenzivnímu "vypařování" a jejich bod vzplanutí je nízký. Izopropylalkohol navíc snižuje povrchové napětí rozpouštěné vody, která se pak snadněji dostává do jemných trhlinek povrchu vozovky. Po odpaření alkoholu vlivem zamrznutí vody dochází k destrukci povrchu.

Účinek rozmrazovací tekutiny působí zpočátku optimálněji než NaCl. Proces tání ledu však potřebuje mnohem více času a daleko větší množství rozmrazovacích chemikálií. Alkoholy a glykoly smíšené s vodou také spotřebovávají značné množství kyslíku, proto nesmí ani zředěné roztoky uniknout do povrchových vod.

Vysoká pořizovací cena, slabá účinnost a především negativní účinky těchto chemikálií na životní prostředí zabraňují širšímu uplatnění. Prakticky nikde se nepoužívají při zimní údržbě silnic. (*Melcher, 2001*)

2.4.2. Vlastnosti, klasifikace, škodlivost látek

Fyzikální vlastnosti solí svou schopností umožňují snížit bod mrazu vody a tak v podstatě zabránit vytvoření ledu, nebo rozpustit sněh. (*Melcher, 2001*)

Při aplikaci solí na komunikacích se okamžitě usadí asi 15 % v oblasti krajnice a zbylých 85 % se rozpustí na ploše silnice. Velká část aplikovaného množství solí je dopravou rozstříkována do okolí komunikace a menší část odteče díky tání srážky do odvodňovacího systému komunikace.

Aplikace soli na vozovky v zimě způsobuje výrazné zvýšení chloridů v dešťových vodách. Sůl obsahuje i další nečistoty způsobující zvýšení částic pevných lýtka na vozovkách v zimním období. Přítomnost soli urychluje korozi dopravních prostředků a kovových zařízení na komunikacích.

Zvýšeným přísunem solí v zimních měsících dochází k omezení přístupnosti základních živin pro živé organismy, např. N,P,K, dále dochází také ke zvyšování pH, poklesu mikrobiálního života, a tím k degradaci půdní struktury.

Zasolování půd může vést k úhynu rostlin a živočichů a ke změnám v druhovém složení ekosystémů. Posypová sůl poškozuje vegetaci přímým ostřikem solankou a nepřímo prostřednictvím půdy. (Cyhelská, 2009)

2.4.3. Legislativa

Chloridy jsou jedinou skupinou látek obsažených v dešťovém odtoku z komunikací, pro které neexistuje účinná metoda čištění a ani současná legislativa se jimi nezabývá. Je proto nutné věnovat této problematice dlouhodobou pozornost, zejména jejich vlivu na životní prostředí a způsob minimalizace účinků. (Cyhelská, 2009)



Obr. 2.7 – Posyp komunikací v zimním období (Správa a údržba silnic, 2009)

2.5. MOŽNOSTI MINIMALIZACE ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK

V praxi se převážně používají jednotlivě nebo v kombinaci následující objekty:

- Odlučovače lehkých kapalin.
- Dešťové usazovací nádrže (sedimentační nádrže).
- Vyrovnávací nádrže.
- Akumulační nádrže.
- Retenční filtrační nádrž
- Jednoúčelové speciální objekty (např. rozdělovací objekty).

2.5.1. Odlučovače lehkých kapalin

Odlučovače lehkých kapalin slouží pro zachycení a odloučení volných lehkých kapalin ze znečištěných vod. Jedná se zejména o ropné látky, charakterizované ukazatelem $C_{10}-C_{40}$. Slouží k čištění odpadních vod z průmyslových provozů, mechanizačních středisek, odstavných a parkovacích ploch, zkrátka všude tam, kde dochází k úkapům lehkých kapalin nebo by mohlo dojít k jejich úniku do povrchových vod. (Asio, spol. s.r.o., 2011)



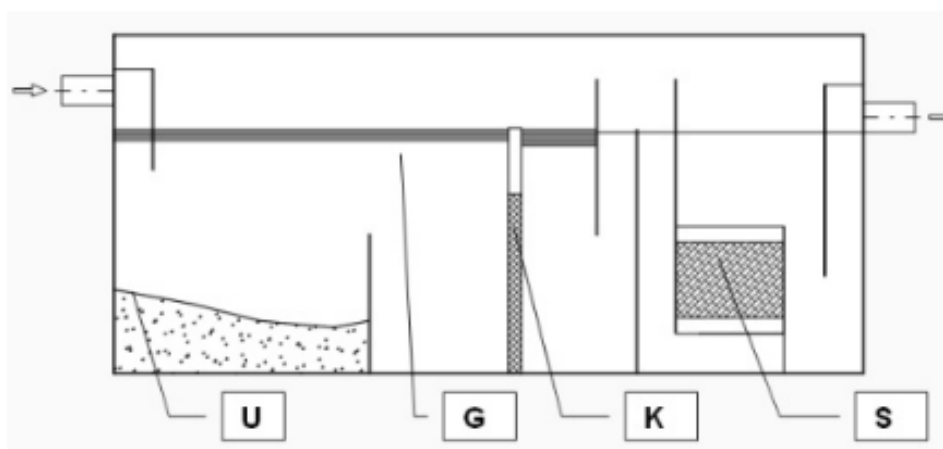
Obr. 2.8 – Odlučovač lehkých kapalin (Hydroclar, s.r.o., 2009)

Základní popis a funkce odlučovače lehkých kapalin

Odloučení lehkých kapalin je dvoustupňové, tj. nejdříve dojde ke gravitační separaci plovoucích materiálů na hladině a k sedimentaci těžších částic, a následně k dočištění takto předčištěné vody na speciálním koalescenčním případně i sorpčním filtru.

Voda natéká přírodním potrubím do usazovacího prostoru, kde je u nátoky osazena norná stěna. V tomto prostoru dochází k odstranění plovoucích a sedimentovatelných nečistot gravitačním způsobem. Následně takto upravená odpadní voda natéká přes horní část rozdělovací přepážky do druhého prostoru.

V druhém prostoru jsou osazeny koalescenční filtry. Při průtoku odpadní vody koalescenčním filtrem dochází ke shlukování ropných látek, které posléze vyplavou na hladinu a jsou z této hladiny odstraňovány sběrem. Pokud je osazen sorpční filtr dochází k účinnějšímu odstraňování vzplývavých a dispergovaných ropných látek. Sorpční hmota je vložena do polypropylenových košů, které jsou osazeny v nosném rámu odlučovače lehkých kapalin. (Hydroclar, s.r.o., 2009)



*Obr. 2.9 – Odlučovač lehkých kapalin s koalescenčním a sorpčním filtrem
(Hydroclar, s.r.o.,2009)*

Legenda:

U - usazování pevných částic – především písku a prachu

G - gravitační odlučování lehkých kapalin

K - koalescenční odlučování lehkých kapalin na koalescenčním filtru

S - odlučování lehkých kapalin adsorpcí na materiálu sorpčního filtru

Použití odlučovače lehkých kapalin

Odlučovače LK se používají při odvádění odpadních vod :

- z průmyslové výroby, ve které vznikají odpadní vody s obsahem lehkých kapalin;
- z ploch, na kterých probíhá manipulace s lehkými kapalinami;
- z ploch, na kterých jsou skladovány materiály a suroviny, které mohou být zdrojem úniku lehkých kapalin; (např. skladovací plochy v objektech určených pro sběr železného šrotu).

Odlučovače LK se kromě zabezpečení odpadních vod z technologických procesů, zpravidla používají na kanalizacích odvádějících srážkovou vodu ze zpevněných ploch s existující velkou pravděpodobností kontaminace ropnými látkami tj. z :

- parkovišť určených pro parkování nákladních a speciálních vozidel (např. zemědělských a stavebních strojů);
- parkovišť určených pro parkování havarovaných a poškozených vozidel;
- z velkokapacitních parkovišť osobních vozidel a to v případech, kdy je na kanalizaci umístěna odlehčovací komora a část odváděné vody tak v případě větších srážek odtéká přímo do toku. Odlučovač musí být osazen mezi parkovištěm a odlehčovací komorou.

Odlučovače LK se zpravidla nepožadují při vypouštění do kanalizací odvádějících vodu z :

- komunikací a parkovišť osobních vozidel v případech, kdy je kanalizace zaústěna na biologickou čistírnu a biologická čistírna je schopna případný možný předpokládaný větší únik ropných látek zachytit.

Odlučovače lehkých kapalin jsou postradatelné tam, kde jsou volné uhlovodíky jen v nepatrném množství a jsou převážně vázané na pevných částech (například menší parkoviště, mycí linky na automobily, místa pro ruční mytí vozidel). Zde postačí dostatečně navržená kalová jímka. (*Plotěný, 2004*)

Druhy odlučovače lehkých kapalin

Odlučovače se dodávají v následujícím sortimentu:

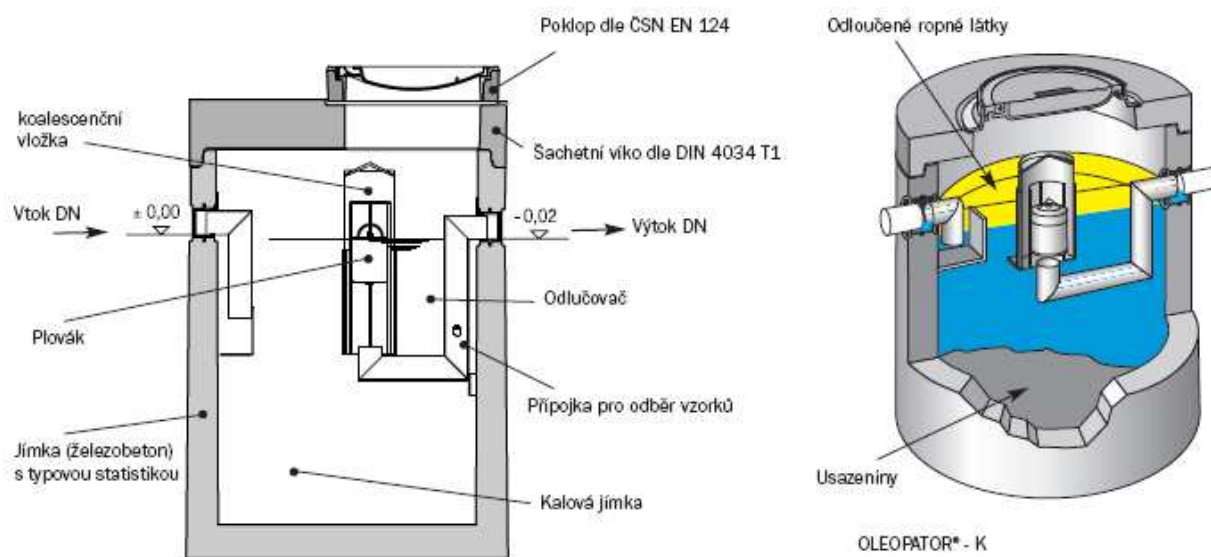
- Odlučovače gravitační;
- Odlučovače gravitačně – koalescenční;
- Odlučovače gravitačně – koalescenční se sorpčním dočištěním.

Odlučovače gravitační

Pro odstranění volných lehkých kapalin se používá tzv. gravitační separace. Volba vhodného typu odlučovače je podmíněna především průtokem znečištěných vod, jejich hustotou a koncentrací v čištěné vodě, velikostí ropných kapiček a teplotou. Nelze pominout ani vliv prachu a dalších nečistot, jež mohou být přítomny v čištěné vodě. Pro čištění vod s obsahem stálých emulzí není gravitační odlučování použitelné.

Gravitační metoda odstranění ropných uhlovodíků využívá nižší specifické hmotnosti těchto látek oproti vodě a jejich vesměs omezené rozpustnosti ve vodě. Za vhodných podmínek spočívajících ve snížení průtokové rychlosti vystupují látky lehčí než voda na hladinu, odkud mohou být odstraněny, přičemž vzestupnou rychlost kapky lze vypočítat ze Stokesova zákona. (*MM spektrum, 2001*)

Jedná se zpravidla o velmi jednoduché objekty stavebně a technicky upravené k oddělení a zachycení plovoucí olejové fáze. Systém sloužící k oddělení lehkých kapalin z vod odtékajících např. z pozemních komunikací musí být doplněn i záchytným prostorem pro sedimentující částice. Odlučovací prostory jsou většinou odděleny vhodně uspořádanými přepážkami. Pro správnou funkci je důležité především optimální uspořádání vnitřního prostoru odlučovače z hlediska předpokládaných průtoků, stanovení průtoků mezních a určení minimální doby zdržení. Odlučovače jsou funkční pouze pro oddělení volně rozptýlených olejových podílů, v případě obsahu olejových emulzí k zachycení olejového podílu nedojde. (*Krátký, Nekolný, 2009*)



Obr. 2.10 – Gravitační odlučovač lehkých kapalin (Aco, 2009)



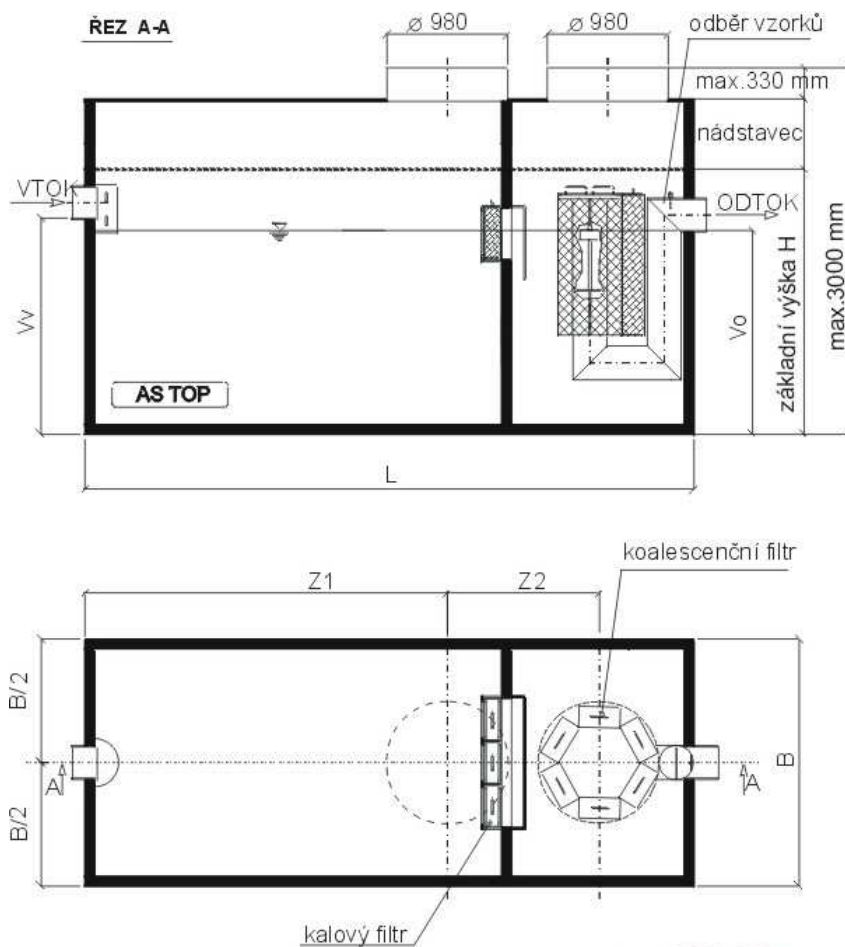
Obr. 2.11 – Odlučovač lehkých kapalin (Kessel, 2013)

Odlučovače gravitačně – koalescenční

Zařízení je doplněno mechanickým stupněm schopným odloučit olejový podíl z nestabilní olejové emulze (mechanicky emulgované). K tomuto účelu slouží tzv. „koalescenční vložka“ zhotovená např. z vhodně tvarovaných lamel nebo textilních prvků. (Krátký, Nekolný, 2009)



Obr. 2.12 – Koalescenční odlučovač lehkých kapalin

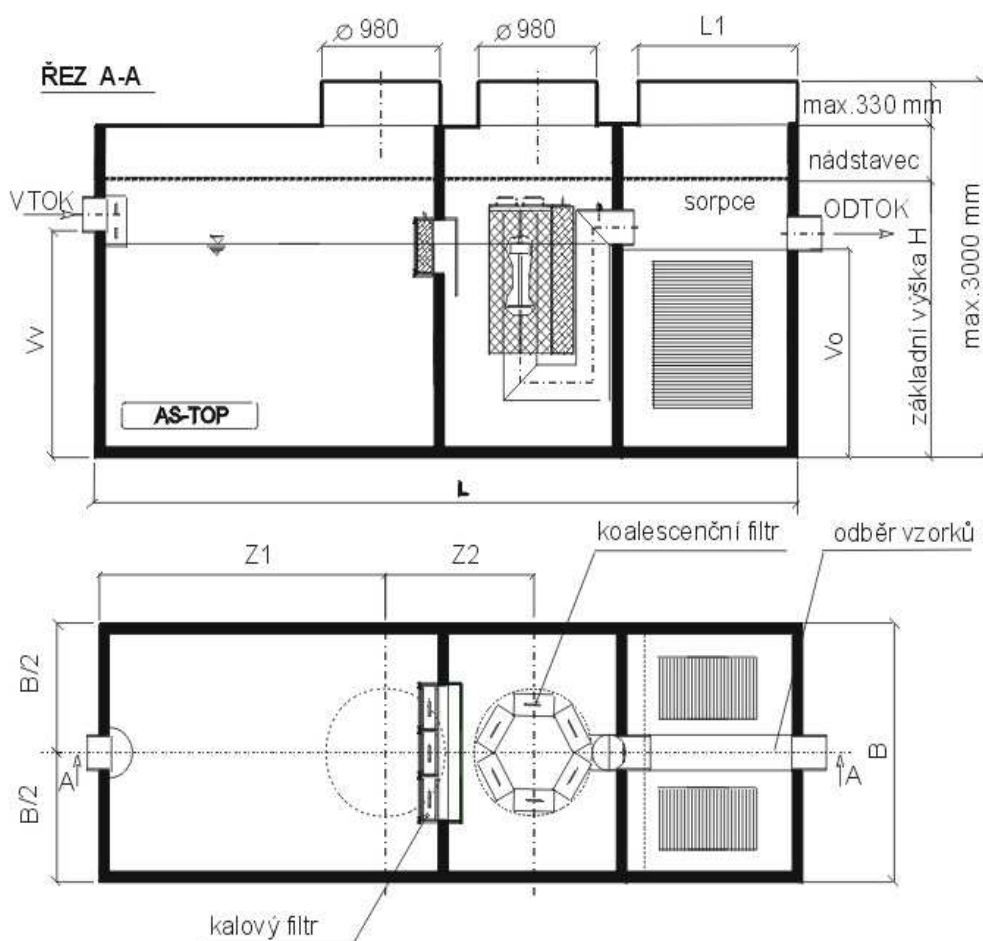


Obr. 2.13 – Odlučovač lehkých kapalin s koalescenčním filtrem (Asio spol. s.r.o.,2011)

Odlučovače gravitačně – koalescenční se sorpčním dočištěním

Zařízení obsahuje navíc tzv. „sorpční filtr“. Jedná se o koncový stupeň odlučovače s obsahem selektivního hydrofobního sorbentu, schopného pohltit gravitačně neoddělitelný olejový podíl. Odlučovač je schopen oddělit podobně jako odlučovače gravitačně – koalescenční olejový podíl z nestabilní olejové emulze (mechanicky emulgované). Stabilní olejovou emulzi vniklou např. použitím chemických emulgátorů odlučovač neoddělí, naopak po průchodu vody s obsahem stabilní chemicky vázané emulze se z odlučovače vyplatí dříve nasorbovaný olejový podíl. (Krátký, Nekolný, 2009)

Pro návrh sorpčního filtru je rozhodující filtrační rychlost, množství suspendovaných látek, délka filtračního cyklu a sorpční kapacita použitého sorbetu. Musí být konstruován tak, aby nasycený sorbent byl snadno vyměnitelný. Pro čištění srážkových povrchových vod se použití sorpčního filtru doporučuje s ohledem na jeho provozní náročnost (ekonomickou a ekologickou) pouze v odůvodněných případech. (ČSN 75 6551, 2008)



*Obr. 2.14 - Odlučovač lehkých kapalin s koalescenčním a sorpčním filtrem
 (Asio spol. s.r.o.,2011)*

Legislativa a normy

ČSN EN 858-1 Odlučovače lehkých kapalin (např. oleje a benzinu) –

Část 1- stanovuje definice, jmenovité světlosti, zásady navrhování, požadavky na provádění, označování, zkoušení a řízení jakosti pro odlučovače lehkých kapalin.

Tato norma je určena pro odlučovače lehkých kapalin, tam kde jsou lehké kapaliny odlučovány z odpadních vod gravitací a nebo shlukováním. Tuto normu nelze použít k úpravě stabilních emulzí, roztoků lehkých kapalin a vody, tuků a olejů rostlinného a živočišného původu.

ČSN EN 858-2 Odlučovače lehkých kapalin (např. oleje a benzinu) –

Část 2- poskytuje návod k volbě jmenovité světlosti, jakož i pokyny pro osazení, provoz a údržbu odlučovačů lehkých kapalin podle EN 858-1. Dále též poskytuje doporučení o vhodnosti čistících prostředků, pokud jsou odváděny do těchto odlučovačů.

Z norem pro navrhování odlučovačů lehkých kapalin ČSN EN 858-1 a ČSN EN 858-2 vyplývá, že se vždy provádí tak, aby minimálně celý směrodatný déšť byl převeden přes odlučovač. Obtok je povolen jen na množství, o které maximální déšť převyšuje směrodatný déšť. Retence před odlučovačem je možná, avšak musí být navržena tak, aby byl zachycen a následně předčištěn celý směrodatný déšť. (Plotěný, 2009)

ČSN 75 6551 Odvádění a čištění odpadních vod s obsahem ropných látek

Tato norma platí pro odvádění odkanalizovaných vod s obsahem ropných látek všeobecně a pro čištění odpadních vod s obsahem ropných látek, přítomných ve formě volně vzplývavé, dispergované a nebo usaditelné. Norma platí pro odlučování ropných látek z odpadních vod gravitací a nebo shlukováním souběžně s ČSN EN 858-1, ČSN EN 858-2 a pro dočišťování filtrací, sorpcí a flotací.

Rakouská norma ÖNORM B 5104 – Abwasserverhalten von Reinigungsmitteln ("Kaltreiniger" bzw. "Lösemittelreiniger") auf nicht wässriger Basis für Fahrzeug- und Motorenreinigung – Anforderungen, Prüfung und Normkennzeichnung

Tato norma ÖNORM obsahuje požadavky na čištění odpadních vod s detergenty, které se používají v oblasti obchodu a průmyslu (např. v automobilovém průmyslu, garáží, čerpacích

stanic a příslušných doplňkových službách), pokud úprava odpadních vod probíhá přes odlučovač ropných látek.

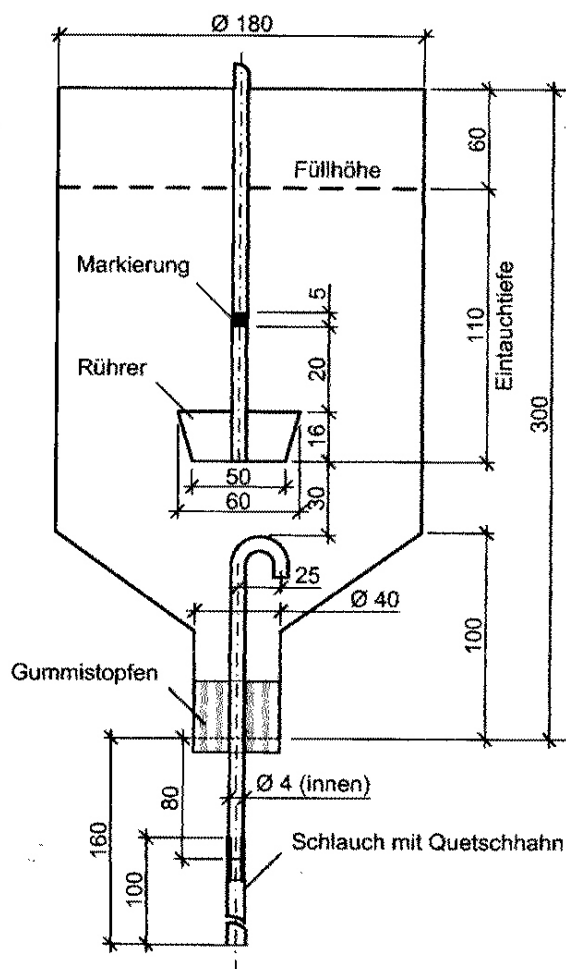
Využití pro:

- vody znečištěné uhlovodíky (vody z komunikací a vody z mytí karoserií);
- v případě deemulgace např. po mytí motorů.

Používaná standardní směs – směs znečištění

- 50% motorového oleje 15W40 nebo 5W 40 na minerálním základě;
- 25% bílé hlíny (kaolín), velikost zrn do 63 μm ;
- 25% uhličitan vápenatý (sražený).

Testování se provádí na zkušebním zařízení viz. Obr. 2.15 (Enghalsova láhev, např. Duran-Schott 5000 ml s odříznutým dnem).



Překlad:

Gummistopfen – gumová zátka

Rührer – míchadlo

Füllhöhe – výška plnění

Schlauch mit Quetschhahn –
hadice s uzávěrem

Markierung – barevná značka

Eintauchtiefe – pomoření

Obr. 2.15 - Enghalsova láhev (ÖNORM B 5104, 2007)

Stanovení druhu a velikosti odlučovacího zařízení

Je používána řada rozdílných odlučovacích zařízení, což umožňuje plnění různých požadavků. Dříve než je zvolena vhodná velikost a uspořádání odlučovacího zařízení, je důležité zjistit, k čemu bude odlučovací zařízení sloužit a jakou specifickou funkci má plnit.

Obecně jsou odlučovací zařízení používána k jednomu či více následujícím účelům:

- a) čištění průmyslových odpadních vod z průmyslových provozů, z mycích linek automobilů, z čištění zaolejovaných součástí či jiného původu, např. čerpací stanice pohonných hmot;
- b) čištění dešťových vod (dešťového odtoku) znečištěných(ho) olejem z nepropustných ploch, např. parkovišť, pozemních komunikací a ploch ve výrobních závodech;
- c) ochraně okolních ploch před nekontrolovaným odtokem lehkých kapalin.

Části odlučovacího zařízení podle EN 858-1 jsou uvedeny v Tab. 2.4.

Tab. 2.4 – Části odlučovacího zařízení

Části odlučovacího zařízení	Označení
Lapák kalu	S
Odlučovač třídy II	II, II b (pro odlučovače s obtokem)
Odlučovač třídy I	I, I b (pro odlučovače s obtokem)
Šachta na odběr vzorků	P

(ČSN EN 858-2 (75 6510), 2003)

Navrhování odlučovačů - všeobecně

Při navrhování odlučovačů lehkých kapalin se vychází z druhu a množství kapalin určených k čištění.

Přitom je třeba zohlednit:

- maximální odtok dešťových vod;
- maximální odtok odpadních vod (průmyslových odpadních vod);
- hustotu (měrnou hmotnost) lehkých kapalin;
- přítomnost látek, které mohou znesnadňovat odlučovací proces, např. detergentů.

Jmenovitá velikost odlučovače se vypočítá podle tohoto vzorce:

$$NS = (Q_r + f_x \cdot Q_s) \cdot f_d \quad (2.1)$$

- kde NS ... jmenovitá velikost odlučovače [-],
 Q_r ... maximální odtok dešťových vod [l/s],
 Q_s ... maximální odtok odpadních vod [l/s],
 f_d ... součinitel hustoty pro příslušnou lehkou kapalinu [-],
 f_x ... přitěžující součinitel v závislosti na druhu odtoku [-].

Součinitele

Přitěžující součinitel f_x

Přitěžující součinitel f_x zohledňuje nepříznivé podmínky pro odlučování, např. přítomnost detergentů v odpadních vodách. Doporučené minimální přitěžující součinitele jsou uvedeny v Tab. 2.5.

Tab. 2.5 – Minimální přitěžující součinitel f_x

Účel použití (viz. předchozí strana)	Minimální přitěžující součinitel f_x
odstavec a)	2
odstavec b)	Bezvýznamný, protože $Q_s = 0$ (pouze dešťové vody)
odstavec c)	1

Součinitel hustoty f_d

V závislosti na použití různých sestav částí odlučovacího zařízení je třeba zohlednit rozdíly hustot lehkých kapalin pomocí příslušného součinitele hustoty podle Tab. 2.6.

Tab. 2.6 – Součinitele hustoty f_d

Hustota (měrná hmotnost) g/cm ³	do 0,85	od 0,85 do 0,90	od 0,90 do 0,95
Kombinace sestavy	součinitel hustoty f_d		
S-II-P	1	2	3
S-I-P	1 ^{a)}	1,5 ^{a)}	2 ^{a)}
S-II-I-P	1 ^{b)}	1 ^{b)}	1 ^{b)}
^{a)} Pro odlučovače třídy I, provozované pouze jako gravitační, se použije součinitel hustoty f_d pro třídu II. ^{b)} Pro odlučovače třídy I a II.			

Společný přítok dešťových a odpadních vod

Pokud jsou v odlučovači společně čištěny dešťové a odpadní vody, např. z mycích ploch vozidel, a neočekává-li se společný maximální přítok těchto vod, může být odlučovač navržen na vyšší hodnotu z obou přítoků.

Odpadní vody

Přítok odpadních vod (viz. strana 42, oblast použití odstavce a) se počítá jako součet všech přítékajících přítoků podle tohoto vzorce:

$$Q_S = Q_{S1} + Q_{S2} + Q_{S3} + \dots \quad (2.2)$$

kde Q_{S1} ... odtok odpadních vod ze všech odtokových míst [l/s],

Q_{S2} ... odtok odpadních vod z mycích zařízení vozidel [l/s],

Q_{S3} ... odtok odpadních vod z vysokotlakých čisticích zařízení [l/s].

Každý další přítok se započítává.

Odtoková místa

Pokud nelze změřit maximální odtok v místě odtoku, může být tato hodnota odhadnuta podle Tab. 2.7. Tato tabulka zohledňuje pravděpodobnou současnost odtoků ze všech odtokových míst, nezávisle na jejich velikosti. Při výskytu různých výtokových ventilů se při výpočtu uvažuje hodnota odtoku z výtokového ventilu od největšího k nejmenšímu.

Tab. 2.7 – Odtokové hodnoty z výtokových ventilů

Výtokové ventily					
Jmenovitá velikost	Odtoky z výtokových ventilů Q_{S1} ^{a)} [l/s]				
	1. ventil	2. ventil	3. ventil	4. ventil	5. ventil a každý další
DN 15	0,50	0,50	0,35	0,25	0,10
DN 20	1,00	1,00	0,70	0,50	0,20
DN 25	1,70	1,70	1,20	0,85	0,30

^{a)} Hodnoty platí pro vstupní (napájecí) tlaky přibližně od 400 kPa (4 bar) do 500 kPa (5bar); jiné vstupní tlaky mohou vykazovat odlišné hodnoty Q_{S1} .

Příklad výpočtu Q_{S1} pro 1 ventil DN 15, 1 ventil DN 20:
 1. ventil DN 20 = 1,0 l/s
 2. ventil DN 15 = 0,5 l/s
 $Q_{S1} = 1,5$ l/s

V případě, že se vstupní tlak liší od hodnoty uvedené v Tab. 2.7, v poznámce pod čarou^{a)}, počítá se odtokové množství z výtokového ventilu podle tohoto vzorce:

$$Q_{S1(xkPa)} = \frac{Q_{S1(400kPa)}}{\sqrt{\frac{400kPa}{xkPa}}} \quad (2.3)$$

kde $Q_{S1(xkPa)}$... odtok z výtokového ventilu při vstupním tlaku o hodnotě x kPa [l/s],

$Q_{S1(400kPa)}$... odtok z výtokového ventilu podle Tab. 2.7 [l/s].

Dešťové vody

Jmenovitá velikost odlučovače závisí na druhu jeho konstrukce, na množství srážek a zachytné ploše srážek (povodí), odvodňované(ho) do odlučovače.

Maximální odtok dešťových vod Q_r v l/s se počítá podle vzorce:

$$Q_r = \psi \cdot i \cdot A \quad (2.4)$$

kde i ... intenzita směrodatného deště [l/(s.ha)],

A ... plocha povodí (měřeného horizontálně) [ha],

ψ ... součinitel odtoku [-].

Ve většině případů lze součinitel odtoku uvažovat $\psi = 1,0$. (ČSN EN 858-2 (75 6510), 2003)

Podle požadavků na účinnost odlučování a podle výsledků dosažených při zkoušce typu se odlučovače dělí do dvou tříd:

Tab. 2.8 – Třídy odlučovačů

Třída	Maximální přípustný obsah zbytkového oleje ^{a)}	Typický odlučovací postup
I	5,0	Např. koalescenční odlučovače
II	100	Např. gravitační odlučovače

^{a)} Pokud byly provedeny zkoušky podle 8.3.3.1 a vzorky analyzovány na obsah uhlovodíků za použití infračervené spektroskopie v souladu s A.2 a A.3. Viz. ČSN EN 858-1 (75 6510)

Pro posouzení imisních hodnot se pro jednotlivé třídy odlučovačů doporučuje použít emisní hodnoty podle Tab. 2.9.

Tab. 2.9 – Emisní hodnoty

Třída odlučovače	Emisní hodnota zbytkového oleje mg/l
II	100 a)
I	5 a)
I _S b)	1
a) Hodnoty jsou stanoveny v tabulce 1 ČSN EN 858-1:2003. b) Viz: Sorpce (ČSN 75 6551, 2008)	

Sorpce

Navrhuje se po odstranění nerozpuštěných látek k zachycení dispergovaných a rozpuštěných ropných látek z odpadních vod. V návrhu technologie se uvede charakteristika a sorpční kapacita použitého sorbentu a podmínky jeho aplikace při odstavném a průtočném postupu, způsob výměny, popř. regenerace sorbentu. Zařazuje se jako konečný stupeň za mechanické nebo chemické čištění. (ČSN 75 6551, 2008)

Tab. 2.10 - Označení třídy odlučovače se sorpcí

Třída	Maximálně přípustný obsah zbytkového oleje mg/l	Typický odlučovací postup (příklad)
I _S	1,0 ^{a)}	odlučovač třídy I se sorpcí
a) Prokazuje se zkouškou typu podle 8.3.3.1 ČSN EN 858-1:2003.		

(ČSN 75 6551, 2008)

Stanovení objemu kalového prostoru

Tab. 2.11 – Objemy lapáku písku

Očekávané množství kalu, např.		Minimální objem lapáku kalu [l],
žádné	- kondenzát	lapák kalu není nutný
malé	- odpadní vody s definovaným malým množstvím kalu - všechny plochy zachytávající dešťové vody, z kterých se usazuje jen malé množství nečistot ze silničního provozu apod., např. záchytné vany ploch s cisternami pohonných hmot nebo zakrytých čerpacích stanic pohonných hmot	$\frac{100 \cdot NS}{f_d}$ a)
střední	- čerpací stanice pohonných hmot, ruční mytí osobních vozů, mytí automobilových dílů, - stání na mytí autobusů, - odpadní vody z opraven vozidel, odstavné plochy vozidel, - elektrárny, strojírenské provozy	$\frac{200 \cdot NS}{f_d}$ b)
velké	- mycí plochy pro stavební stroje a vozidla a pro zemědělské stroje, - stání na mytí nákladních vozidel	$\frac{300 \cdot NS}{f_d}$ b)
	- automatická zařízení na mytí vozidel, např. portálové myčky, mycí linky	$\frac{300 \cdot NS}{f_d}$ c)
<p>a) neplatí pro odlučovače menší nebo rovné NS 10, s výjimkou zastřešených parkovacích ploch b) minimální objem lapáku kalu 600 l c) minimální objem lapáku kalu 5000 l</p>		

Tab. 2.12 – Sestavení částí odlučovacího zařízení a požadavky na jakost odpadních vod na odtoku z odlučovače

Směr průtoku	Sestavy částí odlučovacího zařízení	Požadavky na jakost odpadních vod na odtoku z odlučovače
→	S-II-P	Doporučuje se pro minimálně stanovenou jakost odtoku svedeného do odvodňovacích / kanalizačních systémů a čistíren odpadních vod.
→	S-I-P	Doporučuje se v případě požadavku na vyšší stupeň odlučování.
→	S-II-I-P	Doporučeno pro stejnou jakost odtoku jako v sestavě S-I-P, kde však přítok do odlučovače může obsahovat větší množství lehkých kapalin.
→	S-IIb-P ^{a)NP7)}	Může být použita v případě nekontrolovaně vytékajících lehkých kapalin.
→	S-Ib-P ^{a)NP7)}	Může být použita pro čištění prvního splachu znečištěných dešťových vod.
<p>^{a)} Viz. Tab. 2.4 (Části odlučovacího zařízení) (ČSN EN 858-2)</p> <p>^{NP7)} Národní poznámka Aby se předešlo vyplavování usazovaného kalu, doporučuje se, aby minimální objem lapáku kalu odpovídal celkovému průtoku odlučovacími zařízeními (tj. součtu maximálně přípustného průtoku odlučovačem a obtokem). (ČSN EN 858-2)</p>		

Použití plno-průtokového odlučovače

V tomto případě celý maximální průtok srážkových vod, vypočtený zvoleným postupem podle ČSN 752-4:1998 pro směrodatný déšť (např. intenzita 15' deště o periodicitě 1), bude protékat všemi funkčními prostory odlučovače, který je navržen podle ČSN EN 858:2003. Odlučovač LK musí být dimenzován tak, aby jak kalový prostor, tak i odlučovací prostor vyhověl celému návrhovému průtoku. Nevzniká tak nebezpečí vyplavení usazenin z kalového prostoru a není ani nebezpečí, že by došlo v případě havárie k úniku lehkých kapalin přímo do toku. Pokud je odlučovač navržen a odzkoušen podle ČSN EN 858-1:2003, je i velká pravděpodobnost, že hodnota koncentrace na odtoku bude do

5 mg/l NEL. Což je koncentrace zabezpečující ve velké většině případů, že i v době havárie nebude výsledná koncentrace v toku větší než 0,1 mg NEL /l . (Pírek, 2007)

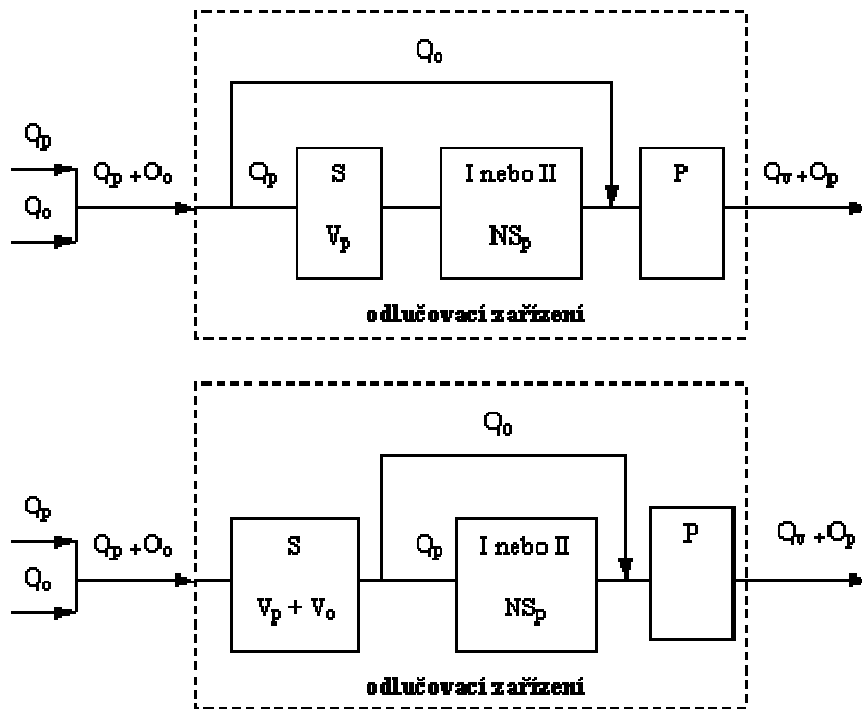
Použití odlučovačů s obtokem

Při tomto řešení je část vody v množství přesahujícím maximální průtok odlučovačem (viz. výpočet jmenovité velikosti odlučovače dle ČSN EN 858-2:2003) odváděna mimo odlučovač a odtéká přímo do toku (nebo kanalizace a pak do toku). To znamená, že nějaké neurčené množství poteče bez možnosti odloučení obsažených lehkých kapalin. Poměry množství mezi průtokem přes odlučovací zařízení a obtokovaným množstvím nejsou nikterak stanoveny a závisí pouze na projekčním návrhu. Velikosti poměru mezi max. průtokem odlučovačem a obtokovaným množstvím vod je přímo úměrné i riziko úniku ropných látek do toku. Např. při zvoleném poměru 1:5 lze předpokládat, vycházíme-li z křivky četnosti pro 15' déšť, že asi 9x za rok dojde k obtékání odlučovacího zařízení a velká část vody poteče nečištěná.

Ještě větší nebezpečí než obtékání celého odlučovacího zařízení představují zařízení řešené tak, že je obtékán pouze odlučovací prostor. V tomto případě je zřejmé nebezpečí, že se z poddimenzovaného (např. 5x menšího) kalového prostoru „vypláchnou“ již usazené nerozpuštěné látky, na které je navázána většina lehkých kapalin. Znamená to, že se vyplaví všechno to, co se zachytilo při malých průtocích. Vytváří se tak v podstatě uměle havárie. O tom, že k tomuto jevu zřejmě dochází, je možné se domnívat i ze statistik, podle kterých s rostoucím průtokem přímo úměrně stoupá i koncentrace ropných látek v toku.

Paradoxní je použití sorpčních filtrů u odlučovačů s obtokem. Takový odlučovač sice při správném návrhu zachytí více lehkých kapalin při malých průtocích, avšak při větších průtocích je riziko stejně velké jako u odlučovacích zařízení bez sorpce. (Pírek, 2007)

Možné použití obtoků:



Funkce obtoku (a):

převést přítok nad Q_p mimo odlučovací zařízení.

Značení: (S-I-P)b

Bypass v tomto případě není součástí odlučovače

Funkce obtoku (b):

převést přítok nad Q_p mimo odlučovač, vyčistit přítok Q_o od tuhých látek bez snížení obsahu lehkých kapalin

Značení: S-Ib-P nebo S-IIb-P

kde Q_p ... přítok na odlučovač vypočtený dle ČSN EN 858-2 (odtok z plochy při návrhovém normovém dešti)

Q_o ... přítok nad Q_p (maximální možný celkový průtok - vypočtený = havarijní)

NS_p ... jmenovitá velikost vypočtená dle Q_p

NS_o ... jmenovitá velikost vypočtená dle Q_o (fiktivní jmenovitá velikost odpovídající havarijnímu průtoku)

V_p ... objem kalojemu vypočtený dle NS_p (objem odpovídající vypočtenému průtoku)

V_o ... objem kalojemu vypočtený dle NS_o (objem odpovídající havarijnímu průtoku Q_o)

S ... kalojem

I nebo II ... odlučovač třídy I nebo II

P ... šachta pro odběr vzorků

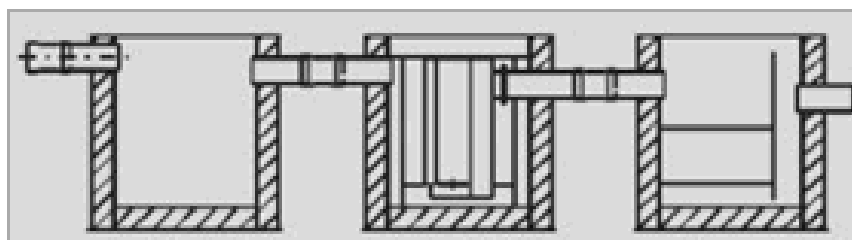
Přítok Q_p je ten přítok odpadních vod, kvůli nimž je odlučovací zařízení instalováno. (Stríž, Plotěný, 2003)

Kombinované odlučovače

Jsou to kompaktní kontejnerová zařízení (většinou jedna nádrž) sestávající z jednotlivých funkčních prostor tzv. lapače kalu - kalový prostor, odlučovače - odlučovací prostor a sorpce - prostor adsorpčního dočištění. Rozlišují se pro

- srážkové vody z parkovacích ploch osobních automobilů s malou koncentrací LK a malým množstvím kalu;
- srážkové vody z parkovacích a pojížděných ploch nákladních automobilů, sklady, spediční plochy ap. s větší koncentrací LK a středním množstvím kalu;
- použití pro průmyslové technologické vody, mycí vody, srážkové vody z ploch průmyslových areálů, manipulační a opravárenské plochy s největší koncentrací LK a velkým množstvím kalu;
- pro zabezpečení velmi malých ploch a znečištěných prostorů je určen pro odlučování ropných látek z vod odtékajících z malých ploch do 40 m². Např. z parkovacích ploch, malých servisů nebo dílen ap.

Zároveň jsou na trhu i dílčí samostatná zařízení (Obr. 2.16) pro možnost individuální kombinace nejvhodnější varianty čistícího efektu pro daný případ. Složí se podle potřeby z lapače kalu (výběr velikosti), odlučovače (pro různě velká vstupní znečištění) a sorpce pro dosažení nižších výstupních koncentrací. (Kopáčková, 2006)



Obr. 2.16 – Kombinovaný odlučovač (Kopáčková, 2006)

Lamelový odlučovač lehkých kapalin

Účinnost gravitačních odlučovačů se zvýší při vložení štěrbinových vložek šikmo uloženým deskám do odlučovacího prostoru nebo vložení lamelového bloku. Malé ropné kapky se při pomalém vertikálním vzestupu zachytí na stropní stěně lamely a splynou s již odloučenou ropnou látkou. Tato volná ropná látka se pak sune po šikmé stropní stěně lamely vzhůru a shromažďuje se na hladině. Zvýšeného efektu se dosahuje lamelovým uspořádáním, kde každá lamelová štěrbinová funguje jako samostatný odlučovač o tenké vrstvě čištěné vody.

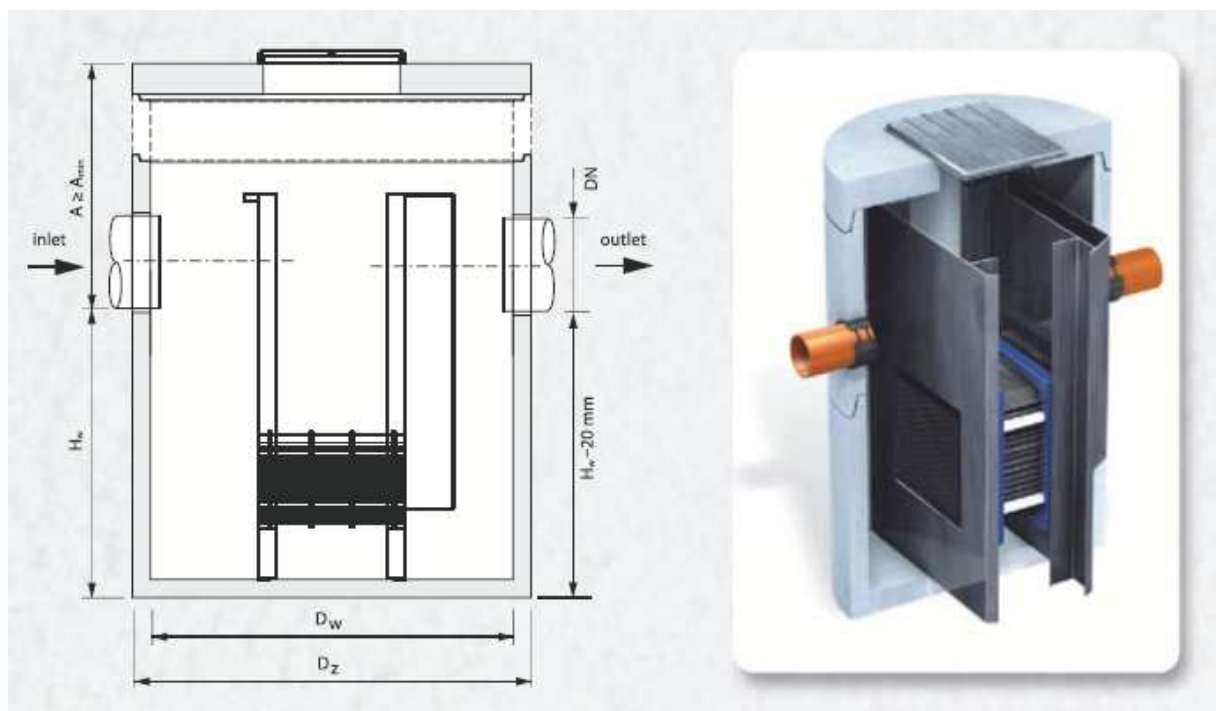
Ke konstrukci lamelových bloků se používá vhodného plastu, ocelového plechu atd. Aby toto čištění bylo účinné je nutné, aby čištěná voda byla přiváděna rovnoměrně, aby nedocházelo k turbulenci a aby čištěná voda odtékala rovnoměrně. (*Dvořák a kol., 1982*)

Podle průtoku čištěné vody lamelovým blokem rozeznáváme

- vzestupné odlučovače;
- sestupné odlučovače;
- příčné odlučovače.

Funkce odlučovače lehkých kapalin

Přes nátokové potrubí natéká voda znečištěná ropnými látkami do první části nádrže OLK (usazovacího prostoru), kde působením prosté sedimentace dochází k oddělení hrubých nečistot (písku, šterku a pod.) od vody. Sedimentované hrubé nečistoty se usazují na dně. Voda znečištěná ropnými látkami dále přetéká přes nornou stěnu do druhého prostoru OLK (odlučovacího) a dvěma otvory vtéká do lamelové vestavby. Lamelová vestavba je tvořena řadou paralelních lamel z plastu, počet lamel-velikost vestavby je závislý na velikosti OLK vzhledem k průtočnému množství znečištěné vody. Při průtoku přes tyto lamely dochází ke shlukování kapek ropné látky na spodní straně lamel. Při dosažení určité velikosti jsou kapky tlačeny vlivem rozdílných měrných hustot vody a oleje podél lamel do horního sběrného prostoru. Naopak malá zrnka kalu klesají podél lamel na dno prostoru vestavby. Voda zbavená ropných příměsí teče dále přes odtokovou komoru do odtokového potrubí. (*Separ, 2009*)



Obr. 2.17 – Lamelový odlučovač lehkých kapalin (Ecol-Unicom, 2009)



Obr. 2.18 – Řez lamelovým odlučovačem lehkých kapalin (Ecol-Unicom, 2009)

2.5.2. Dešťová usazovací nádrž (sedimentační nádrž)

Jedná se zpravidla o objekty osazené na koncových profilech systémů odvodnění např. pozemních komunikací s velkou plochou (např. ucelených úseků rychlostních pozemních komunikací, velkých parkovišť apod.). K základní funkci nádrže, tj. oddělení nerozpuštěných sedimentujících látek jsou obvykle přiřazeny i funkce další, tj. zachycení havarijních úniků závadných látek, akumulace vody, vyrovnávání průtoků a separace sedimentů. V případě multifunkční nádrže je velmi důležité navržení hydraulických podmínek, provoz a údržba objektu. Součástí těchto nádrží mohou být i odlučovače lehkých kapalin integrovaných přímo do technologie nádrže s funkcí separace drobných havarijních úniků převážně ropných produktů. (Krátký, Nekolný, 2009)

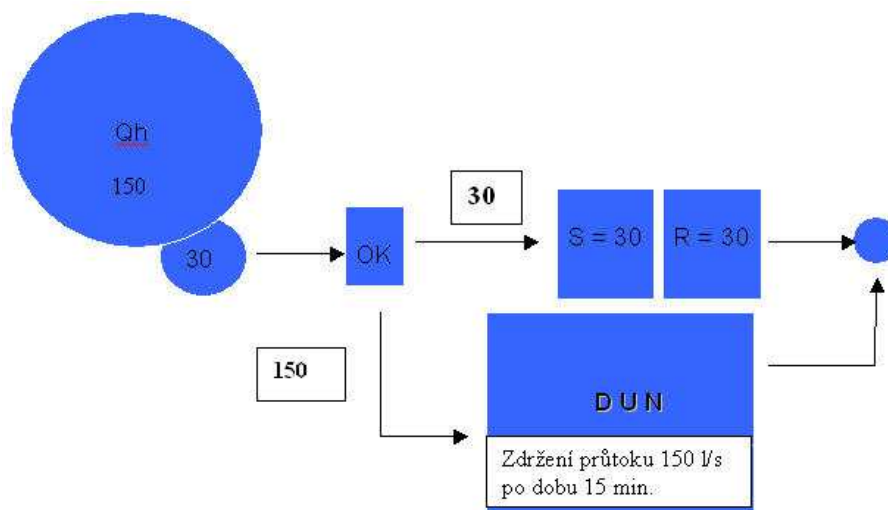
Toto řešení předpokládá, že veškerá voda odtékající z plochy je pro navrženou intenzitu mezního deště akumulována v nádrži s dobou zdržení zaručující zachycení případné havárie i v případě maximálního průtoku. Voda je pak postupně vypouštěna přes odlučovací zařízení, přičemž je logické, že samotný odlučovač se navrhuje na menší průtok než je odtok z plochy. Pro návrh DUN se využívá ustanovení normy ČSN 75 6261:2004 – „Dešťové nádrže“. (Pírek, 2007)



Obr. 2.19 – Řešení velkokapacitního parkoviště pomocí retenční nádrže a odlučovače (Pírek, 2007)

Praxe ukazuje, že ještě vhodnější uspořádání s využitím DUN je předradit před nádrž odlehčovací komoru, která odvádí menší průtoky (až do předem stanovené hranice možného rizika) na odlučovací zařízení a větší průtoky potom odlehčuje do DUN. Tzn. že větší

průtoky, které obtékají odlučovací zařízení, nejsou odváděny přímo do toku, ale přes retenční nádrž. Přednost tohoto řešení je v tom, že malé průtoky jdou do toku přes odlučovač. V případě havárie v bezdeštném období nebo při malém dešti se ropné látky zachytí v odlučovači, a proto je jejich likvidace jednodušší, a samozřejmě i ekonomičtější. (Pírek, 2007)



Obr. 2.20 – DUN s předřazenou odlehčovací komorou (Pírek, 2007)

2.5.3. Jednoučelové speciální objekty (např. rozdělovací objekty)

Vkládají se do systému oddílné dešťové kanalizace především z důvodu úpravy hydraulických poměrů. Rozdělovacích objektů se např. používá k oddělení malých průtoků nebo prvních oplachů z komunikačních ploch. Tyto povrchové vody jsou obvykle více znečištěny. (Krátký, Nekolný, 2009)

2.5.4. Retenční filtrační nádrž

Nádrže se nejvíce uplatňují při potenciálně velmi znečištěných plochách a zvýšeném riziku technických poruch, např. při dotocích z dálnic. Filtrační jímky a retenční filtrační nádrže spojují účinek zadržetí vody s určitou čistící schopností.

Retenční filtrační nádrž má smysluplné použití při plochách větších než 1ha pro předčištění srážkových vod z tendenčně více znečištěných ploch (např. při velkém riziku technických poruch - odtoky z dálnic). (Mifková, 2009)

Výhody:

- Optimální kontrola vsakovacích opatření.
- Dobré čistící schopnosti (olejové a ropné látky).
- Dobré zásobní možnosti vlivem vzduší.
- Filtrační nádrž může být velmi dobře začleněna do přírody.

Nevýhody:

- Při naplněné nádrži vzniká eventuální nebezpečí pro hrající si děti - vyžaduje se oplocení.
- Žádné vsakování.

2.5.5. Kombinace objektů

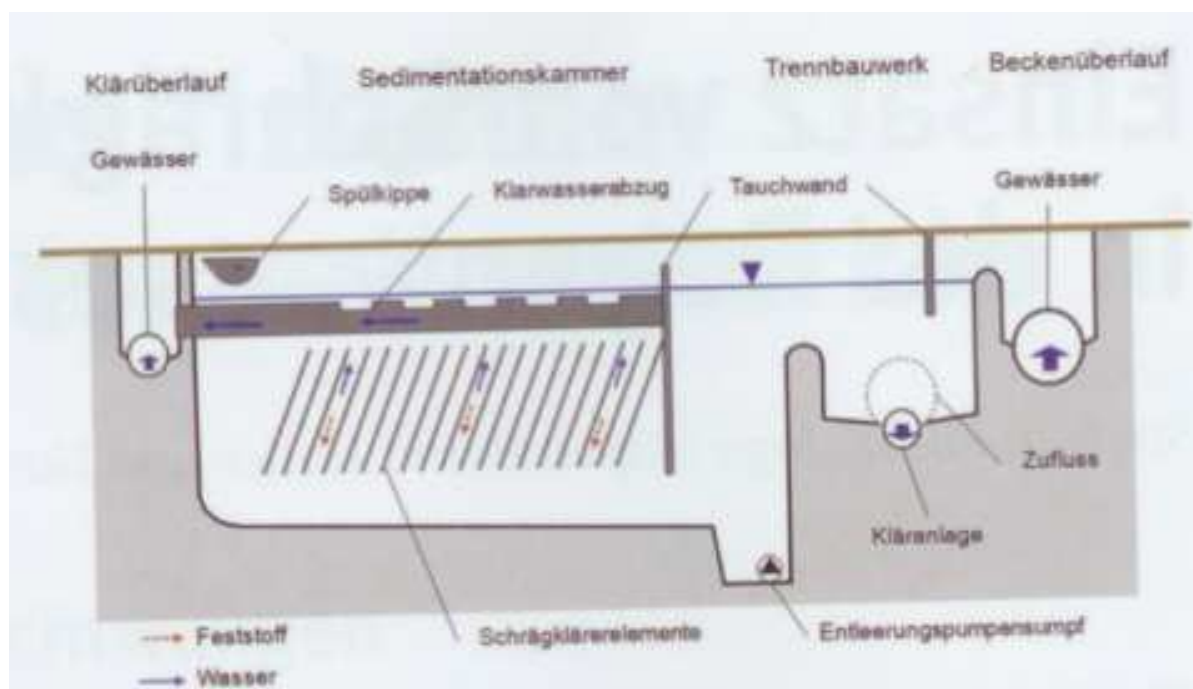
Pro zachycení uhlovodíků ze splachů a srážkových vod může být OLK navržen samostatně nebo v kombinaci s dešťovou usazovací nádrží, retenční filtrační nádrží, akumulací nádrží nebo zasakovacími průlehy s retenčním prostorem. U průmyslových odpadních vod opět samostatně nebo v kombinaci s dalšími stupni čištění buď na bázi fyzikálně-chemických procesů, např. koagulací, elektrokoagulací, flotací, sorpcí, adsorpcí, stripováním, membránovou separací a nebo biologickým čištěním.

Lamelový odlučovač s usazovací nádrží při nakládání dešťových vod

Lamely jsou vhodný nástroj ke zvýšení účinnosti v usazovacích nádržích při nakládání s dešťovými vodami. Zařízení s lamelami dosahuje účinnosti, která je porovnatelná jen s usazovacími nádržemi s vysokými specifickými objemy nádrže. Díky velké usazovací ploše, která je k dispozici při současně malém rozsahu stavby, mohou být při navrhování nových zařízení pro nakládání dešťových vod redukovány objemy nádrže a tím investiční náklady.

Lamely jsou vytvořeny jako panelové - nebo trubkové prvky, které byly vsazeny do usazovacího prostoru. Jednotlivé panely nebo trubky jsou při tom nakloněny většinou mezi 45 a 60°. Z technického hlediska se rozlišují na stejné - proti-proudé - a křížovo-proudé odlučovače.

Se zabudováním lamelových prvků může být zvýšena účinnost průtokové nádrže. Podstatná výhoda oproti konvenční dešťové nádrži spočívá ve zvětšení efektivní plochy usazování. Podle zastavěných objemů lamel a vzdálenosti mezi jednotlivými lamelovými prvky popř. jejich úhel sklonu, může být projektovaná/efektivní usazovací plocha až pěti- až deseti násobkem základní plochy nádrže usazovacích komor. (Fuchs, Mayer a kol, 2010)



Obr. 2.21 – Odlehčovací komora jako průtoková nádrž s lamelami (např. v paralelním zapojení) (Fuchs, Mayer a kol, 2010)

Překlad:

Klärüberlauf – Čistící přepad

Trennbauwerk – Dělicí objekt

Beckenüberlauf – Přepad nádrže

Gewässer – Voda

Spülkippe – Plavený násyp

Tauchwand – Norná stěna

Feststoff – Pevné látky

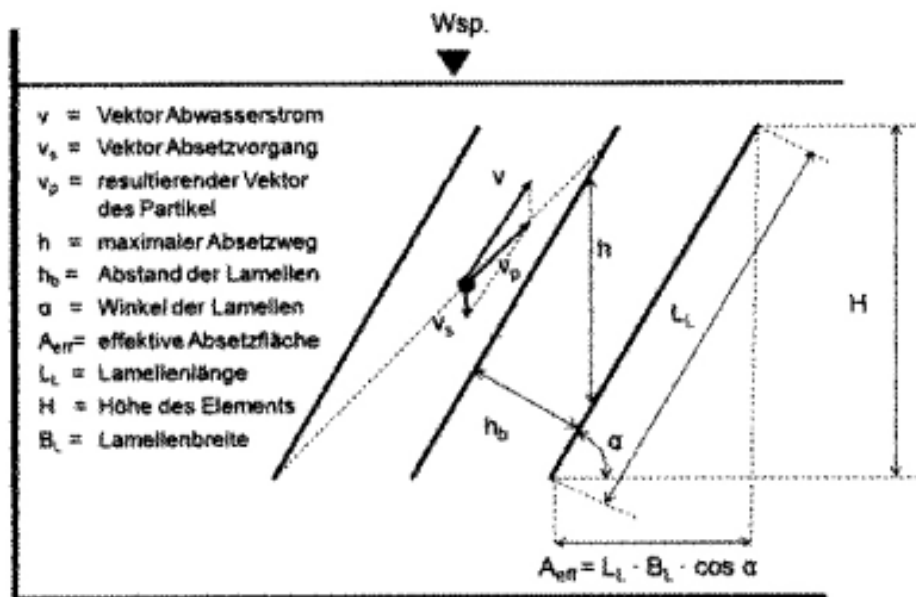
Zufluss - přítok

Klarwasserabzug – Odtok vyčištěné vody

Schräglämarelemente – Lamelové prvky

Sedimentationskammer – Sedimentační komora

Entleerungspumpensumpf – Vyprázdnění odčerpáním



Obr. 2.22 – Schéma lamelového odlučovače (Fuchs, Mayer a kol, 2010)

Překlad:

v = Vektor Abwasserstrom – Vektor toku odpadní vody

v_s = Vektor Absetzvorgang - Vektor průběhu usazování

v_p = resultierender Vektor des Partikel – výslednice vektoru částic

A_{eff} = effektive Absetzfläche – Efektivní usazovací plocha

h = maximaler Absetzweg – Max. usazovací cesta

h_b = Abstand der Lamellen – Odstup lamel

L_L = Lamellenlänge – Délka Lamel

α = Winkel der Lamellen – Úhel lamel

B_L = Lamellenbreite – Šířka lamel

H = Höhe des Elements – Výška prvků

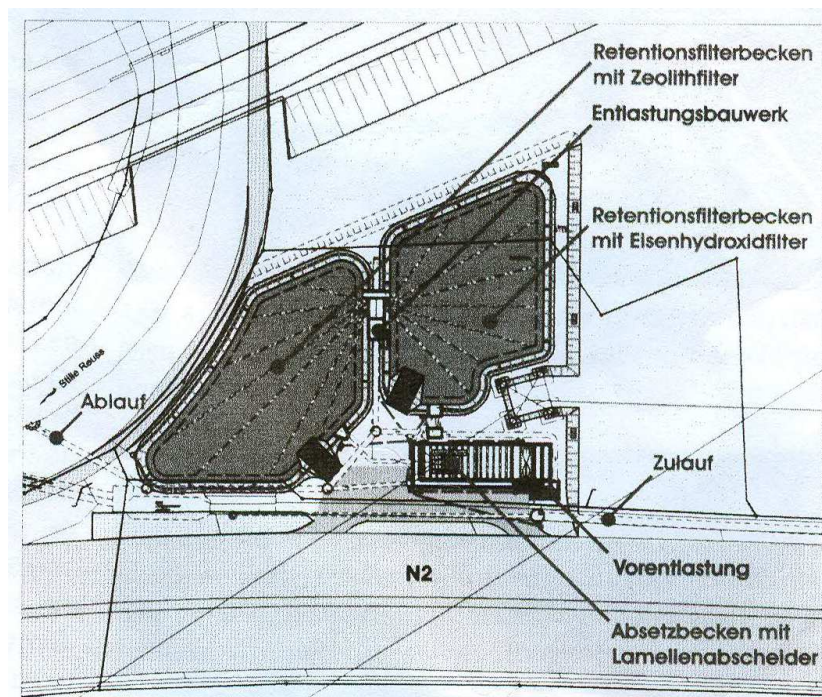
Lamelový odlučovač s usazovací a retenčně filtrační nádrží

Tato kombinace zařízení je použita ve Švýcarsku v dálničního úseku Erstfeld – Amsteg.

Základní uspořádání zařízení

Tří-stupňová kombinace lamelového odlučovače s usazovací a retenčně filtrační nádrží se skládá z oddělení částic a adsorpční vrstvy, která je realizována ve 2 krocích. Oddělení částic nastává jednak v lamelovém odlučovači a na druhé straně v pískové vrstvě. Rozpuštěné těžké kovy jsou zdržovány aktivní adsorpční vrstvou, která je vložena pod vrstvu písku.

V usazovací nádrži se zadržují větší usaditelné částice ($>20-30\mu\text{m}$), stejně jako olej a jiné plovoucí látky. Tím je následující retenční filtrační nádrž chráněna před častým zanášením. Druhá retenční filtrační nádrž, která se skládá z kombinované pískovo - a adsorpční vrstvy, která filtruje drobné částičky ($<20\ \mu\text{m}$) z povrchových vod a adsorbuje rozpuštěné látky. Retence v této nádrži, která vzniká díky filtračnímu odporu, redukuje hydraulické zatížení odtoků. Akumulace vody tak umožňuje úpravu většího množství vody. V obou retenčně filtračních částí nádrží je nastaveno vypouštění, které bude spuštěno u kompletně naplněné nádrže. V případě přetížení, je vypouštěná voda vyčištěná už jen díky činnosti sedimentace v lamelovém odlučovači. Odtok usazovací nádrže a retenčně filtrační nádrže je dálkově řízen automatickým uzavíratelným ventilem. (Herman, Dinger a kol, 2010)



Obr. 2.23 - Přehled rozmístění zařízení tří-stupňové kombinace (Herman, Dinger a kol, 2010)

Překlad:

Zulauf – Příklad

Ablauf – Odtok

Entlastungsbauwerk – Odlehčovací objekt

Vorentlastung – Předvypouštění

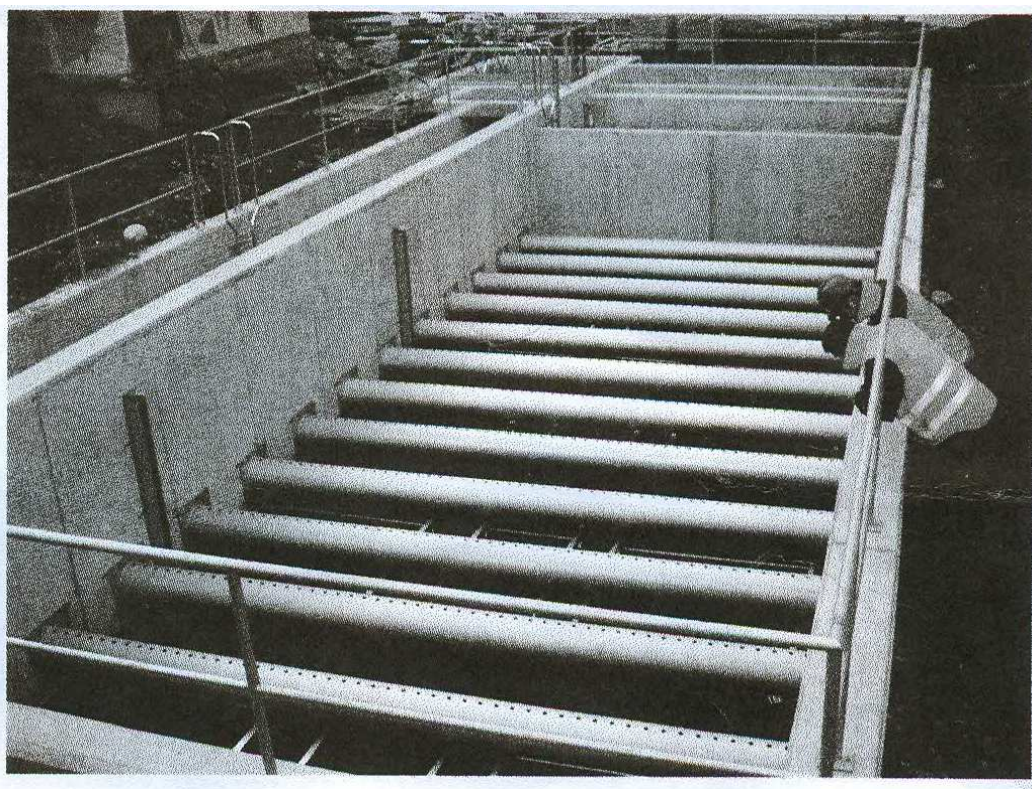
Absetzbecken mit Lamellenabscheider – Usazovací nádrž s lamelovým odlučovačem

Retentionsfilterbecken mit Zeolithfilter – Retenční filtrační nádrž se zeolitem

Retentionsfilterbecken mit Eisenhydroxidfilter - Retenční filtrační nádrž s hydroxidem železitým

Usazovací nádrž

V prvním čistícím stupni jsou odděleny částice v usazovací nádrži, v kombinaci s oddělením plovoucích látek. Částice povrchových vod z komunikací jsou těžce usaditelné. Zvláště částice zatížené škodlivými látkami mají uspořádání podle velikosti pod $60\mu\text{m}$. K usazení těchto jemných částic, je potřeba dosáhnout zatížení povrchu v usazovací nádrži v okolí v rozsahu pod 1 m/h . Zařízení, se zatížením povrchu $>10\text{ m/h}$ (běžný odlučovač oleje) je neúčinný pro zadržování zatížení částic škodlivých látek. Protože prostor pro třetí čistící stupeň byl silně omezen, byla usazovací nádrž vyrobena z betonové konstrukce a vybavena lamelovými svazky (Obr. 2.24). Lamely zvětšují účinnou usazovací plochu nádrže a snižují tím povrchové zatížení zhruba o desetinásobek. Voda protéká zdola nahoru v 60° sklonu lamelových úrovní. Usazený kal je periodicky odtažen sacím vozem a zlikvidován. Voda, která protékala lamelami, je následně v perforovaném odtokovém potrubí zachycena a odvedena k následující retenčně-filtrační nádrži. (Herman, Dinger a kol, 2010)



Obr. 2.24 - Usazovací nádrž k oddělení částic s lamelovou konstrukcí a nad tím perforované odtokové potrubí (Herman, Dinger a kol, 2010)

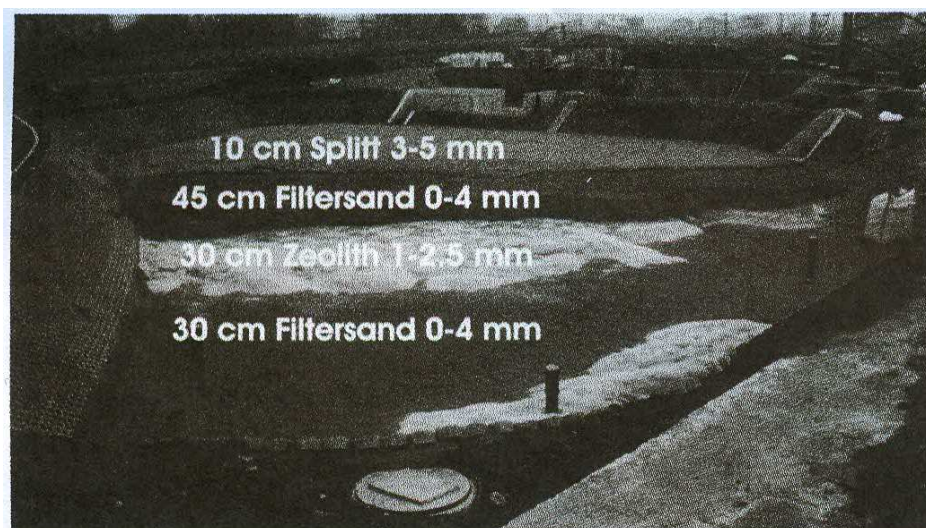
Retenční filtrační nádrž

Druhý čistící stupeň zařízení je zadržení částic v retenční filtrační nádrži. Částice, které prošly k usazovací nádrži, mohou být zadrženy už jen ve filtraci. V každém zařízení byly zhotoveny dvě retenční filtrační nádrže. Obě nádrže mohou být provozovány buď společně, nebo každá jednotlivě. Filtr se skládá z písku, adsorpčního materiálu a povrchové vrstvy z drti (Obr. 2.25). Zadržení částic probíhá hlavně na povrchu filtru. Nejvyšší vrstva odfiltruje většinu částic a musí být odpojena a čištěna po 3-4 letech. Jemnější částice jsou zadržovány v horní oblasti vrstvy písku. Ve zkoumaném dálničním úseku byl použit lapák písku se zrnitostí od 0-4mm. V realizovaném dvojstupňovém oddělení částic bylo odstraněno už 70-90% těžkých kovů a PAK z povrchových vod z komunikací. Časem se filtr zanesl akumulovanými látkami. Počítá se s životností cca. 20 let, pak bude nutné vyměnit veškeré filtrační těleso.

Třetí a poslední stupeň čištění v těchto zařízeních, je adsorpce rozpuštěných těžkých kovů. Je realizována v adsorpční vrstvě pod filtrem písku. Adsorpční materiál musí vykazovat dobrou hydraulickou vodivost, vysokou adsorpční kapacitu, rychlé pohlčení látek a selektivitu vůči těžkým kovům. Pro obě části nádrže byly použity dva různé adsorpční materiály. Jednak byl použit hydroxid železitý (Ferrosorp), který má velmi velkou adsorpční kapacitu, ale je také poměrně drahý. V druhé části nádrže je použit zeolit, který má redukovanou, ale přesto dostatečnou adsorpční kapacitu. Vzhledem k malému výkonu zeolitu byla zvýšena tloušťka vrstvy tohoto materiálu oproti hydroxidu železitému o 50 %.

Je nutné, aby se předem adsorbované těžké kovy v zeolitu rozpustily než nastane zimní období a do filtru bude vtékat přesolená povrchová voda z komunikací. Nádrž s obsahem zeolitu musí být v zimním období mimo provoz, jelikož v řadě selektivity zeolitů jsou sodné ionty Na^+ (sůl: NaCl) před těžkými kovy. U hydroxidu železitého tento problém nenastává.

Zaústění přítoků vody do retenční filtrační nádrže je na několika místech podél nádrže, aby byl filtr rovnoměrně zatížen. (*Herman, Dinger a kol, 2010*)



Obr. 2.25 – Skladba filtru v nádrži se zeolitem. U nádrže s hydroxidem železitý činí tloušťkou adsorpční vrstvy jen 20 cm. (Herman, Dinger a kol, 2010)

Překlad:

Splitt–drť

Filtersand – filtrační písek

2.5.6. Nanotechnologie

Nanotechnologie je v současnosti velmi zkoumanou technologií ve všech oborech, od elektroniky, průmyslu, životního prostředí až po medicínu.

Chtěla bych se zde zmínit hlavně o využití nanotechnologie v životním prostředí (např. při čištění podzemních a povrchových vod).

Pojem „nano“ je v inženýrské praxi běžně znám a vyjadřuje násobek – jednu miliardtinu (10^{-9}) základní jednotky. Nanotechnologie je pak relativně nový pojem obsahující jevy, techniky, zařízení nebo struktury, jejichž rozměry odpovídají úrovni nanometrů – jedné miliardtiny metru, tedy atomové a molekulární úrovni.

Za nanotechnologie lze označit jen takové materiály, systémy, jejich aplikace nebo způsoby tvorby, které splňují následující podmínky:

- Mají alespoň jeden rozměr nebo svoji vnitřní strukturu v intervalu velikostí 1-100 nm (0,001-0,1 μm).
- Využívají fyzikálních nebo chemických vlastností na úrovni atomů a molekul, takže mají neobvyklé charakteristiky v porovnání se stejným materiálem nebo systémem, který nemá složky s nanorozměry.
- Mohou být kombinovány tak, aby vytvářely větší struktury s důsledky do makrosvěta.

Nanomateriály a jejich použití:

Prozatím nejčastěji používaným materiálem v nanotechnologii jsou kovové nanočástice, zejména Ag, Au a další kovy. Druhým nejpoužívanějším typem nanomateriálu jsou uhlíkové nanomateriály jako jsou fullereny, uhlíkové nanotuby a nanodiamant. Dalšími nejpočetněji používanými nanomateriály jsou keramické nanomateriály tvořené různými oxidy a pak následují polovodiče a řada dalších typů materiálu. (Hošek, 2010)

TiO₂ nanomateriály ve formě nanočástic, 1D nanodrátů, nanotrub, ale především 2D povlaků a tenkých vrstev, představují v současné době aplikačně nejširěji používaný anorganický nanomateriál. (Hošek, 2010)

Využívá se např. u povrchových úprav exteriérů a interiérů, v automobilovém průmyslu, medicíně, textilním, sklářském či potravinářském průmyslu a v neposlední řadě při ochraně životního prostředí (čištění a desinfekce vody i vzduchu, dekontaminace zamořené zeminy, odstraňování ropných a olejových skvrn aj.) (*Nanopin, 2006*)

Nanovlákn je vlákno o šířce několik desítek až tisíc atomů, které lze pozorovat pouze elektronovým mikroskopem. Unikátní jsou právě jeho vlastnosti. Díky svým rozměrům mají obrovský měrný povrch, naopak váží pouze 0,1 - 1 gram na metr čtvereční. (Peter, 2008)

Jedna z možných výrobních technologií nanovláken je technologie Nanospider, kterou nabízí liberecká firma Elmarco. Nanospider je metoda elektrovláknování z roztoku polymeru → technologie zvláknování z volné hladiny roztoku polymeru v silném elektrostatickém poli bez použití trysek.

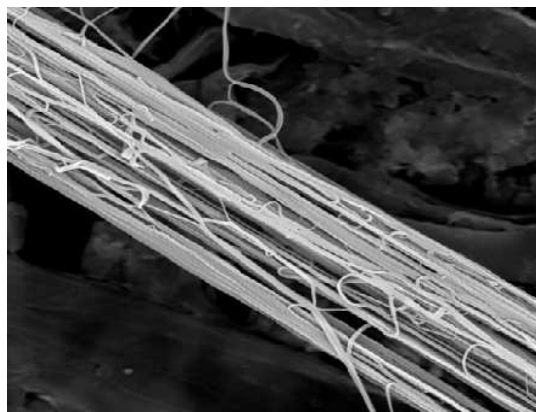
Nanovláknna lze použít v následujících aplikacích:

- Čištění odpadních vod;
- Odstraňování kontaminujících látek (těžké kovy, organické látky);
- Čištění a recyklace průmyslových vod.

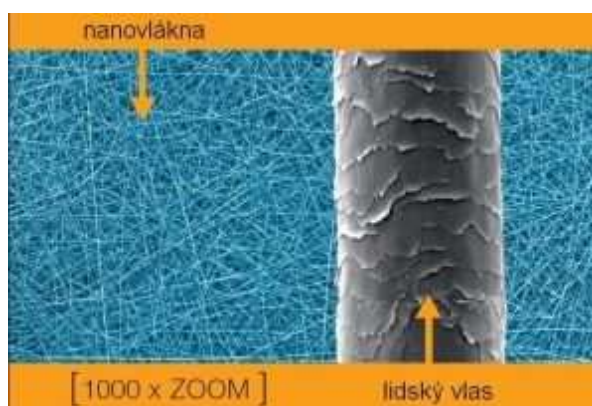
Afinitní (adsorptivní) membrány selektivně zachycují konkrétní molekuly a docilují tím znehybnění určité sběrné látky na povrchu membrány. V oboru ochrany životního prostředí nalézají afinitní membrány využití při dekontaminaci a regeneraci znečištěných toků – při recyklaci průmyslových vod, odstraňování iontů těžkých kovů, rekuperaci kovů, eliminaci čpavku, odstraňování radioaktivních látek a separaci izotopů, čímž odstraňují některé kategorie látek zamožujících životní prostředí, které nemohou být eliminovány tradičními metodami čištění. Z odpadních vod mohou být pomocí afinitních membrán odstraněny jak anorganické škodliviny, jako např. kadmium, rtuť a olovo, tak i organické sloučeniny.

Při procesech přípravy vody lze velmi dobře využít přidaná nanovláknna. Použití je vhodné pro přípravu čisté a ultračisté neionizované vody, změkčování vody, přípravu vody do přenosných tanků, destalinizaci (odsolování).

Nanovláknna jsou lepší alternativou k široce používané technologii koagulace/flokulace (srážení/vločkování), které nejsou schopné zcela odstranit znečišťující látky a navíc vytvářejí nadměrné množství kalu, který vyžaduje další zpracování a likvidaci. (Elmarco s.r.o., 2004)



Obr. 2.26 – Nit nanovláknna vyrobená technologií Nanospider (Elmarco s.r.o., 2004)



Obr. 2.27 – Porovnání lidského vlasu a nanovláknna (Elmarco s.r.o., 2004)

Nanočástice α -Fe se zejména v posledních letech stávají strategickým materiálem s obrovským aplikačním potenciálem v řadě moderních nanotechnologií. Díky svým mimořádným redukčním schopnostem, malému rozměru v řádu několika desítek nanometrů a vysoké reaktivitě vůči široké škále toxických látek jsou tyto ultrajemné částice aplikovatelné v redukčních technologiích sanace podzemních i povrchových vod. Ve srovnání s jinými používanými postupy čištění vod, je využití nulamocných nanočástic Fe(0) ekologicky šetrnou technologií, neboť produktem transformace Fe(0) jsou netoxické a v přírodě hojně se vyskytující oxidy železa (především magnetit - Fe_3O_4).

Všechny popsané vlastnosti nanočástic Fe(0) lze využít i k rozkladu polutantů obsažených v povrchových vodách, zejména pro čištění průmyslových, odpadních a důlních vod. Použití nanoželeza může znamenat i výrazný kvalitativní skok v klasických technologiích úpravy vod včetně pitné vody. Právě extrémně reaktivní nanočástice železa dávají možnost řešení dlouhodobých problémů s vysokým obsahem uranu a arsenu v řadě lokalit ve střední Evropě. Nabízí se také jejich využití pro snížení obsahu těžkých kovů, dusičnanů a fosforečnanů v pitné vodě. Právě tyto anorganické polutanty, obtížně nebo nákladně odstranitelné standardními technologiemi, jsou efektivně odbouratelné pomocí nanočástic Fe(0). Přestože se tato oblast využití nulamocného železa teprve profiluje, lze v nejbližších letech očekávat prudký rozmach aplikace i v oblasti povrchových vod. Výhodou použití je, kromě výrazného dekontaminačního efektu, vznik netoxického produktu oxidace nanočástic (nejčastěji Fe₃O₄), který zůstává buď uložen v dané lokalitě a téměř zanedbatelně zvyšuje přirozený obsah oxidů železa nebo končí na filtračních zařízeních čistících jednotek.

Moderní metoda pro čištění podzemních vod a horninového prostředí metodou in-situ, je použití nanočástic na bázi nulamocného (elementárního) železa pro sanaci prostředí znečištěného chlorovanými uhlovodíky, těžkými kovy, radionuklidy a dalšími kontaminanty.

Metoda sanace podzemní vody je založena na injektáži Fe⁰ do podzemní vody in-situ pomocí injektážních vrtů. Tato technologie je ekologicky šetrná a finančně výhodnější v porovnání s metodami založenými na principu čerpání podzemní vody s následným čištěním ex-situ či odsávání půdního vzduchu (venting). Ekologická šetrnost spočívá v minimálním negativním dopadu na životní prostředí v podobě malých injektážních vrtů, kterými se nanoželezo aplikuje bez dalších rozsáhlejších zásahů. Nanoželezo se díky velikosti částic v oblasti koloidů transportuje podzemní vodou od místa injektáže až do kontaminované oblasti, kde dochází k chemické degradaci kontaminantů.

Principem sanační metody s použitím nZVI jsou oxidačně - redukční reakce, založené na změně oxidačního stavu kontaminantu, čímž dochází ke snížení jeho mobility a toxicity, či v přeměně v látku jinou. Jedná se například o chlorované uhlovodíky, nitrobenzeny, široká škála anorganických látek (těžké kovy: Pb, Zn, Ni, Se, U, Cu; Cr, nitráty) a mnoho dalších. (*Nanoiron, s.r.o., 2008*)

Nanoželezo je na trhu dostupné v několika formách, jako prášek, suspenze v minerálním oleji, či jako vodná suspenze. Pro účely dekontaminace je nejvýhodnější vodná suspenze nanoželeza.

Přehled kontaminantů a nanočástic vhodných k jejich odstranění z prostředí shrnuje Tab. 2.13. (Nováková T., Šváb M., Švábová M, 2009)

Tab. 2.13 – Přehled kontaminantů a nanočástic vhodných k jejich odstranění z prostředí

Skupina kontaminantů	Příklad	Použitelné nanočástice
Chlorované alifatické uhlovodíky	hexachlorethan, pentachlorethan, TCE	nZVI, EZVI, Fe/Pd, MgO, CaO, MgO-Al ₂ O ₃
Chlorované aromatické uhlovodíky	PCB, chlorované benzeny	Fe/Pd, MgO, (nZVI)
Organofosfáty	DMMP, paraoxon	MgO
Soli	dusičnany, chloristany	nZVI
Těžké kovy	Pb, Cr, As	nZVI, (Ferragel)

3. CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Zvyšováním intenzity dopravy na stávajících komunikacích, výstavba nových dálnic a rychlostních komunikací způsobuje větší znečištění povrchových vod látkami, které pocházejí z údržby cest a provozu vozidel (např. opotřebením pneumatik a brzdových kotoučů, zbytky ze spalovacího procesu v motorech, atd.). (Beránková, 2008)

Srážkové povrchové vody, které nejsou odpadními vodami, ale u kterých může existovat riziko kontaminace ropnými látkami se před zaústěním do stoky pro veřejnou potřebu nebo do vod povrchových doporučují odvádět přes objekt havarijního zabezpečení (ČSN 75 6551, 2008). Proto jsou zařízení na úpravu těchto kontaminovaných vod v dnešní době velmi aktuální.

U legislativních požadavků na vypouštění vyčištěných vod s obsahem uhlovodíků C₁₀-C₄₀ do recipientu je nutné respektovat zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění a navazující prováděcí předpisy a zvláště nařízení vlády č. 61/2003 Sb. v platném znění, o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších předpisů. Jako imisní standard (norma environmentální kvality NEK-RP) přípustného znečištění povrchových vod v ukazateli C₁₀-C₄₀ je stanovena hodnota 0,1 mg/l.

Předpisy implementují také přístupové smlouvy k EU. Jedná se o naplňování požadavků směrnic ES, zejména směrnic Evropského parlamentu a Rady č. 2000/60/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost společenství v oblasti vodní politiky. Zejména zpracování Plánu oblasti povodí s programem opatření o dobrém stavu vod. Cílem je mimo jiné i zajištění čištění vod s ohledem na skutečnost, že celé území České republiky je určeno jako „citlivá oblast“, pro kterou jsou stanovena přísná kritéria. Jedním z hlavních úkolů je zamezení zhoršení stavu povrchových a podzemních vod a zlepšení stavu vodních ekosystémů. Prevence je zaměřena na omezování znečištění zejména u zdrojů znečištění, pro které jsou stanoveny mezní hodnoty emisí a normy environmentální kvality.

Zpracovávané téma: „Problematika nakládání s dešťovými vodami z komunikací“ je velice obsáhlé. Nezabývá se tedy stejnou podrobností vůči všem typům opatření, ale zkoumá pouze technologické varianty jednoho způsobu řešení a to předčištění znečištěných povrchových vod z dopravy, prostřednictvím různých koalescenčních systémů na mechanickém odlučovači lehkých kapalin.

Ke splnění legislativně požadovaných hodnot na kvalitu vypouštěných vod se k separaci volných lehkých kapalin u zdrojů znečištění pro svou jednoduchost, cenovou dostupnost a nenáročnou obsluhu výhodně používají zejména mechanické odlučovače lehkých kapalin s koalescenčním filtrem.

Návrh technického řešení OLK, včetně doplnění o sorpční stupeň, pak závisí na konkrétních podmínkách v území, např. na velikosti odvodňované plochy, klimatických poměrech, velikosti návrhového deště, na druhu a vlastnostech kontaminujících ropných látek, na charakteru recipientu, na požadavku jakosti vyčištěných vod a na úrovni znečištění vstupních vod (*ČSN 75 6551, 2008*). Je nutno rovněž počítat s konkrétními postoji vodoprávních úřadů, správců vodních toků a ČIŽP.

Předmětem této práce bylo testování možnosti zvýšení účinnosti mechanického OLK pomocí různých typů vestaveb. Cílem bylo zjistit účinnost této konvenční technologie, která je energeticky a technicky nenáročná a její využitelnost pro předčištění (předúpravu) před případným dalším stupněm čištění.

Závěry se vztahují na kontaminaci především oleji, tedy řetězci o vyšším počtu C v molekule. Využitelné jsou i pro kontaminaci naftou a benziny s nižším počtem C v molekule jako prvního stupně separace lehkých kapalin s tím, že vyšší rozpustnost těchto ropných látek, které mohou být metodikou analýzy C₁₀-C₄₀ identifikovány, vyžaduje pro dosažení v řadě případů požadované kvality odtoku OLK další stupně čištění.

4. POROVNÁNÍ ÚČINNOSTI ODLUČOVAČE LEHKÝCH KAPALIN

4.1. METODIKA

Metodika testování OLK vychází z normy ČSN EN 858-1 a rakouské normy ÖNORM B 5104.

Podle ČSN EN 858-1, kde se pro testování využívá neemulgovaného topného oleje, je hodnota koncentrace LTO (stanovená jako ukazatel C₁₀-C₄₀) na výstupu z OLK pro třídu I. max. 5 mg/l, pro třídu II. max. 100 mg/l. Podle rakouské normy ÖNORM B 5104, ve které je popsáno použití směsi oleje a dalšího znečištění (viz. odst. 4.2.), by neměla koncentrace uhlovodíků na výstupu z OLK přesáhnout 80 mg/l.

Porovnáváno je tak zároveň i chování dvou různých stavů oleje – neemulgovaného a emulgovaného navíc ve směsi s nerozpuštěnými látkami.

4.2. ZKUŠEBNÍ TEKUTINA

Testování proběhlo:

- se zkušební tekutinou (ČSN-EN 858-1).

Byla použita lehká kapalina - topný olej podle ISO 8217, s označením ISO-F-DMA, o objemové hmotnosti $(0,85 \pm 0,015)$ g/cm³ při teplotě 12°C.

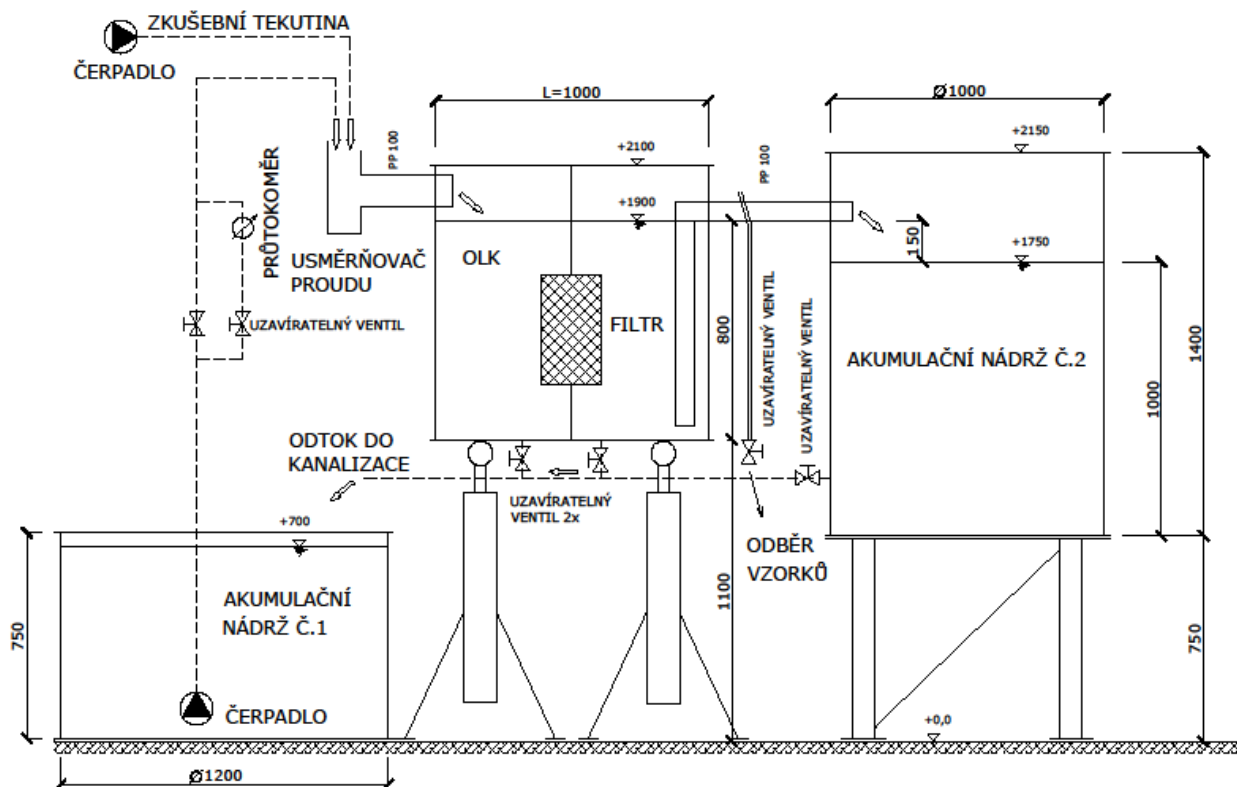
- se znečištěnou směsí (ÖNORM B1504).

Směs se skládala z lehkého topného oleje, motorového oleje 15W40, přípravku na studené mytí motorů ARVA, vápenec a kaolin.

4.3. ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

V rámci testování bylo sestaveno modelové zařízení (viz. Obr. 4.1), které svou konstrukcí umožňovalo výměnu separačních vestaveb za účelem zjištění účinnosti OLK při konstantních nátokových podmínkách.

Zkušební zařízení se skládalo z akumulární nádrže č.1 s čerpadlem, přítokového potrubí do OLK s instalovaným průtokoměrem, usměrňovače proudu, OLK s různě měnitelnou vestavbou, odtokového potrubí s možností odběru vzorků a akumulární nádrže č.2 s vypouštěním.



Obr. 4.1 – Schéma zkušebního zařízení



Obr. 4.2 – Zkušební zařízení v laboratoři VUT Brno

4.3.1. Druhy vestaveb

Pro měření byl použit odlučovač lehkých kapalin s prostou sedimentací a tyto druhy vestaveb:

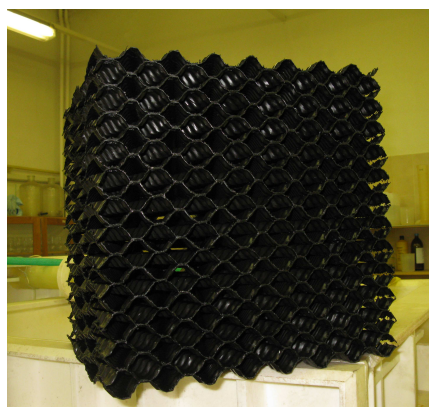
- Lamely (se sklonem 60°);
- Voštiny (prostorová několikrát zalomená trubice, typ 2H);
- Koalescenční filtr (PUR pěna tl. 5 cm);
- Koalescenční filtr (PUR pěna tl. 15 cm).



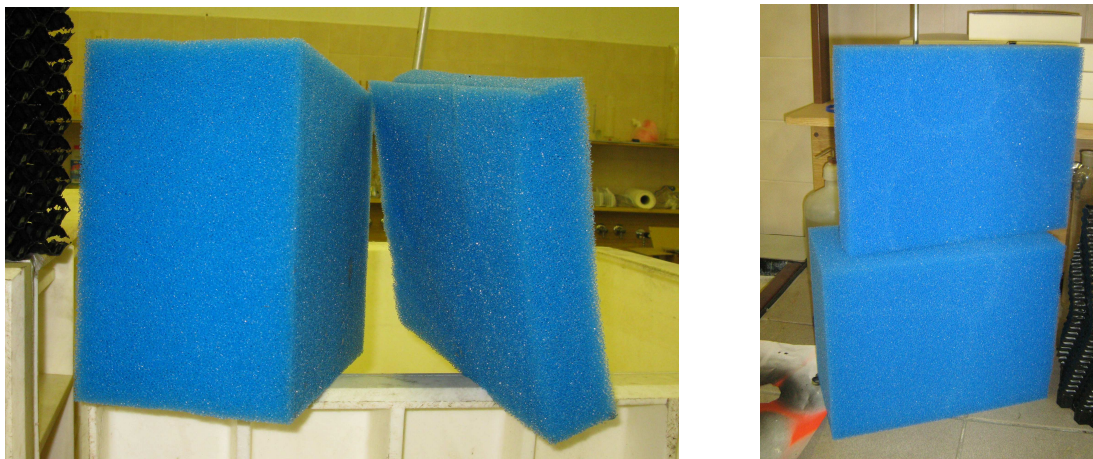
Obr. 4.3 – Odlučovač lehkých kapalin s prostou sedimentací



Obr. 4.4 – Lamely (se sklonem 60°)



Obr. 4.5 – Voštiny (prostorová několikrát zalomená trubice, typ 2H)



Obr. 4.6 – Koalescenční filtr (PUR pěna tl. 5, 15 cm)

4.4. STANOVENÍ OBSAHU UHLOVODÍKŮ VE VZORCÍCH

Vzorky byly analyzovány pomocí chromatografické metody (detektorem plynové chromatografie HP 5890 série II s FID, ČSN EN ISO 9377-2). Tato metoda je vhodná pro zjišťování obsahu lehkého topného oleje v případě, kdy je koncentrace LTO vyšší než 1 mg/l. Provedení a vyhodnocení veškerých analytických stanovení zpracovala laboratoř Fakulty chemicko-technologické, Univerzita Pardubice.

4.5. PROVEDENÍ TESTŮ

Testování proběhlo v laboratoři Ústavu vodního hospodářství obcí, Vysoké učení technické v Brně.

Akumulační nádrž č. 1 byla napuštěna pitnou vodou. Z této nádrže byla voda čerpána do OLK. Na přívodním potrubí bylo umístěno obtokové potrubí s průtokoměrem. Průtok vody byl nastaven na 0,3 l/s (1080 l/h). Přítokové potrubí bylo vedeno do usměrňovače proudu, kam byla dávkována zkušební tekutina pomocí peristaltického čerpadla. V OLK docházelo k postupnému odloučení lehké kapaliny. Vyčištěná voda pak přepadala do odtokového potrubí a dále do akumulace č. 2. Z odtokového potrubí byly v časových intervalech (po 10 minutách, max. do 30min. od spuštění testu) odebrány vzorky do připravených skleněných zábrusových lahví. Delší časový interval (nad 30 min.) nebyl předmětem této práce. Po ukončení každého měření byl OLK vypuštěn a pro další sérii měření byla vyměněna vestavba. Počet měření se odvíjel dle možností financování celého projektu.

4.5.1. Testování dle ČSN EN 858-1

Lehký topný olej byl dávkován do OLK pomocí peristaltického čerpadla v množství 90 ml/min, což odpovídá vstupnímu znečištění 5 ml/l (cca. 4250 mg/l). Čistý LTO byl dávkován do uklidňovacího válce takovým způsobem, aby nedocházelo k jeho emulgaci.

Testování dle ČSN EN 858-1 bylo provedeno ve dvou pokusech.

Testování 1

Koncentrace LTO na odtoku ze zkušebního zařízení jsou uvedeny v Tab. 4.1. Vzorky byly odebrány v 10 minutě do 1 litrových skleněných zábrusových lahví od celkového napuštění OLK vodou.

Tab. 4.1 – Výsledky testování 1

Označení vzorku	Druh vestavby	Koncentrace LTO na výstupu z OLK [mg/l]	Účinnost [%]
1	Prostá sedimentace	29,16	99,31
2	Lamely	4,05	99,90
3	Voštiny (2H)	5,7	99,86
4	PUR 15 cm	28,5	99,33
5	PUR 5 cm	12,5	99,70

Při této zkoušce byla ve všech odebraných vzorcích dosažena téměř 100 % účinnost OLK, jak u prosté sedimentace, tak i s vestavbami.

Bylo očekáváno, že nejlepší účinnost OLK bude dosažena použitím vestavby s koalescenčními filtry (PUR pěna). Při analýzách však byla zjištěna u této vestavby vyšší koncentrace LTO na výstupu z OLK, než například u vestavby z voštin. Tento jev byl pravděpodobně způsoben vymýváním organických látek (monomerů) během testovacího provozu OLK s tím, že větší tloušťka PUR pěny způsobila větší množství zbytkové lehké kapaliny ve vodě.

Pro zlepšení účinnosti testovacího zařízení byl při dalším měření filtr z PUR pěn před použitím proprán ve vodě.

Testování 2

Průběh zkoušení na OLK zůstal stejný, jen analýzy vzorků byly odebrány u jednotlivých vestaveb vždy v časovém limitu po 10, 20, 30 minutách od napuštění OLK vodou s příměsí LTO, aby byl lépe znázorněn průběh odloučení zkušební kapaliny v odlučovači. U prosté sedimentace byly z technických důvodů odebrány pouze dva vzorky. Všechny vzorky byly odebrány do 250 ml skleněných zábrusových lahví.

Tab. 4.2 – Výsledky testování 2

Označení vzorku	Čas [min]	Druh vestavby	Koncentrace LTO na výstupu z OLK [mg/l]	Účinnost [%]
1	10	Prostá sedimentace	63,8	98,49
2	20	Prostá sedimentace	9,9	99,76
3	10	Lamely	28,3	99,33
4	20	Lamely	< 1	99,99
5	30	Lamely	< 1	99,99
6	10	Voštiny (2H)	9,4	99,77
7	20	Voštiny (2H)	< 1	99,99
8	30	Voštiny (2H)	< 1	99,99
9	10	PUR 15 cm	22,4	99,47
10	20	PUR 15 cm	< 1	99,99
11	30	PUR 15 cm	< 1	99,99
12	10	PUR 5 cm	27,2	99,36
13	20	PUR 5 cm	< 1	99,99
14	30	PUR 5 cm	< 1	99,99

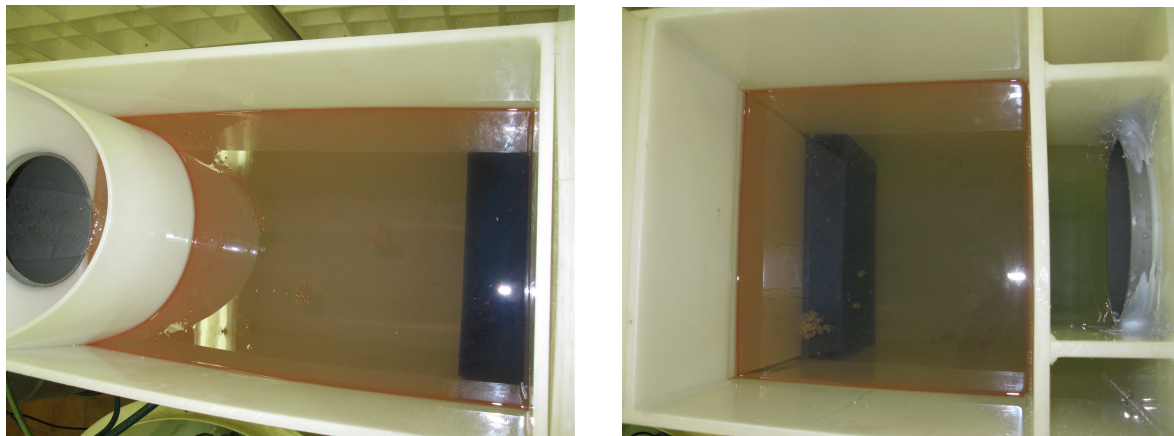
Na základě porovnání účinnosti jednotlivých vestaveb OLK lze konstatovat, že pokud je LTO v neemulgované formě, nezáleží na typu vestavby a OLK dosahuje odtokových koncentrací nižších než 1 mg/l při dosahované účinnosti téměř 100 %. Nejvyšší účinnosti dosahoval

odlučovač bez vestavby s odtokovou koncentrací LTO nižší než 10 mg/l a účinností téměř 99,8 %.

Protože na základě těchto výsledků nebylo možné posoudit, která z vestaveb je neúčinnější, byly provedeny testy s testovací kapalinou, která byla namíchána podle rakouské normy s obsahem motorového oleje, mycího přípravku a nerozpuštěných látek.

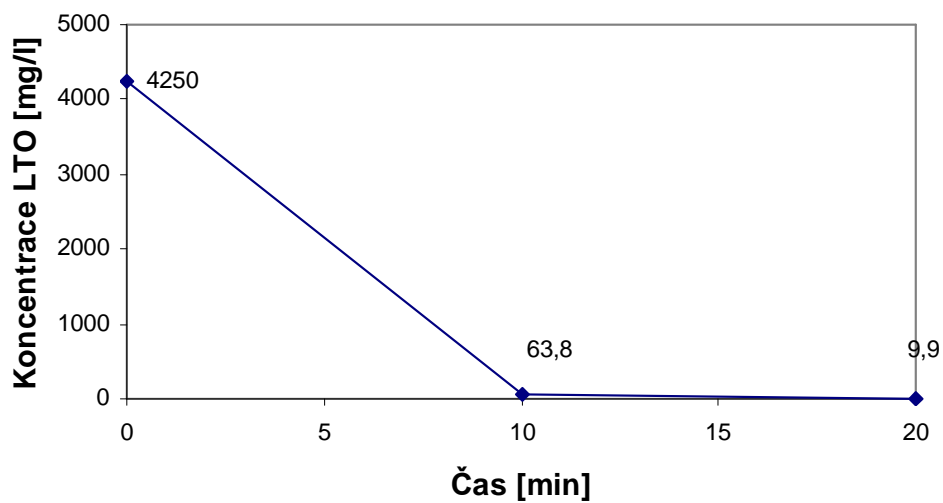


Obr. 4.7 – OLK s voštinami a lamelami

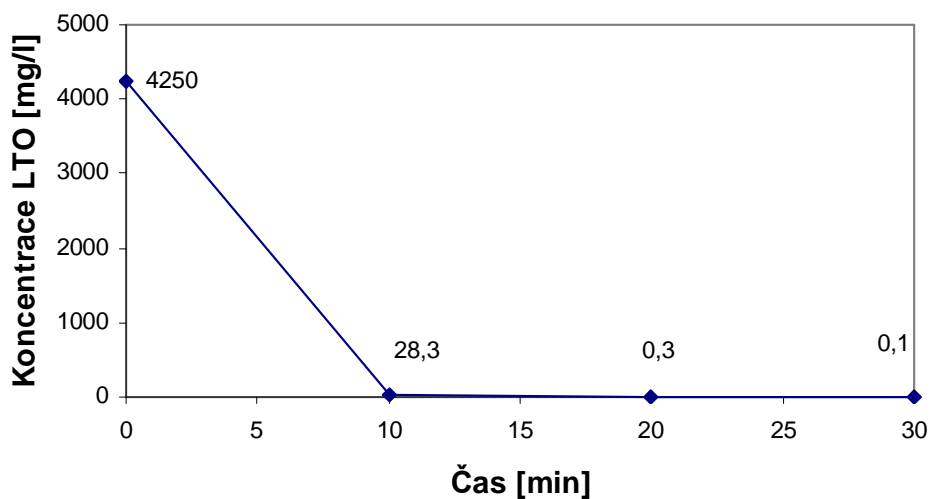


Obr. 4.8 – OLK s koalescenčním filtrem (PUR pěna tl. 15 cm)

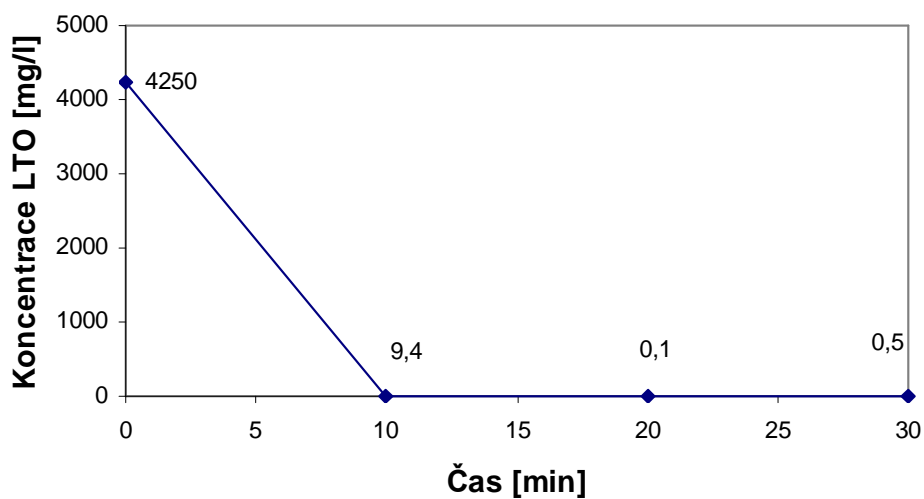
Grafické znázornění výsledků testování 2



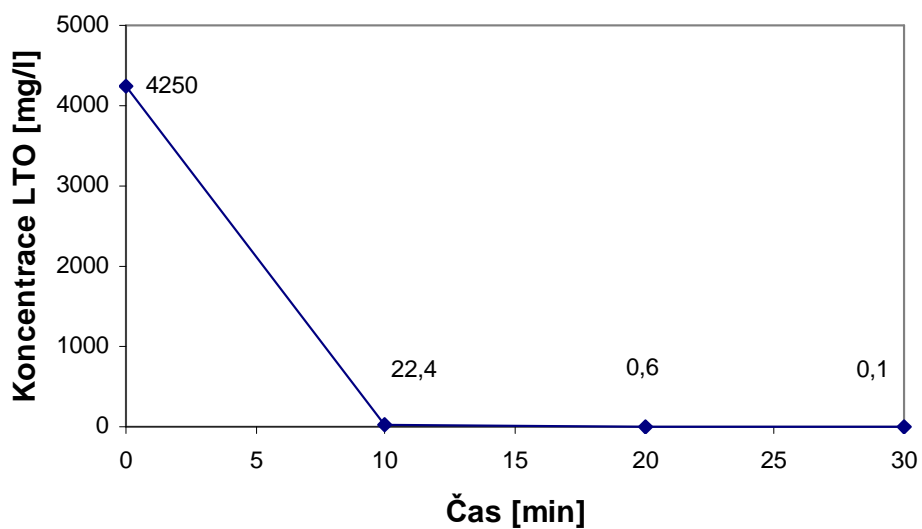
Graf 4.1 – Prostá sedimentace



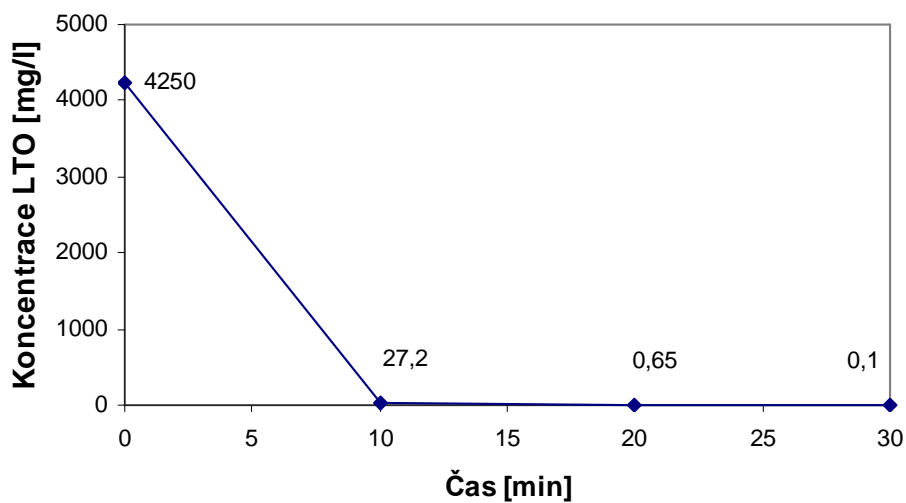
Graf 4.2 - Lamely



Graf 4.3 - Voštiny



Graf 4.4 – Koalescenční filtr (PUR pěna 15 cm)



Graf 4.5 - Koalescenční filtr (PUR pěna 5 cm)

4.5.2. Testování dle ÖNORM B1504

Voda se směsí zkušební tekutiny byla dávkována v množství 150-180 ml/min (cca. 3250 mg/l) peristaltickým čerpadlem. Směs byla po celou dobu zkoušky míchána hřídelovým míchadlem při cca. 230 ot/min. Opět byly provedeny dva testovací pokusy. Míchání směsi bylo spuštěno 5 minut před spuštěním testu.

Testování 3

Směs znečištění byla namíchána podle rakouské normy, tj. směsi lehkého topného oleje, motorového oleje 15W40, přípravku na studené mytí motorů ARVA v poměru 2000:150:100, vápenec (110 g) a kaolin (110 g). Průtok směsi znečištění byl nastaven na 2,5 ml/s. Vzorky byly odebrány po 20 a 30 minutách od začátku zkoušení.

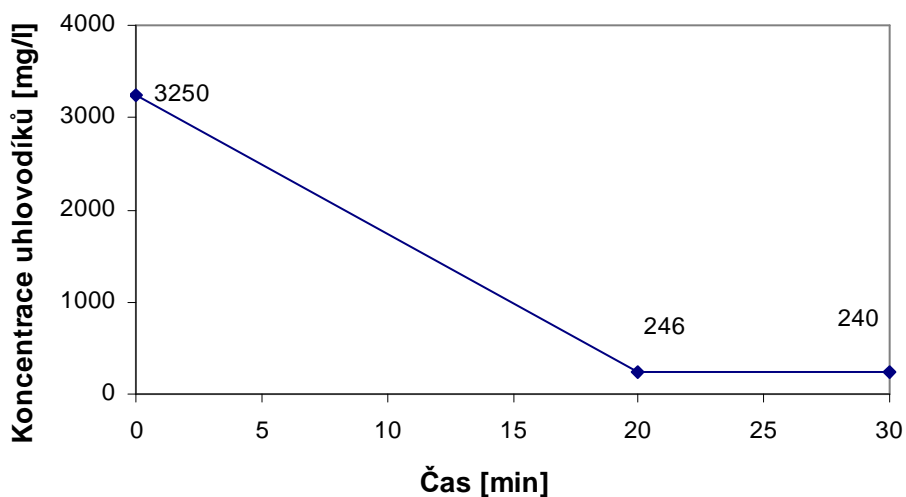
Tab. 4.3 – Výsledky testování 3

Označení vzorku	Čas [min]	Druh vestavby	Koncentrace uhlovodíků [mg/l]	Účinnost [%]
1	20	Prostá sedimentace	246	92,43
2	30	Prostá sedimentace	240	92,62
3	20	Lamely	149,3	95,41
4	30	Lamely	146,3	95,50
5	20	Voštiny (2H)	137,2	95,78
6	30	Voštiny (2H)	115	96,46
7	20	PUR 15 cm	106,2	96,73
8	30	PUR 15 cm	91,3	97,19
9	20	PUR 5 cm	140,7	95,67
10	30	PUR 5 cm	127	96,09

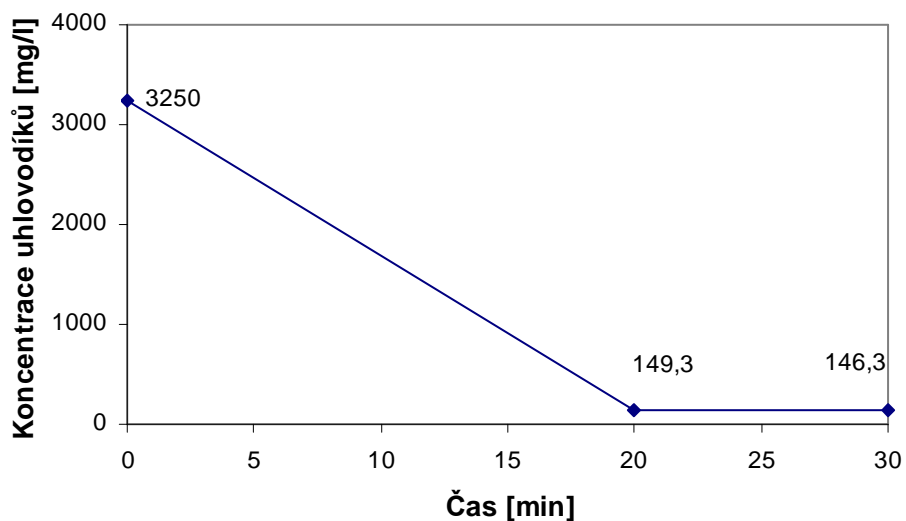
Na základě naměřených hodnot lze testované varianty OLK seřadit podle vzrůstající účinnosti separace uhlovodíků. Jako nejméně účinný se opět ukázal OLK bez instalované vestavby s účinností 92,5 % a odtokovou koncentrací LTO kolem 240 mg/l. Naopak nejvyšší účinnosti

dosahoval koalescenční filtr z PUR pěny tloušťky 15 cm s účinností téměř 97 % a odtokovou koncentrací LTO nižší než 100 mg/l. Navíc lze předpokládat, že při běžném provozu OLK budou ustálené hodnoty pro všechny vestavby nižší, než byly námi naměřené hodnoty pouze po 30 minutách.

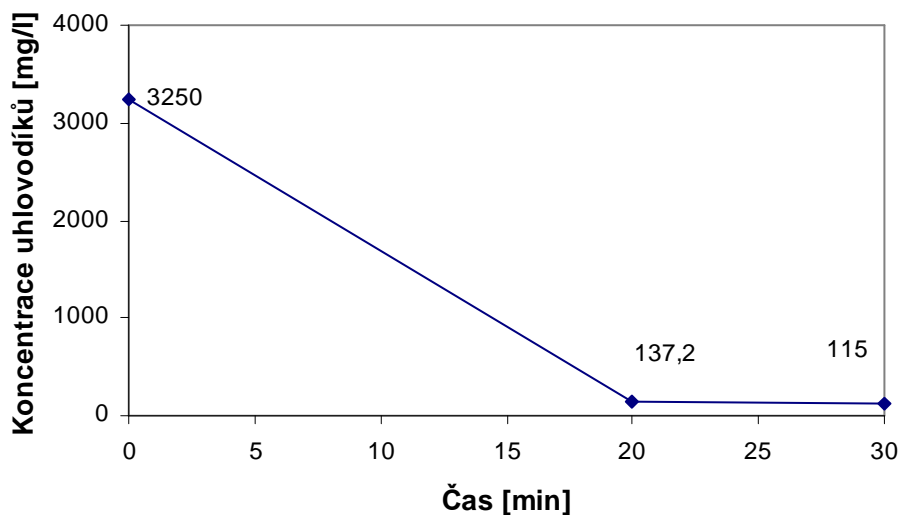
Grafické znázornění výsledků testování 3



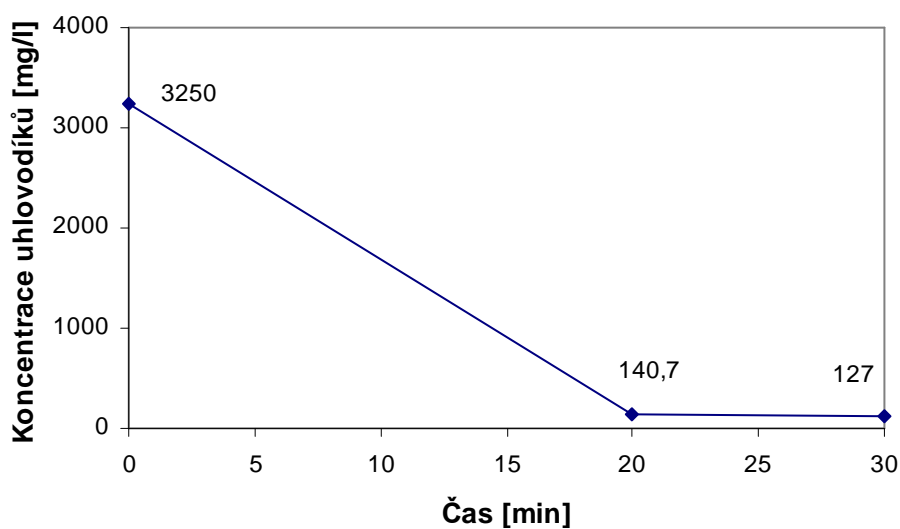
Graf 4.6 – Prostá sedimentace



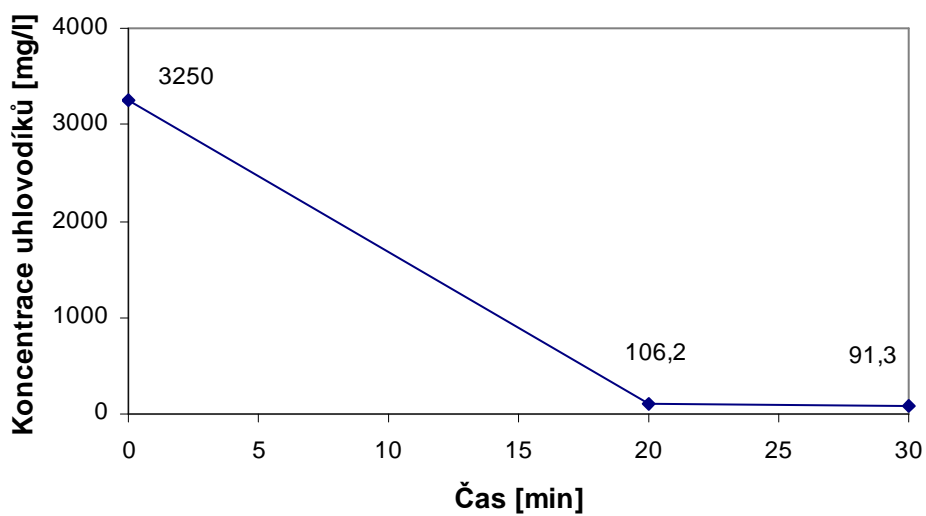
Graf 4.7 - Lamely



Graf 4.8 - Voštiny



Graf 4.9 - Koalescenční filtr (PUR pěna 5 cm)



Graf 4.10 - Koalescenční filtr (PUR pěna 15 cm)

Testování 4

Průběh zkoušení na OLK zůstal stejný, ale směs byla míchána při vyšších otáčkách (270 ot/min). Analýzy vzorků byly opět odebrány u jednotlivých vestaveb vždy v časovém limitu po 20, 30 minutách od spuštění testu.

Tab. 4.4 – Výsledky testování 4

Označení vzorku	Čas [min]	Druh vestavby	Koncentrace uhlovodíků [mg/l]	Účinnost [%]
1	20	Prostá sedimentace	910,2	71,99
2	30	Prostá sedimentace	943,6	70,97
3	20	Lamely	496,4	84,73
4	30	Lamely	571,5	82,42
5	20	Voštiny (2H)	210,6	93,52
6	30	Voštiny (2H)	264,6	92,41
7	20	PUR 15 cm	360,4	88,91
8	30	PUR 15 cm	427,0	86,86
9	20	PUR 5 cm	528,9	83,73
10	30	PUR 5 cm	665,1	79,54

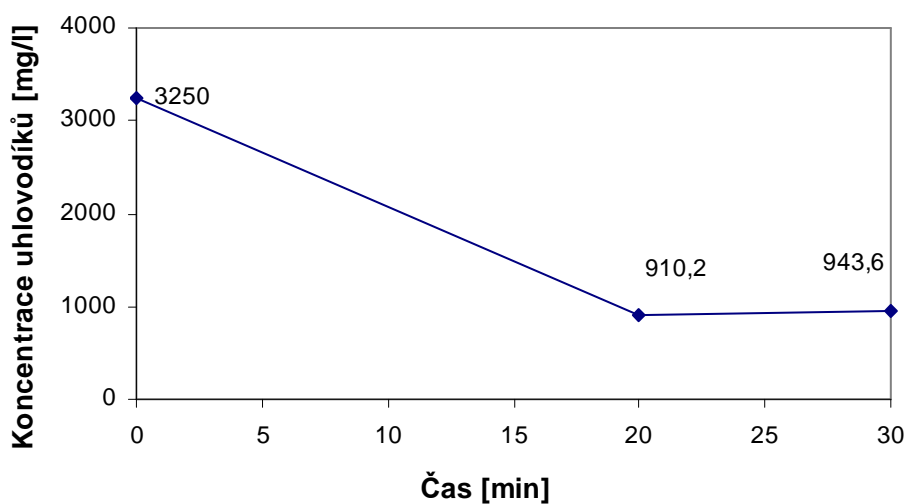
Jako nejméně účinný byl opět odlučovač bez instalované vestavby s účinností 71% a odtokovou koncentrací 943 mg/l. Naopak nejvyšší účinnost dosáhly voštiny s účinností 92% a odtokovou koncentrací 264 mg/l.

Při tomto testu byly dosaženy nižší hodnoty účinnosti než v předchozím testování. Mohlo to být způsobeno postupnou emulgací vstupního znečištění, způsobené většími otáčkami míchadla nebo i postupným zanášením modelu nerozpuštěnými látkami anorganického původu.

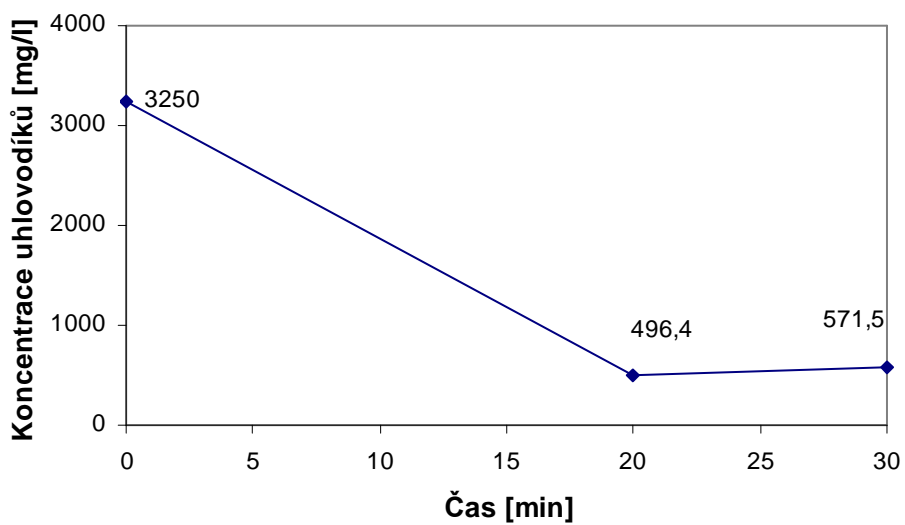


Obr. 4.9 – OLK se směsí znečištění a míchání směsi peristaltickým čerpadlem

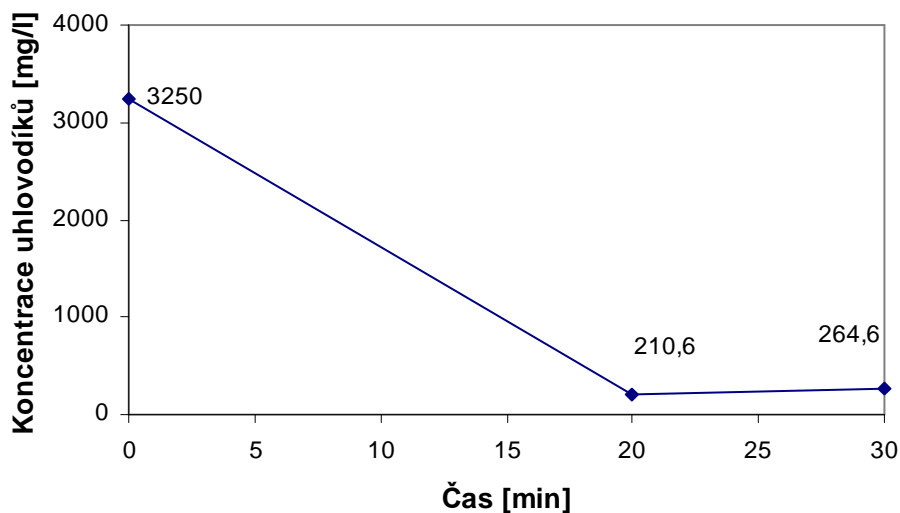
Grafické znázornění výsledků testování 4



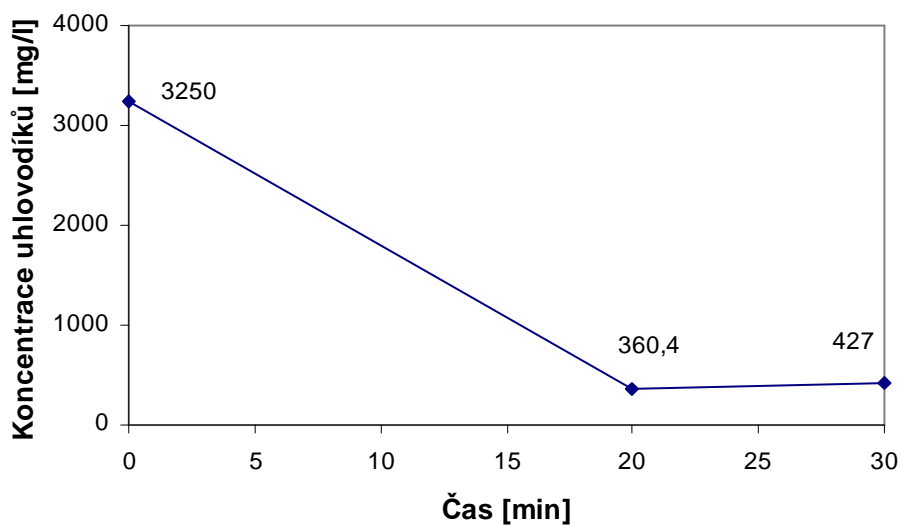
Graf 4.11 – Prostá sedimentace



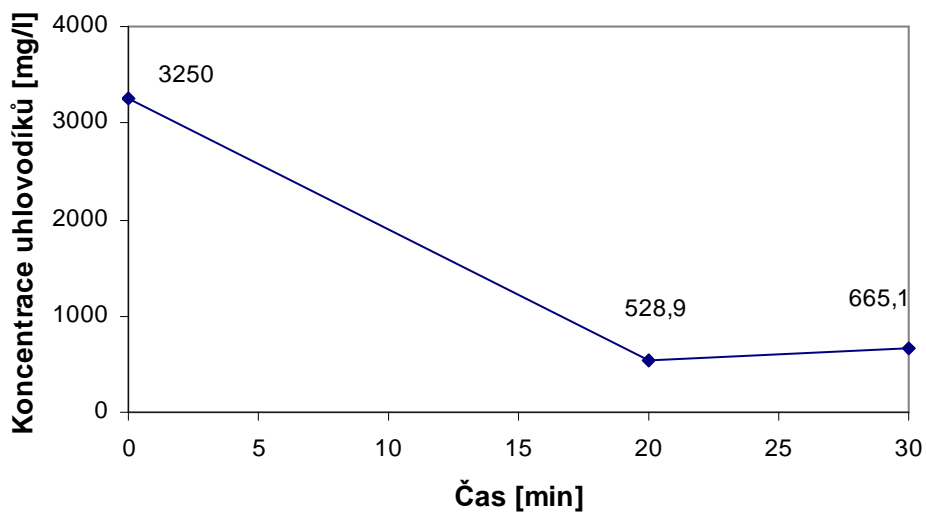
Graf 4.12 – Lamely



Graf 4.13 – Voštiny



Graf 4.14 - Koalescenční filtr (PUR pěna 15 cm)



Graf 4.15 - Koalescenční filtr (PUR pěna 5 cm)

5. VÝZNAM DISERTAČNÍ PRÁCE PRO PRAXI A ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU

Tato práce vznikla v rámci řešení projektu TA01020730 „Separace uhlovodíků z vod a sledování jejich kvality“, řešeného s finanční podporou TA ČR.

Zařízení OLK obecně slouží pro odloučení veškerých druhů kontaminace vod ropnými látkami. V konstrukci OLK jsou pak rozdíly vzhledem k účelu, pro který je navrhován. Zda se jedná o separaci znečištění vod průmyslového charakteru s obsahem ropných látek v řádu stovek mg/l i více nebo o separaci kontaminovaných srážkových vod z odvodňovaných manipulačních ploch nebo parkovišť s obsahem ropných látek v řádu do několika mg/l. Metodiky testování i následného srovnávání účinnosti jsou pak rozdílné.

Provádění testů pro tuto disertační práci bylo zásadní především v tom, že byla řešena efektivnost mechanického předčištění kontaminovaných vod s pozitivním dopadem na nutnost, způsob a celkovou efektivnost případných následných komplexních řešení. Tato práce je přínosná zejména pro projektanty a provozovatele zařízení OLK vzhledem k rozšíření informací z problematiky řešení čištění vod s obsahem ropných látek.

Testování mechanického OLK bude pokračovat i v další etapě řešení projektu, kdy budou srovnávány účinnosti membránových separací s konvenčními technologiemi. Zároveň bude OLK vyhodnocován jako možná předúprava nátoku na membránovou separaci, která primárně nevyžaduje dávkování chemikálií a její provozní náklady jsou minimální. Je však omezena pro separaci emulgovaných a rozpuštěných látek.

Z hlediska dalšího vývoje testování použití mechanického odlučovače s vestavbami, by bylo vhodné testovat směs podle ÖNORM B 5104 bez emulgátoru, tj. zjistit, jak se chová směs jílu a ropných látek, případně přímo modelovat reálné podmínky z praxe. Dále odebrat vzorky nerozpuštěných látek z různých ploch (co do intenzity provozu i typu povrchu), zjistit doby potřebné k jejich usazení a zároveň i to, jak se budou snižovat s úbytkem nerozpuštěných látek i koncentrace uhlovodíků. Popsaná měření by sloužila k individuálnímu navrhování zařízení, u kterého by následně bylo možné určitým způsobem garantovat např. maximální hodnoty koncentrací na odtoku, případně k návrhu doplnění další technologie, která by zajistila dosažení požadovaných limitů (např. sorpční kolony nebo membránové separace).

6. ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na testování možnosti zvýšení účinnosti odstranění lehkých kapalin v OLK pomocí instalace různých typů vestaveb. Byly porovnány analýzy vzorků zkušebních tekutin v odlučovači s prostou sedimentací a s použitím testovaných vestaveb (lamely, voštiny, PUR pěny).

Výsledky testů jednoznačně potvrdily zvýšení účinnosti OLK instalací vestaveb, zejména u vestavby z PUR pěny, u které se uplatní koalescenční efekt. PUR pěny s malými póry a delší dobou zdržení kapaliny v koalescenčním prostředí vykazovaly vyšší účinnost čištění, než lamelová a voštinová vestavba s většími průlinami.

Provedené testy s první zkušební tekutinou lehkou kapalinou-topný olej (ČSN EN 858-1) naznačily, že tato zařízení s vestavbami s vysokou pravděpodobností zabezpečí hodnoty požadované předpisy ČR a EU. V případě zpřísnění legislativních požadavků na výstupní hodnoty povrchových vod se zbytkovým obsahem lehkých kapalin charakterizovaných ukazatelem $C_{10-C_{40}}$, bude nutné hledat další cesty zvýšení účinnosti OLK, například doplněním o další čistící stupeň.

Testy s použitím druhé zkušební tekutiny - znečištěnou směsí (ÖNORM B 5104) potvrdily, že odstranění lehkých kapalin v případě obsahu suspenze jílovitých částic v testované kapalině je spojeno i s odstraněním těchto látek. Výsledný separační efekt je lepší tam, kde se více uplatní koalescenční efekt a logicky i tam, kde se bude prodlužovat doba zdržení. Ovšem otázkou pak je, jak rychle bude probíhat kolmatace koalescenční vestavby. Vyšší čistící efekt bude pravděpodobně spojen také s vyššími nároky na údržbu. Zmenšování objemů a zjednodušování vestaveb v současné praxi tedy logicky musí vést ke snižování účinnosti separace a tím i ke zvyšování znečištění recipientů.

Srovnání postupů podle obou norem, tj. postupu s použitím čistého oleje a s použitím znečištěného a emulgovaného oleje ukázalo, že postup podle ČSN EN 858-1 na jedné straně reflektuje účinnost zařízení na odlučování lehkých kapalin, na druhé straně však nelze z tohoto testu odvozovat účinnost zařízení OLK na konkrétní lokalitě. Emulgace, koncentrace, charakter nerozpuštěných látek a sorpce lehkých kapalin na nerozpuštěné látky bude na každé lokalitě jiná. Z experimentů také vyplývá, že v extrémním případě (viz např. simulace podle ÖNORM B 5104, která se používá pro myčky aut) se koncentrace lehkých kapalin na výstupu z OLK mohou pohybovat v desítkách miligramů na litr.

Pro reálné podmínky v praxi bude proto velice záležet na navržení takového typu OLK, který bude odpovídat daným podmínkám, zaručí splnění platné legislativy a zajistí jednoduchý a finančně nenáročný provoz.

7. SUMMARY

The subject of this thesis was to test the possibilities of increasing effectiveness of mechanical separator for light liquids by installing various types of constructions. Analyses of testing samples of fluids were compared in common separator and with use of testing constructions (segment, honeycomb core, PUR foam)

Tests results definitely showed increased effectiveness of light fluid separator (LFS) with testing constructions, especially with PUR foam, where coalescence effect applies. PUR foams with small pores and longer holding period of fluid in coalescence environment showed higher effectiveness than segment LFS and honeycomb core with bigger holes.

Performed tests with first test light fluid-heating oil (ČSN EN 858-1) indicate, that this equipment with constructions will with high probability ensure values required in regulations in Czech Republic and European Union. In case of tighten the legislative requirements on output values of surface water with remaining light fluids characterize by index C_{10} - C_{40} , further possibilities of increase efficiency of LFS will have to be developed, etc. by installing another cleaning level.

Tests with use of second testing fluid – fouled mixture with suspension of clay particles (ÖNORM B 5104) confirmed, removal of light liquid fluids from mixture is connected with removing of contained particles. Result of separate effect is better with coalescence effect and also when holding time will be prolonged. Question is following: how fast will be colmatation of coalescence of construction. Higher cleaning effect will be probably connected with higher demand for maintenance. From experience volume reduction and simplifying of construction lead to decrease of efficiency of separation process and increasing pollution of recipients.

Comparison of methods according both norms, i.e. method with use of clean oil and method with use of polluted and emulsified oil showed, that process acc. ČSN EN 858-1 reflects efficiency of light liquid separator but this test cannot state efficiency on particular locality. Emulsification, concentration, characterization of non-dissolved substances and sorption of light fluid to non-dissolved substances will be different in every location. Results show, that in extreme case (simulation acc. ÖNORM B 5104, used for car wash machines) the concentration of light liquid fluids can at output of LFS vary by 10 milligrams/liter.

For real conditions in praxis, design of LFS should be liable to given conditions, guarantee to fulfil valid legislation and ensure simple and cost-effective operation.

I regard of further development of testing with use of mechanical separator with various construction, testing of mixture acc. ÖNORM B 5104 without eulgator would be applicable, to find out behavior of clay mixture and oil substances, or simulate real procesess. Take a sample of non-dissolved substances from various areas (traffic intensity and type of area), find out the settle times and also find out base on lowering hydrocarbon concentration decreasing of non-dissolved substances. Described measurements would be used to individually design the device, which would gaurante etc. maximum values of concentracion on outflow or suggestion to add further technology to ensure achieve of required limits.

8. SEZNAMY

8.1. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Adamec, V., a kolektiv. *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Praha : Grada Publishing, 2008. 1 vyd. 176 s. ISBN 978-80-247-2156-9

Beránková, D.; Brtníková, H.; Kupec, J.; Huzlík, J.; Jandová, V.: Srážkoodtokové poměry dálničních a rychlostních komunikací – informace o dílčích výsledcích grantového úkolu MDČR v roce 2005. Asio spol. s.r.o. In *Návaznosti 2008, Sborník*. Brno 30.10.2008, s. 129-135.

Pitter, P., Hydrochemie, Praha 1999, Vydavatelství VŠCHT, ISBN 80-7080-340-1

Krejčí, V., a kolektiv. *Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup*. Hlavínek, P.; Zeman, E.; 1 vyd., Brno, NOEL 2000, 2002. 562 s. ISBN 80-86020-39-8

Cyhelská, E.; Kabelková, I. Solení vozovek z pohledu hospodaření s dešťovými vodami. In *Hospodaření s dešťovými vodami*. Brno 10. březen 2009. Edit. ARDEC s.r.o., s. 85-90.

Dvořák, J; Erlebach, J; Ptáček, M a kol. *Čištění odpadních vod s obsahem ropných látek*. Praha, SNTL, 1982. 368 s.

ČSN EN 858-1 (75 6510). *Odlučovače lehkých kapalin (např. oleje a benzinu) – Část 1: Zásady pro navrhování, provádění a zkoušení, označení a řízení jakosti*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 48 p.

ČSN EN 858-2 (75 6510). *Odlučovače lehkých kapalin (např. oleje a benzinu) – Část 2: Volba jmenovité světlosti, instalace, provoz a údržba*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 24 p.

ČSN 75 6551. *Odvádění a čištění odpadních vod s obsahem ropných látek*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 20 p.

Nařízení vlády 61/2003 Sb.: O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. a nařízení vlády č. 23/2011 Sb. In: *Sbírka zákonů*. 2003, 24/2003.

Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky, Evropský parlament, Rada, 23. říjen 2000.

ÖNORM B5104 - *Abwasserverhalten von Reinigungsmitteln ("Kaltreinigern" bzw. "Lösemittelreinigern") auf nicht wässriger Basis für Fahrzeug- und Motorenreinigung - Anforderungen, Prüfung, Normkennzeichnung*. Wien: Austrian Standards Institute, 2007. 11 p.

Herman, E., Dinger, M., Steiner, M., Boller, M. Behandlung von hoch belastetem Straßenabwasser. In *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, leden 2010. www.dwa.de/KA

Fuchs, S., Mayer, I., Haller, B., Roth, H. Einsatz von Schrägklärern in der Regenwasserbehandlung. In *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, listopad 2010. www.dwa.de/KA

Škorvan, O. Chování ropných látek a ostatních NEL ve vodách. In *Odlučovače lehkých kapalin a řešení odtoků z komunikací a parkovacích ploch, Praha 19. březen 2009*. Edit. AČE ČR, s. 17-21.

Grünwald, A. *Hydrochemie*. ČVUT, Praha, ISBN 80-01-00952-1, 1993. 176 s.

Průmyslové spektrum, *Odstranění kontaminace s podzemních vod*. Praha, 2001, MM publishing, s.r.o., Trendy/ Ekologie, str. 40, [online] 2001. [cit. 2009-05-6]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/odstraneni-kontaminace-z-podzemnich-vod.html>

Landa, I. Vlastnosti organických látek. In *Aplikovaná ekologie staré ekologické zátěže Praha*. [online] 2001. [cit. 2009-04-20]. Dostupné z: <http://fle.czu.cz/~landa/UCTEXT/C/C021-VLASTNOSTI-ORG.PDF>

Pavlíková, D.; Pavlík, M; Matějů, L.; Balík, J. *Ekotoxikologie*. Praha: FAPPZ ČZU, 2007. 152 s. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. ISBN 978-80-213-1690-4

Holoubek, I. *Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) v prostředí*. Praha, 1996. 136s. Český ekologický ústav a Odbor ekologických rizik a monitoring MŽP ČR. ISBN 80-85087-44-8

Kužílek, V. *Polycyklické aromatické uhlovodíky v hydrosféře*. Praha, 1994. 55 s. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka. ISBN 80-901181-6-X

IRZ - Integrovaný registr znečišťování. *Polycyklické aromatické uhlovodíky*. [online] [cit. 2009-04-20]. Dostupné z: http://www.irz.cz/irz/latky/polycyklicke_aromati.html

Krovta, J. a kol. *Návody pro laboratorní cvičení z analytické chemie II*. VŠCHT, Praha, 2001. ISBN 80-7080-451-3.

Churáček, J., Jandera P. *Úvod do vysokoúčinné kapalinové kolonové chromatografie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984, 188 s.

ČSN EN ISO 17993 (75 7555). *Jakost vod – Stanovení 15 polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) metodou HPLC s fluorescenční detekcí po extrakci kapalina-kapalina*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 28 p.

ČSN EN ISO 15527 (83 8029). *Charakterizace odpadů – Stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) v odpadech plynovou chromatografií s hmotnostním spektrometrem (GC/MS)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 36 p.

Bielská, L. *Využití metody superkritické fluidní extrakce k extrakci organických polutantů*. Diplomová práce. Brno, 2008. 54s. Výzkumné centrum pro chemii životního prostředí a ekotoxikologii. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta.

Ulbrichová, I. *Těžké kovy*. [online] 2007. [cit. 2009-10-13]. Dostupné z: http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_HIO/kapitoly/Skodliviny/Tezkovyuvod.htm

Včelica, V. *Vliv dopravní infrastruktury na přírodu, fragmentace prostředí*, [online] 17.4. 2005. [cit. 2009-10-13]. Dostupné z: <http://jadernice.ecn.cz/dokumenty/20050417/Vliv%20dopravni%20infrastruktury%20na%20prirodu.pdf>

Janoušek, I., Čížek, Z. K problematice stanovení těžkých kovů ve složkách životního prostředí. In *Těžké kovy: Sborník referátů aktuální ekologické otázky E'92*, 15.10.1993, Bijo s.r.o., Praha, s. 39-64.

Odlučovače lehkých kapalin, [online]. [cit. 2013-01-16]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/odlucovac-lehkych-kapalin>

Kopáčková, D. Odlučovače ropných látek, In *TZB-info*. [online] 2.10.2006. [cit. 2009-11-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3564>

Pírek, O., Uher, M.: Odlučovače lehkých kapalin jako havarijní zabezpečení ploch, In *Enviweb*, [online] 19.6.2007. [cit. 2009-12-14]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/voda/64612/odlucovac-lehkych-kapalin-jako-havarijni-zabezpeceni-ploch>

Plotěný, K., Pírek, O., Odlučovače LK – Nové poznatky a předpisy, In *Odlučovače lehkých kapalin a řešení odtoků z komunikací a parkovacích ploch*. Praha 19. březen 2009. Edit. AČE ČR, s. 17-21.

Plotěný, K.: Návrh metodik pro vodoprávní řízení – Odlučovače lehkých kapalin. In *TZB-info*, [online] 2004. [cit. 2009-12-14]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1816-navrh-metodik-pro-vodopravni-rizeni-odlucovac-lehkych-kapalin>

Separa spol. s.r.o. [online] © 2009. [cit. 2009-12-5]. Dostupné z: <http://www.separa.cz/produkty/odlucovac/-ropnych-latek/>

Synáčková, M., *Voda a ovzduší 40, Ochrana vody a ovzduší*, Praha: ČVUT, 2000, 1.vyd. s. 157. ISBN 80-01-02228-5

Stříž, M., Plotěný, K., Stanovení minimálního objemu kalojemu u odlučovačů lehkých kapalin a obtokem dle ČSN EN 858-2. In *TZB-info*, [online] 24.9.2003 [cit. 2009-12-14]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1631-stanoveni-minimalniho-objemu-kalojemu-u-odlucovacu-lehkych-kapalin-s-obtokem-dle-csn-en-858-2>

Asio spol. s.r.o., Odlučovače lehkých kapalin [online] © 2011-2013 [cit. 2013-01-14]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/as-top>

Hydroclar s.r.o. [online] [cit. 2009-12-5]. Dostupné z: <http://www.hydroclar.cz/odlucovac-ropnych-latek/>

Mifková, T., Retence dešťových vod II, In *TZB-info*, [online] 30.11.2009 [cit. 2010-01-21]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/6089-retence-destovych-vod-ii>

Krátký, M., Nekolný, B., Problematika srážkových vod po dopadu na pozemní komunikace. Útvar povrchových a podzemních vod. Povodí Vltavy. [online] [cit. 2010-1-19]. Dostupné z: www.pvl.cz/

Melcher, K., Posypové materiály pro zimní údržbu komunikací v ČR a zemích EU. In *Ekolist*, [online] 3.12.2001 [cit. 2009-10-26]. Dostupné z: [http://ekolist.cz/zprava.shtml?x=49570&cmd\[24\]=v-24](http://ekolist.cz/zprava.shtml?x=49570&cmd[24]=v-24)

Hošek, J., *Úvod do nanotechnologie*, Praha: ČVUT, Fakulta strojní, 2010, ISBN 978-80-01-04555-8

Elmarco, s.r.o. Nano for life [online] © 2004-2011 [cit. 2011-02-7]. Dostupné z: <http://www.elmarco.cz>

Nanoiron, s.r.o., Future technology [online] © 2008-2010 [cit. 2011-02-7]. Dostupné z: <http://www.nanoiron.cz>

Nanopin. Výzkumné centrum pro nanopovrchové inženýrství. *Vlastnosti fotokatalického TiO₂*, [online] © 2006, [cit. 2011-02-8]. Dostupné z: www.nanopin.cz/cz/cz_page01.html

Peter, R., *Nanovlákná-materiál budoucnosti?* [online] 17.12.2008, [cit. 2011-02-8]. Dostupné z: <http://www.inovace.cz/novinky/454-nanovlakna--material-budoucnosti>

Nováková, T., Šváb, M., Švábová, M., Využití nanočástic v dekontaminačních technologiích: současný stav. In *Chemické listy* 103, 524-532. Praha, 2009. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2009_07_524-532.pdf

Aco, Stavební prvky spol. s r.o., [online] [cit. 2009-12-5]. Dostupné z: <http://www.aco.cz/31-odlučovace-ropnych-latek.html>

ŘSD - Ředitelství silnic a dálnic ČR [online] © 2012 [cit. 2012-12-14]. Dostupné z: <http://www.rsd.cz/>

SUS – Správa a údržba silnic [online] [cit. 2009-12-5]. Dostupné z: <http://www.susjmk.cz/>

Ecol-Unicom - lamella separator of light liquids [online] © 2009-2010 [cit. 2013-5-21]. Dostupné z: <http://www.ecol-group.com/technology.php>

Kessel – odlučovače oleje/benzínu. [online] © 2012 [cit. 2013-5-20]. Dostupné z: <http://www.kessel.cz/index.php?id=337>

Ekosystém spol. s.r.o., [online] © 2005-2012 [cit. 2013-6-12]. Dostupné z: <http://www.ekosystem.cz/uprava-a-cistení-vod/technologicka-zarizení>

8.2. SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

PAU, PAH	Polycyklické aromatické uhlovodíky
NL	Nerozpuštěné látky
NH ₄ -N	Dusík z NH ₄
NH ₄	Amonné ionty
NO ₃ -N	Dusík z NO ₃
NO ₃	Dusičnanové ionty
P	Fosfor
Zn	Zinek
Pb	Olovo
Ca	Vápník
Fe	Železo
Ni	Nikl
Cr	Chrom
Cu	Měď
Al	Hliník
Pt	Platina
Pa	Protaktinium
Rh	Rhodium
MTBE	Methyl tert-butyl ether
ETBE	Ethyl tert-butyl ether
POPs	Perzistentní organické polutanty
TOL	Těkavé organické látky
BTEX	benzen - toluen - ethylbenzen – xylen (skupina cyklických uhlovodíků)
CHSK	Biochemická spotřeba kyslíku
ČOV	Čistírna odpadních vod
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
ZnCl ₂	Chlorid zinečnatý
ŽP	Životní prostředí
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
IRZ	Integrovaný registr znečišťování životního prostředí

NEL	Nepolární extrahované látky
SFC	Superkritická fluidní chromatografie
HPLC	Vysoko-účinná kapalinová chromatografie (High Performance Liquid Chromatography)
SFE	Superkritická fluidní extrakce
GC, GLC	Plynová chromatografie
Be	Berylium
Ba	Baryum
As	Arzen
Se	Selen
Te	Telur
Tl	thalium
B	Bór
Cl	Chlór
S	Síra
Hg	Rtuť
U	Uran
N	Dusík
K	Draslík
AAS	Atomová absorpční spektrometrie
OES-ICP	Optická emisní spektrometrie s induktivním plasmatem
OES-MS	Optická emisní spektrometrie s hmotnostní detekcí
CMA	Kalcium Magnesium Acetáte
KA	Kalium Acetáte
LTO	Lehký topný olej
DUN	Dešťová usazovací nádrž
OLK	Odlučovač lehkých kapalin
LK	Lehká kapalina
NS	Jmenovitá velikost odlučovače [-]
Q _r	Maximální odtok dešťových vod [l/s]
Q _s	Maximální odtok odpadních vod [l/s]
f _d	Součinitel hustoty pro příslušnou lehkou kapalinu [-]
f _x	Přítěžující součinitel v závislosti na druhu odtoku [-]
i	Intenzita směrodatného deště [l/(s.ha)]

A	Plocha povodí (měřeného horizontálně) [ha]
ψ	Součinitel odtoku [-]
Q_p	Přítok na odlučovač vypočtený dle ČSN EN 858-2
Q_o	Přítok nad Q_p
NS_p	Jmenovitá velikost vypočtená dle Q_p
NS_o	Jmenovitá velikost vypočtená dle Q_o
V_p	Objem kalojemu vypočtený dle NS_p
V_o	Objem kalojemu vypočtený dle NS_o
S	Kalojem
I nebo II	Odlučovač třídy I nebo II
P	Šachta pro odběr vzorků
ČIŽP	Česká inspekce životního prostředí

8.3. SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Seznam obrázků:

Obr. 1.1 – Dálnice (ŘSD ČR, 2012)	3
Obr. 2.1 – Komunikace (ŘSD ČR, 2012)	6
Obr. 2.2 – Horizontální provzdušňovač (Ekosystém spol. s.r.o., 2013)	16
Obr. 2.3 – Stripovací věž (Ekosystém spol. s.r.o., 2013).....	16
Obr. 2.4 - Polycyklické aromatické uhlovodíky (Pavlíková a kol., 2007).....	18
Obr. 2.5 - Průměrný podíl významných sektorů na emisích PAU (IRZ, 2008).....	19
Obr. 2.6 – Opotřebování pneumatik otěrem (Nokiantyres, 2009)	25
Obr. 2.7 – Posyp komunikací v zimním období (Správa a údržba silnic, 2009).....	32
Obr. 2.8 – Odlučovač lehkých kapalin (Hydroclar, s.r.o., 2009)	33
Obr. 2.9 – Odlučovač lehkých kapalin s koalescenčním a sopčným filtrem (Hydroclar, s.r.o.,2009).....	34
Obr. 2.10 – Gravitační odlučovač lehkých kapalin (Aco, 2009).....	37
Obr. 2.11 – Odlučovač lehkých kapalin (Kessel, 2013).....	37
Obr. 2.12 – Koalescenční odlučovač lehkých kapalin	38
Obr. 2.13 – Odlučovač lehkých kapalin s koalescenčním filtrem (Asio spol. s.r.o.,2011).....	38

Obr. 2.14 - Odlučovač lehkých kapalin s koalescenčním a sorpčním filtrem (Asio spol. s.r.o.,2011).....	39
Obr. 2.15 - Enghalsova láhev (ÖNORM B 5104, 2007).....	41
Obr. 2.16 – Kombinovaný odlučovač (Kopáčková, 2006)	51
Obr. 2.17 – Lamelový odlučovač lehkých kapalin (Ecol-Unicom, 2009)	53
Obr. 2.18 – Řez lamelovým odlučovačem lehkých kapalin (Ecol-Unicom, 2009)	53
Obr. 2.19 – Řešení velkokapacitního parkoviště pomocí retenční nádrže a odlučovače (Pírek, 2007).....	54
Obr. 2.20 – DUN s předřazenou odlehčovací komorou (Pírek, 2007).....	55
Obr. 2.21 – Odlehčovací komora jako průtoková nádrž s lamelami (např. v paralelním zapojení) (Fuchs, Mayer a kol, 2010)	57
Obr. 2.22 – Schéma lamelového odlučovače (Fuchs, Mayer a kol, 2010).....	58
Obr. 2.23 - Přehled rozmístění zařízení tří-stupňové kombinace (Herman, Dinger a kol, 2010)	59
Obr. 2.24 - Usazovací nádrž k oddělení částic s lamelovou konstrukcí a nad tím perforované odtokové potrubí (Herman, Dinger a kol, 2010).....	60
Obr. 2.25 – Skladba filtru v nádrži se zeolitem. U nádrže s hydroxidem železitý činí tloušťkou adsorpční vrstvy jen 20 cm. (Herman, Dinger a kol, 2010).....	62
Obr. 2.26 – Nit nanovlákna vyrobená technologií Nanospider (Elmarco s.r.o., 2004).....	65
Obr. 2.27 – Porovnání lidského vlasu a nanovlákna (Elmarco s.r.o., 2004).....	65
Obr. 4.1 – Schéma zkušebního zařízení	71
Obr. 4.2 – Zkušební zařízení v laboratoři VUT Brno	71
Obr. 4.3 – Odlučovač lehkých kapalin s prostou sedimentací	72
Obr. 4.4 – Lamely (se sklonem 60°)	72
Obr. 4.5 – Voštiny (prostorová několikrát zalomená trubice, typ 2H).....	72
Obr. 4.6 – Koalescenční filtr (PUR pěna tl. 5, 15 cm).....	73
Obr. 4.7 – OLK s voštinami a lamelami	76
Obr. 4.8 – OLK s koalescenčním filtrem (PUR pěna tl. 15 cm)	76
Obr. 4.9 – OLK se směsí znečištění a míchání směsi peristaltickým čerpadlem.....	83

Seznam tabulek:

Tab. 2.1 – Původ škodlivých látek	5
Tab. 2.2 – Účinky obsažených látek	5
Tab. 2.3 – Analýza lehkého topného oleje (LTO) v daných časech	12

Tab. 2.4 – Části odlučovacího zařízení	42
Tab. 2.5 – Minimální přítěžující součinitel f_x	43
Tab. 2.6 – Součinitele hustoty f_d	43
Tab. 2.7 – Odtokové hodnoty z výtokových ventilů	44
Tab. 2.8 – Třídy odlučovačů	45
Tab. 2.9 – Emisní hodnoty	46
Tab. 2.10 - Označení třídy odlučovače se sorpcí	46
Tab. 2.11 – Objemy lapáku písku	47
Tab. 2.12 – Sestavení částí odlučovacího zařízení a požadavky na jakost odpadních vod na odtoku z odlučovače.....	48
Tab. 2.13 – Přehled kontaminantů a nanočástic vhodných k jejich odstranění z prostředí	67
Tab. 4.1 – Výsledky testování 1	74
Tab. 4.2 – Výsledky testování 2	75
Tab. 4.3 – Výsledky testování 3	79
Tab. 4.4 – Výsledky testování 4	82

Seznam grafů:

Graf 2.1 - Rozpustnost uhlovodíků C_{10} - C_{40} v závislosti na čase	12
Graf 4.1 – Prostá sedimentace.....	77
Graf 4.2 - Lamely	77
Graf 4.3 - Voštiny.....	77
Graf 4.4 – Koalescenční filtr (PUR pěna 15 cm)	78
Graf 4.5 - Koalescenční filtr (PUR pěna 5 cm).....	78
Graf 4.6 – Prostá sedimentace.....	80
Graf 4.7 - Lamely	80
Graf 4.8 - Voštiny.....	81
Graf 4.9 - Koalescenční filtr (PUR pěna 5 cm).....	81
Graf 4.10 - Koalescenční filtr (PUR pěna 15 cm).....	81
Graf 4.11 – Prostá sedimentace.....	83
Graf 4.12 – Lamely	83
Graf 4.13 – Voštiny.....	84
Graf 4.14 - Koalescenční filtr (PUR pěna 15 cm).....	84
Graf 4.15 - Koalescenční filtr (PUR pěna 5 cm).....	84