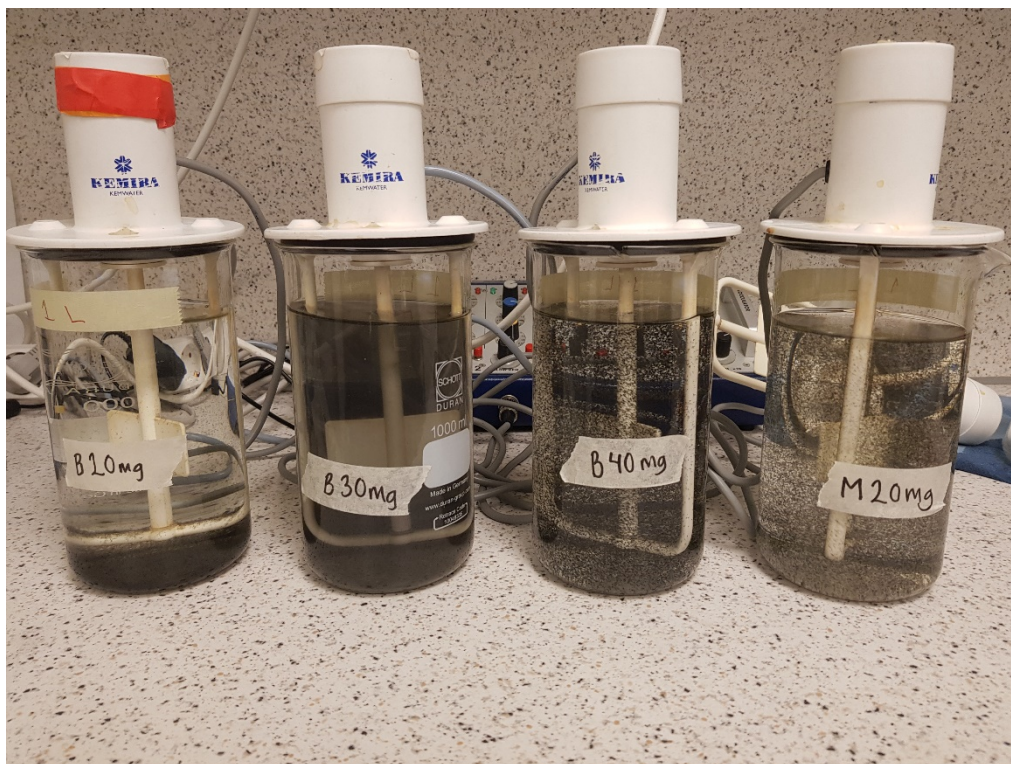


Pulverkol som akut kemisk barriär för dricksvatten

Alexandra Klerck



EXAMENSARBETE

Högskoleingenjörsexamen

Kemiteknik

Titel: Pulverkol som akut kemisk barriär för dricksvatten

Engelsk titel: Powdered carbon as an urgent chemical barrier for drinking water

Sökord: Bensin, MGO, Hybridolja, Pulveriserat aktivt kol (PAK), oljeutsläpp, löslighet

Arbetsplats: Norrvatten

Handledare på arbetsplatsen: Frida Hugg

Handledare på KTH: Mats Jansson

Student: Alexandra Klerck

Datum: 2020-01-22

Examinator: Mats Jansson

Sammanfattning

På Norrvattens reningsverk, Görvålverket, produceras dricksvatten genom rening av råvatten från Östra Mälaren. Dricksvattenverket ligger i direkt anslutning till Mälaren, vilket är bra då vattnet inte behöver transporteras för att renas. Mälaren är Sveriges största dricksvattentäkt, men den är också mycket trafikerad av både fartyg och fritidsbåtar. På grund av all trafik finns det en risk att det sker oljeutsläpp om en olycka skulle ske.

Oljeprodukter kan ge vattnet en motbjudande lukt. Detta gör att det producerade dricksvattnet enligt Livsmedelsverket anses som otjänligt, dvs. det bör inte användas som dricksvatten. Därför ville Norrvatten kartlägga vilka marina bränslen som används idag men också undersöka hur mycket pulveriserat aktivt kol (PAK) som krävs för att rena vattnet från bränslelukt. Detta för att vara beredda vid ett eventuellt utsläpp och då kunna tillsätta rätt mängd PAK.

Detta undersöktes både genom en litteraturstudie och småskaliga laborieförsök där lukttröskel och rening med PAK undersöktes. Försöken analyserades med hjälp av luktanalyser, som utfördes av Görvålverkets laboriepersonal.

En litteraturstudie visade att de vanligaste marina bränslena idag för fritidsbåtar och fartyg är bensin respektive marin gasolja (MGO). Det är dessa två bränslen som använts vid försöken med pulveriserat aktivt kol. Planen från början var även att hybridolja skulle undersökas, men eftersom den betedde sig annorlunda i vatten jämfört med de övriga bränslena uteslöts den från vidare försök.

Lukttröskelförsöket som gjordes för MGO visade att alla prov antingen luktade eller inte luktade så därför kunde ingen lukttröskel anges. Resultatet för vatten förorenat av bensin med en koncentration på 200 µg/l visade att det krävs 30 mg PAK/l för att eliminera bränslelukten från vattnet. Koncentrationen på 200 µg/l användes då det anses vara den högsta halt som skulle kunna nå Görvålverket vid ett eventuellt oljeutsläpp.

Dessvärre gav reningsförsöken med MGO inget konkret resultat. Detta eftersom lösligheten för MGO var felaktigt antagen och därför var koncentration av MGO löst i vatten okänd. De koncentrationer som undersöktes var därför total mängd tillsatt MGO i vattnet.

Den slutsats som ändå kan dras från reningsförsöken med MGO är att PAK fungerar bra för att reducera bränslelukt, men att det krävs ytterligare försök. Det resultat man kan utgå från vid fortsatta undersökningar är att det krävs mer än 40 mg PAK/l för att rena förorenat vatten med en koncentration på 4 360 µg MGO/l samt mer än 60 mg PAK/l vid en koncentration på 8 720 µg MGO/l.

Abstract

At Norrvatten's treatment plant, Görvålverket, drinking water is produced by purification of water from Mälaren. Mälaren is Sweden's largest source of drinking water, but it's also heavily trafficked by commercial ships as well as private boats. Due to all traffic, there is a risk that oil spills will occur in the event of an accident.

Oil products can give the water disgusting odor. This, according to Livsmedelsverket makes the produced drinking water unfit to be used as drinking water. Therefore, Norrvatten wanted to identify which marine fuels that are used today, but also to investigate how much powdered activated carbon (PAC) is needed to purify the water from fuel odor.

This was investigated through a literature study and additional laboratory scale experiments where the relation between the odor threshold and the purification with PAC was investigated. The laboratory experiments were analyzed by using odor analyzes, where lab staff at the Görvålverket smelled the samples and indicated how each individual sample smelled.

Through the literature study it was found that the most common marine fuels today for private boats and commercial ships are gasoline and marine gas oil (MGO). These are the two fuels used in the experiments with powdered activated carbon. The plan was also to investigate hybrid oil. But since it behaved differently in water compared to the other fuels, it was excluded from further experiments.

The odor threshold experiment made for MGO unfortunately showed that all samples either smelled or did not smell. Hence, no odor threshold could be specified. For water contaminated with gasoline at a concentration of 200 µg/L, 30 mg of PAC/L was required to eliminate the fuel odor from the water. The concentration of 200 µg/L was used since it is considered to be the highest level that may reach the Görvålverket in the event of an oil spill.

Unfortunately, the purification attempts with MGO produced no actual results. This was because the solubility of MGO was incorrectly assumed and therefore the concentration of MGO dissolved in water could not be obtained. The concentrations investigated were therefore the total amount of MGO added to the water.

The conclusion that can still be drawn from the purification attempts with MGO is that PAC works well to reduce fuel odor. A result that can be the basis for future studies is that more than 40 mg PAC/L is required to purify contaminated water with a concentration of 4 360 µg MGO/L and more than 60 mg PAC/L at a concentration of 8 720 µg MGO/L.

Nomenklatur

MGO – Marine Gas Oil

MDO – Marine Diesel Oil

HFO – Heavy Fuel Oil

PAH – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

ULSFO – Ultra Low Sulphur Fuel Oil

PAK – Pulveriserat Aktivt Kol

PAC – Powdered Activated Carbon

SECA – Sulphur Emission Control Area

LNG – Liquefied Natural Gas

GAK – Granulerat aktivt kol

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Bakgrund.....	2
2.1	Marina bränslen.....	2
2.1.1	Bensin.....	2
2.1.2	MGO.....	2
2.1.3	Hybridolja.....	3
2.1.4	Alternativa marina bränslen.....	3
2.2	Svavelkrav.....	4
2.3	Olja i vatten.....	4
2.4	Föroreningar från oljespill.....	6
2.4.1	Toxicitet.....	7
2.5	Aktivt kol för vattenrening.....	7
2.6	Dricksvattenkrav.....	8
2.7	Görvälnverkets dricksvattenproduktion.....	8
2.8	Analyser.....	9
3	Genomförande.....	10
3.1	Lukttröskel.....	10
3.1.1	Utförande hybridolja RMD80.....	10
3.1.2	Utförande MGO.....	11
3.2	Försök med PAK.....	12
3.2.1	Utförande.....	13
4	Resultat.....	14
4.1	Lukttröskel.....	14
4.2	Försök med PAK.....	14
4.2.1	Bensin.....	14
4.2.2	MGO.....	15
4.3	Kemiska analyser.....	16

4.3.1	MGO.....	16
4.3.2	Bensin.....	17
5	Diskussion.....	19
5.1	Felkällor.....	19
5.2	Löslighet.....	19
5.3	Resultat.....	20
5.3.1	Bensin.....	20
5.3.2	MGO.....	20
6	Slutsats.....	21
	Referenser.....	22
	Bilaga 1 – Spädningar hybridolja (RMD80).....	26
	Bilaga 2 – Spädningar MGO.....	27
	Bilaga 3 – Spädningar bensin.....	28
	Bilaga 4 – Analysresultat B-L.....	29
	Bilaga 5 – Analysresultat B-H.....	30
	Bilaga 6 – Analysresultat M-L.....	31
	Bilaga 7 – Analysresultat M-H.....	32

1 Inledning

Dricksvatten är världens viktigaste livsmedel. I Sverige är vi bortskämda med att det bara är att sätta på kranen för att få rent dricksvatten. Varje invånare använder ungefär 160 liter vatten per dag [1]. Det mesta av det dricksvatten som används får vi från något av de cirka 2 000 kommunala vattenverk som finns i landet. För att säkerställa att det producerade vattnet godkänns som dricksvatten krävs att det uppfyller Livsmedelverkets dricksvattenkrav, t.ex. vad gäller lukt, smak och utseende [2].

Kommunalförbundet Norrvatten är Sveriges fjärde största dricksvattenproducent med 14 medlemskommuner i norra Storstockholm. På deras ytvattenverk, Görvälnverket, produceras dricksvatten till cirka 600 000 invånare genom rening av vatten från Östra Mälaren [3].

Förutom att Mälaren är Sveriges största dricksvattentäkt är den också mycket trafikerad av både fartyg och fritidsbåtar [4]. Årligen passerar cirka 3 000 fartyg någon av de två passagerna in i Mälaren. I framtiden förväntas transportbehovet öka, vilket medför att större eller fler fartyg kommer att trafikera Mälaren [5].

I och med all trafik som sker på Mälaren finns också en risk, i det fall att en olycka skulle ske, att oljeprodukter läcker ut i vattnet. För vattenverken skulle ett eventuellt oljeutsläpp kunna leda till att det råvatten som tas in innehåller oljeprodukter. Oljeprodukter i utgående dricksvatten kan ge vattnet en motbjudande lukt, men lukt uppträder i regel vid lägre halter än de som anses hälsofarliga. Dock anser Livsmedelsverket att dricksvatten som har en tydlig eller stark lukt är otjänligt, d.v.s. vattnet bör inte användas som dricksvatten.

I nuvarande reningsprocess på Görvälnverket finns det möjlighet att dosera pulveriserat aktivt kol vid behov för att rena vattnet från bränslelukter. Tidigare försök har utförts på dieselolja vilket ligger till grund för den dosering som skulle användas vid ett eventuellt utsläpp. Denna doseringsmängd behöver dock följas upp då det var en stund sedan detta undersöktes, men också eftersom det finns nya bränslen.

Målet med projektet är dels att kartlägga vilka bränslen som används av fartyg och fritidsbåtar i Mälaren, och dels att undersöka vilken doseringsmängd av pulveriserat aktivt kol som krävs för att rena dricksvattnet från bränslelukter.

För att undersöka detta har en litteraturstudie och laboratorieförsök genomförts. Försöken inleddes med ett luktröskelförsök. Därefter utfördes försök för de vanligaste marina bränslena med olika mängder pulveriserat aktivt kol. Detta för att undersöka vid vilken doseringsmängd som bränslelukten försvinner från dricksvattnet.

2 Bakgrund

För att undersöka vilken mängd aktivt kol som krävs för att rena dricksvatten från olika marina bränslen krävs först att väsentlig fakta om bränslen, reningsprocessen, PAK, oljors beteende och dricksvattenkrav tas fram.

2.1 Marina bränslen

Fritidsbåtar och fartyg använder sig av olika typer av bränslen. Fritidsbåtar använder sig främst av bensin, alkylatbensin, diesel och biodiesel [6]. Av dessa är det huvudsakligen bensin som tankas av fritidsbåtar i Mälaren idag [7][8].

När det gäller fartyg använder de sig av både destillat- och restbränslen. De fartygsbränslen man främst pratar om är tjockolja (HFO), marin gasolja (MGO) och nu på sistone även hybridoljor. Av dessa fartygsbränslen är MGO det vanligaste idag [9][10].

2.1.1 Bensin

Bensin framställs ur råolja, som är en fossil energikälla [11]. För att framställa bensin måste råoljan först hettas upp och därefter föras till en fraktionskolonn där de olika oljeprodukterna separeras från varandra. Bensin som är ett av de lättare kolvätena kommer att stiga upp mot toppen av kolonnen [12].

Bensin består av en kolvätekedja som har 4 till 12 kolatomer. Den vanliga fördelningen mellan kolvätekedjorna är 30-60% paraffiner, 30-42% aromater, 0-15% oxygenater, 0-13% olefiner och 0-5% naftener. Kokpunktintervall för bensin är mellan 25-205°C. En av dess egenskaper är att bensin är lättflyktigt, dvs. lätt avdunstar [13][14].

2.1.2 MGO

MGO framställs genom destillation av råolja och är en blandning av flera olika destillat som kondenseras till vätska [15]. MGO består av en kolvätekedja som har 10 till 28 kolatomer. De kolväten som ingår är paraffiner, naftener, aromater och olefiner [16]. Kokpunktintervall för MGO är 200-385°C [17].

Historiskt sett har MGO varit dyrare än HFO, som också är ett vanligt fartygsbränsle. På grund av de hårdare svavelkrav som införts på marina bränslen har dock flera fartyg gått över från HFO till MGO. Detta eftersom MGO har en låg svavelhalt på högst 0,5 vikts-% [18][19].

MGO har liknande egenskaper som diesel som används för fordon. Skillnaden är att diesel har en lägre densitet och är bättre ur miljösynpunkt då det har renats ytterligare jämfört med MGO

[15][20]. Ytterligare skillnader mellan diesel och MGO är att de har olika svavelinnehåll, flampunkt och aromatinnehåll [19].

Det finns också ett marint destillatbränsle som kallas för MDO (Marine Diesel Oil). Skillnaden mellan de två destillatbränslena är att MDO också kan innehålla HFO, som är ett restbränsle och därmed innehåller MDO en högre svavelhalt än MGO [20].

2.1.3 Hybridoljor

Hybridoljor är förhållandevis nya bränslen som tagits fram för att möta den efterfrågade svavelhalten på 0,1 vikts-%. Det kallas för hybridbränsle eftersom det kombinerar egenskaper från både destillat- och restbränslen [21]. De kan vara blandade på olika sätt och kommer därför att få olika kemiska sammansättningar, vilket leder till att de olika hybridoljorna inte kommer att uppvisa exakt samma beteende vid ett eventuellt utsläpp [22].

Jämfört med vanligt restbränsle, såsom HFO, har hybridoljor en lägre densitet och viskositet men också bättre antändnings- och förbränningsegenskaper. Ur en kostnadssynpunkt sägs hybridoljorna vara mer kostnadseffektiva än MGO [21].

Det finns många olika beteckningar för hybridbränslen, en av dessa är ULSFO (Ultra Low Sulphur Fuel Oil) [23]. Ett hybridbränsle som tagits fram för att möta efterfrågan på lågt svavelinnehåll är RMD80. Det är ett bränsle som innehåller en blandning av tyngre komponenter och som har en bas på antingen destillat- eller restbränslen [24].

2.1.4 Alternativa marina bränslen

Idag finns det två alternativa fartygsbränslen på marknaden, det ena är flytande naturgas (LNG) och det andra är metanol. Båda framställs ur naturgas och är således inte fossilfria bränslen, men de har en betydligt lägre miljöpåverkan [20].

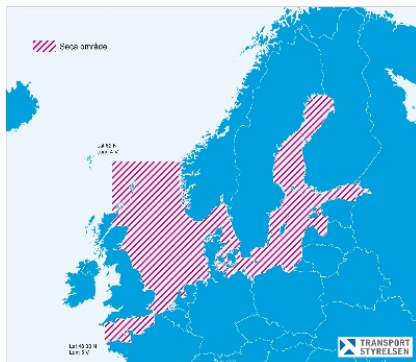
När naturgas kyls ner till -162°C övergår den från gas till vätska. Volymen för LNG blir 600 gånger mindre än för naturgas [25]. Som fartygsbränsle är LNG förhållandevis nytt och det är inte så många fartyg som använder sig av det i dagsläget [25]. Användningen förväntas dock öka under de kommande åren [20].

Fördelar med LNG är att det knappt blir några utsläpp alls av partiklar och svavel. Dessutom reduceras kväveutsläppen med 85 % och koldioxidutsläppen med 20-30 % jämfört med traditionellt fartygsbränsle. Ytterligare en fördel med utvecklingen av LNG är att det kan ge en ökad användning av flytande biogas, som är ett förnybart bränsle [25].

2.2 Svavelkrav

Av de globala svavelutsläppen står sjöfarten för en stor del. [26]. När fossila bränslen förbränns frigörs svaveloxid som omvandlas till svavelsyra i atmosfären. De sura ämnena når marken i form av nederbörd samt vindar och sänker pH-värdet i både hav och skogar, dvs. försurar dessa [27].

För att minska svavelutsläppen finns det regler för hur mycket svavel marina bränslen får innehålla. Vissa områden, se figur 1, är så kallade svavelkontrollområden (SECA) där regelverket från och med år 2015 tillåter en svavelhalt på max 0,1 vikts-%. På övriga områden gäller just nu en svavelhalt på max 3,5 vikts-% [26].



Figur 1 – Det rödstreckade visar de område där SECA gäller [28].

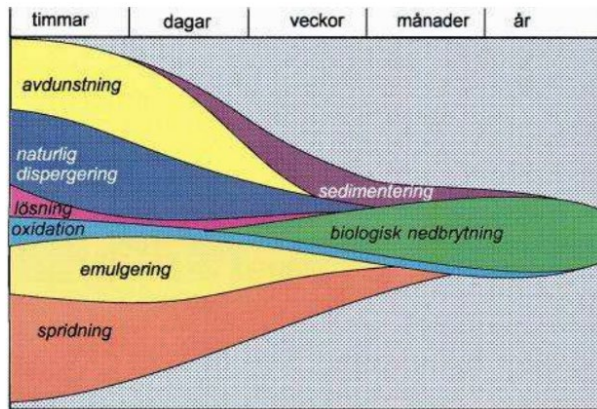
Från och med 1 januari år 2020 kommer de globala kraven för alla områden utanför SECA att skärpas ytterligare. Då kommer det högsta tillåtna svavelinnehållet i marina bränslen att begränsas till 0,5 vikts-% [29].

2.3 Olja i vatten

När oljeutsläpp sker kommer oljans egenskaper att påverkas av utsläppsmiljön men också vice versa. Oljans egenskaper påverkas bland annat av temperaturer i både luft och vatten [30].

Vid ett oljeutsläpp är det mest troligt att oljan kommer ligga på vattenytan. Detta eftersom oljans densitet oftast ligger mellan 800-1 000 kg/m³, vilket är strax under vattnets densitet [30].

Vid oljeutsläpp i vatten sker en rad olika förändringsprocesser, som i slutändan påverkar oljeresternas egenskaper. Några av processerna som förekommer är spridning, avdunstning, lösning och emulgering [30]. I figur 2 visas de olika förändringsprocesserna och man kan se att vissa processer sker parallellt med varandra.



Figur 2 – Bilden visar oljeutsläppets betydelse under olika tidpunkter [31].

Spridning av olja kan ske genom utbredning, drift, transport och omblandning. När oljan sprids genom utbredning går det fortare om det är en lätt och lågviskös olja. Om oljan däremot sprids via drift, transport och omblandning är det istället vindar och ytströmmar som påverkar hur stor spridningen blir [30]. Oljans spridning påverkar i sin tur avdunstningen, då en större spridning leder till en ökad avdunstning [31].

När oljan avdunstar så förgasas de lättare fraktionerna i oljan och på så sätt kan utsläppets volym minska [30][31]. Det är under de första utsläppstimmarna som avdunstningen går som fortast. Totalt sett kommer högst 40-60 % av oljeutsläppet att avdunsta, oberoende av hur länge avdunstningen pågår [30]. När avdunstning skett ökar oljans densitet och viskositet, vilket gör att det blir svårare att antända oljan [31].

Det är främst för lätta råoljor, såsom bensin, som avdunstning gör en betydande skillnad. Volymen bensin kan redan efter 7-8 minuters avdunstning vid 20°C ha halverats. För dieselolja kan volymen halveras genom avdunstning under första dygnet. För de tyngre oljeprodukterna ger avdunstningen inte samma volymminskning, då det handlar om endast några få procents avdunstning efter 40 timmar [30].

Generellt sett har olja en låg löslighet i vatten [30]. Detta eftersom råolja är opolärt då det består av olika kolväten [32]. För löslighet gäller att lika löser lika, då vatten är polärt och olja är opolärt så kommer de inte lösas i varandra [33].

En viss löslighet av olja finns ändå, då vissa vattenlösliga komponenter finns i en del oljeprodukter [30]. Bensins löslighet i vatten är 100-300 mg/l [34]. Dieselbränsle kan till viss del också lösa sig i vatten. Mängden diesel som kan lösas beror på temperaturen, när det är kallare är lösligheten lägre [35].

Emulgering orsakas av brytande vågor eller hårt väder som ger en stor omblandning i vattnet [30][31]. Detta kan ske på två olika sätt, antingen kan oljedroppar blandas i vattnet eller tvärtom

att vattendroppar blandas i oljan. Vilken av de två emulgeringsorterna som dominerar beror på vilken typ av olja som läckt [30]. Båda sätten leder på olika sätt till en ökad oljemängd [31].

Ytterligare förändringsprocesser som sker är biologisk nedbrytning, fotooxidation och sedimentering. Dessa bidrar till att oljan antingen bryts ned eller sjunker till botten på grund av ökad densitet [30][31].

Det är vid kontaktytan mellan vatten och olja som den biologiska nedbrytningen sker. Där bryts kolväteföreningar ned till mindre kolväten eller koldioxid och vatten via naturligt levande mikroorganismer i vattnet. För att nedbrytningen ska kunna ske krävs att det finns tillgång till både närsalter och syre. I de fall när oljan sedimenterar till botten kommer den biologiska nedbrytningen att minska eller helt upphöra, eftersom syretillgången blir begränsad. Hastigheten på nedbrytningen beror av temperaturen, ju högre temperatur ju snabbare går nedbrytningen [30][36].

2.4 Föroreningar från oljespill

I oljor finns det, som tidigare nämnt, alifatiska- och aromatiska kolväten samt i vissa fall även oxygenater (kolföreningar som innehåller syre). I gruppen med alifatiska kolväten ingår paraffiner, naftener och olefiner. Ämnen som lätt förångas är också de som lättast sprids i vatten, såsom MTBE (metyl-tertiär-butyl-eter), aromatiska kolväten och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) [37]. I oljeprodukter finns också BTEX, vilket är samlingsnamnet för bensen, toluen, etylbensen och xylener, vilka består av 6-9 kolatomer. Lösligheten i vatten för BTEX är högre jämfört med de aromater som har fler kolatomer [38].

PAHer kan delas in i undergrupper utifrån deras molekylvikt. Då PAH-L är summan av PAHer med låg molekylvikt och som består av 2-2,5 aromatringer. De andra undergrupperna är PAH-M och PAH-H som består av PAH-föreningar med medelhög- respektive hög molekylvikt. Löslighet i vatten minskar med ökande molekylvikt, alltså är PAH-L mest vattenlösliga [39].

I bensin används MTBE som tillsatsmedel för att reducera aromatinnehållet, men också för att se till att bensinen når önskat oktantal. Nackdelen med MTBE är att det har en hög löslighet i vatten och därför kan riskera att förstöra dricksvattentäkter. Reningen av MTBE-förorenat vatten är komplicerad och tar lång tid [37].

För petroleumprodukter beror lösligheten på hur flyktigt ämnet är, de lättare fraktionerna har en högre flyktighet och också en större vattenlöslighet. Både aromatiska- och alifatiska kolväten har en låg vattenlöslighet, men generellt sett har alifater ännu lägre löslighet än aromater [37].

2.4.1 Toxicitet

MTBE både smakar och luktar illa och det kan också irritera ögon, hud och luftvägar. Både lukt och smak märks vid lägre halter än de som är hälsofarliga [37].

Alifatiska kolväten är främst hälsoskadliga vid långvarig exponering. Både lätta och tunga fraktioner kan orsaka skador på både nerver och lever genom inandning. De tyngre fraktionerna kan också ge leverskador vid intag via munnen [37].

Generellt sett är aromatiska kolväten mer toxiska än alifatiska kolväten. Vid exponering av lätta aromatiska kolväten kan nervsystemet påverkas, men det kan också orsaka illamående, synskador och hjärnskador. Vid exponering av tyngre aromatfraktion kan även njure och vävnad i levern ta skada. Både bensen och de flesta PAH är cancerframkallande. [37].

PAH har en viss tendens att i vatten binda till partiklar och sedimentera. Dessutom är PAH svårnedbrytbara vilket gör att de kan bli mycket långlivade i vattensediment [40].

2.5 Aktivt kol för vattenrening

År 2012 gick mer än 42 % av den globala konsumtionen av aktivt kol till vattenrening [41]. Vid dricksvattenrening används aktivt kol för att avlägsna organiska ämnen ur vattnet, men också för att avlägsna dålig lukt och smak från vattnet [41][42].

Reningen av vattnet görs genom adsorption, vilket går ut på att föroreningsmolekyler fäster till kolets yta och på så sätt avlägsnas från vattnet [42]. De positiva egenskaperna med aktivt kol som adsorbent är att den har en mycket stor specifik yta och en hög avlägsningseffektivitet som ligger på mellan 90-99 % [43].

Aktivt kol adsorberar ämnen med låg vattenlöslighet allra bäst, vilket gör att det lämpar sig bra som reningsmetod för dricksvatten som är förorenat av bränslen. När adsorption sker är det gynnsamt med en låg temperatur och en låg föroreningskoncentration [42].

För vattenrening används aktivt kol i både pulverform och granulform. Oftast används pulverform främst vid satsvisa processer eftersom det är svårare att regenerera och därför ofta får kasseras efter användning. Eftersom aktivt kol i granulform är lättare att regenerera används det ofta i kontinuerliga processer [41].

I de fall där pulveriserat aktivt kol (PAK) används blandas det först till en slurry innan det tillsätts vattnet. När huvudsyftet är att rena vatten från lukt och smak så är doseringsmängden oftast låg [41].

2.6 Dricksvattenkrav

För att säkerställa en hög kvalitet på dricksvatten som produceras finns det regler och krav som måste följas av dricksvattenverk. Dessa regler innefattar allt ifrån hur vattnet bereds till kvalitetskrav i form av olika gränsvärden [44].

Dricksvatten undersöks regelbundet genom kemiska och mikrobiologiska analyser. Kemiska ämnen i dricksvatten kan orsaka både hälsomässiga problem men också estetiska problem, såsom avvikande färg, lukt, smak och grumlighet [45].

Dricksvatten klassificeras som otjänligt när det avger en tydlig eller mycket stark lukt. Med otjänligt vatten menas att det inte bör användas som dricksvatten, då det kan innebära hälsorisker. Dricksvatten som avger en svag lukt bedöms som tjänligt med anmärkning. Med det menas att vattnets sammansättning är avvikande men det bedöms inte vara hälsofarligt [44].

I de fall bränslen spills i vatten är det oftast inte hälsofarligt, eftersom det märks genom både lukt och smak vid lägre koncentrationer än för de som är hälsofarliga. Gränsvärden för bensen är 1 µg/l, för PAH är värdet 0,1 µg/l och för bens(a)pyren ligger gränsvärdet på 0,01 µg/l [46].

2.7 Görvålverkets dricksvattenproduktion

På Görvålverket tas råvattnet från Mälaren in vid antingen 4 eller 22 meters djup, beroende på kvalitet och årstid. Därefter silas råvattnet i en korgbandsil för att avlägsna större material som då fastnar i silen, t.ex. fisk och alger. När vattnet passerat silen förs det vidare till en pumpstation, som pumpar vidare rätt mängd vatten till reningsprocessen.

Efter silningen tillsätts aluminiumsulfat och vattnet förs nedför en blandningsränna till en flockningskammare. Här bildar, det nyss tillsatta, aluminiumsulfatet flockar. För att göra flockarna större tillsätts en mindre mängd natriumsilikat. Därefter förs vattnet till en sedimenteringsbassäng där flockarna sedimenterar. Sedan filtreras vattnet genom ett sandfilter för att ta bort de återstående flockresterna.

Efter sandfiltreringen pumpas vattnet till ett kolfilter av granulerat aktivt kol. Där filtreras vattnet för att reducera lukt, smak och organiska ämnen, men också för att skydda vattnet mot föroreningar. Sedan rinner vattnet vidare till UV-reaktorer som desinficerar vattnet.

I slutet av processen tillsätts kalkvatten respektive monokloramin. Detta för att minska risken för korrosion samt för att förhindra bakterielltillväxt i ledningsnätet. Därefter är dricksvattnet klart och leds till en reservoar som sedan pumpar ut det till ledningsnätet [47].

2.8 Analyser

Den metod som använts för att analysera försöken är luktanalyser. Laboratoriepersonal på Görvälnverket har luktat på de olika försöksproven och sedan angett huruvida provet luktat eller inte. Om provet luktade bränsle beskrevs också hur det luktade såsom, svagt, tydligt eller starkt. Alla luktanalyser genomfördes vid 20°C.

Vissa prov skickades dessutom iväg på analys, då halter för BTEX, alifater, aromater samt PAHer analyserades. Dessa värden jämfördes sedan med livsmedelverkets gränsvärden.

3 Genomförande

Nedan beskrivs utförande för både luktröskelförsök och reningsförsöken med hjälp av PAK. De bränslen som valdes ut till försöken var bensin och MGO eftersom dessa är de vanligaste idag för fritidsbåtar och fartyg. Hybridolja valdes också ut då det är ett förhållandevis nytt bränsle som kan komma att bli vanligt i framtiden. I tabell 1 redovisas densitet och löslighet för de bränslen som användes i försöken.

Tabell 1 – Bränslenas densitet och löslighet i vatten.

Bränsle	Densitet [g/ml]	Löslighet i vatten [mg/l]
Bensin	0,755 [34]	100-300 [34]
MGO	0,872 [48]	0,2
Hybridolja (RMD80)	0,901 [48]	-

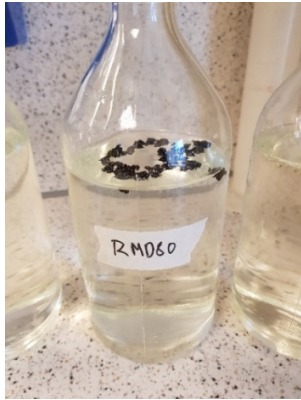
3.1 Luktröskel

Luktröskelförsöket genomfördes för att ta reda på vid vilken koncentration som man inte längre kan känna någon bränslelukt i vattnet. Med hjälp av den framtagna luktröskeln kan också en antydning på hur stor mängd som avskilts med hjälp av PAK i de övriga försöken fås.

Luktröskelförsök utfördes för hybridolja och MGO. Bensin valdes bort då möjligheten till analys var begränsad.

3.1.1 Utförande hybridolja RMD80

Hybridoljan var för trögflytande för att pipettera upp vid rumstemperatur och därför värmdes den först i hett vatten. Därefter bereddes en stamlösning med 0,1 ml hybridolja RMD80 i 10 liter råvatten från Mälaren, se bilaga 1. Därefter skakades behållaren om kraftigt. När stamlösningen var färdig kunde man se tydliga hårda klumpar av olja som låg på vattnet, se figur 3.



Figur 3 – Ett oberoende prov gjordes för att studera beteendet, här kan man tydligt se klumparna av hybridolja, RMD80, i råvattnet.

Utifrån stamlösningen späddes sedan 10 stycken prov med beräknade koncentrationer av hybridolja på mellan 1-10 $\mu\text{g/l}$, se bilaga 1. Dessa koncentrationer valdes eftersom tidigare lukttröskelförsök som gjorts på dieselolja, på Norrvatten, visat sig ha en lukttröskel på 5 $\mu\text{g/l}$ [49].

Proven bereddes i 1 liters glasflaskor med kork som skruvades åt hårt. Detta för att förhindra bränslet från att avdunsta. När proven var klara skakades de för att ge en god omblandning.

3.1.2 Utförande MGO

Luktanalysen för MGO utfördes på två olika sätt. I det ena lukttröskelförsöket baserades koncentrationen på hur mycket MGO som lösts i vattnet, medan koncentrationen i det andra försöket baserades på den totalt tillsatta mängd MGO. Eftersom ingen löslighet hittades i litteraturen användes löslighet från teoretisk bakgrundsdata från ett simuleringsprogram på Norrvatten, där löslighet var 0,2 mg/l. Det är denna löslighet som används vid spädningar då lösligheten tas i beaktande.

Stamlösningen bereddes på samma sätt för båda försöken, då 0,1 ml MGO späddes i 10 liter råvatten. Denna stod sedan och drog sig i en vecka innan proven bereddes.

Därefter späddes 10 stycken prov i 1 liters flaskor till koncentrationer på 1-10 $\mu\text{g/l}$, då koncentrationen baserades på total tillsatt mängd, se bilaga 2. För de 10 prov där koncentrationen baserades på hur mycket som löst sig i vattnet späddes stamlösningen i 1 liters flaskor till koncentrationer på 2-20 $\mu\text{g/l}$, se bilaga 2. Därefter skakades flaskorna om och stod sedan i ett mörkt rum i cirka två dygn tills de analyserades av Görvälnverkets vattenanalysgrupp.

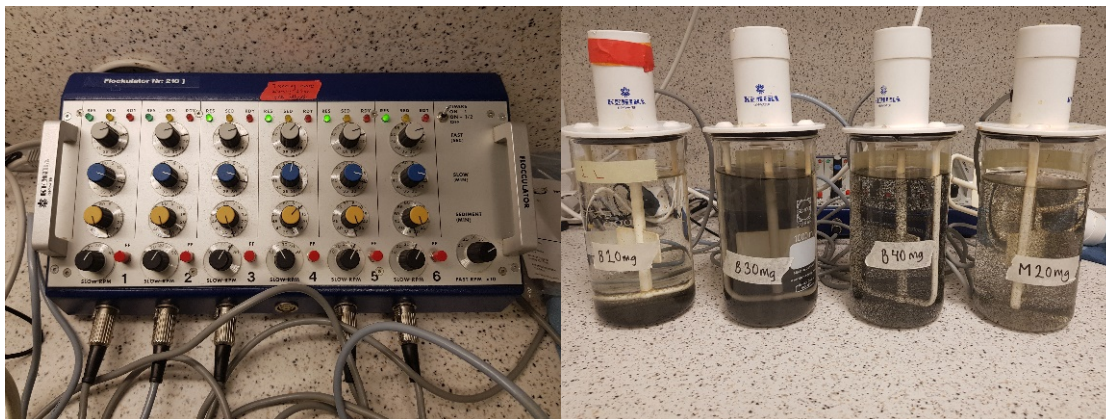
3.2 Försök med PAK

I försöken med PAK för att eliminera bränslelukt bereddes stamlösningar av bensin och MGO. Stamlösningen med bensin bereddes så att både total mängd bensin och halten löst bensin i stamlösningen hade samma koncentration. För MGO gick inte detta då det var för små mängder och därför anges koncentrationen av MGO i stamlösningen som den totala mängd MGO som tillsatts per liter.

Provlösningarna bereddes till olika koncentrationer. En av koncentrationerna som undersöktes var den maximala halt som skulle kunna nå verket vid ett utsläpp, vilket enligt simuleringar, på Görvälnverket, visat sig vara 200 µg/l. Dock var det bara bensinprovet som vid denna koncentration hade en tydlig bränslelukt. MGO hade endast en mycket svag lukt vid koncentration på 200 µg/l.

Därför gjordes ytterligare provblandningar för MGO där provet späddes tills det hade en tydlig bränslelukt, vilket var vid koncentrationer på 4 360 µg/l respektive 8 720 µg/l, se bilaga 2. Dessa koncentrationer är beräknade utifrån hur mycket MGO som tillsatts och alltså inte hur mycket som löst sig i vattnet. De olika PAK mängderna som användes var 10, 20, 30, 40, 50 och 60 mg/l.

För att efterlikna Görvälnverkets reningsprocess så mycket så möjligt användes en flockulator, se figur 4.



Figur 4 – Flockulatorn som användes i försöken.

Flockulatorn bestod av 1 liters bägare med en omrörare som kopplades med en sladd till en kontroll dosa. På kontroll dosan ställdes tider för snabbinblandning, omrörning och sedimentering in, se tabell 2 för tiderna i försöken.

Tabell 2 – Inställningar på flockulatorens som användes i försöken.

Förlopp	Tid
Snabbinblandning	15 sek
Omrörning	20 min
Sedimentering	30 min

3.2.1 Utförande

Först bereddes två bränslestamlösningar. Ena med 0,1 ml MGO i 10 liter råvatten och en andra med 0,4 ml bensin i 1 liter råvatten. Utifrån dessa stamlösningar bereddes provlösningar i 1 liters bägare, se bilaga 2 och bilaga 3. Därefter tillsattes en viss mängd PAK och provet sattes på omrörning under 7 minuter. När kontakttiden uppnåtts sattes omröraren tillhörande flockulatorens i bägaren.

Flockulatorens sattes på och en snabbinblandning startade samtidigt som aluminiumsulfat (ALG) tillsattes bägaren. Snabbinblandningen upphörde efter 15 sekunder och då startade en 20 minuters långsam omrörning. När omrörningen avstannade började provet att sedimentera, vilket det fick göra under 30 minuter.

När provet hade sedimenterat klart filtrerades provet ner i en flaska. Därefter förslöts flaskan med en kork och skakades om. Försöket upprepades flera gånger för både bensin och MGO men med olika bränslekonzentrationer och doseringsmängder av PAK.

4 Resultat

Resultat för både luktröskelförsök och PAK-försök sammanställs i detta kapitel.

4.1 Luktröskel

Luktröskelförsöket för hybridolja visade att inget av proven luktade bränsle. För proven med koncentrationer på 1-8 µg/l kändes en tydlig lukt av råvattnet. Denna tydliga lukt försvann dock för proven med koncentrationer på 9 och 10 µg/l. När dessa provflaskor öppnades kändes en flyktig doft av något främmande i luften. När de sedan luktdes på i en luktkolv hade lukten försvunnit. På grund av hur hybridoljan betedde sig i vatten kommer den att uteslutas ur försöken med PAK, då den inte verkade lösa sig i vattnet.

För luktröskelförsöket med MGO på koncentrationer på 2-20 µg/l luktade samtliga prov bränsle, medan inget av proven med koncentration på 1-10 µg/l luktade bränsle. Luktröskelförsöken med MGO gav alltså inte heller något resultat som kunde ge någon slutsats gällande luktröskel för MGO.

4.2 Försök med PAK

Nedan redovisas resultaten från försöken med PAK för både bensin och MGO.

4.2.1 Bensin

Bensinförsöken med PAK-mängder på 20 och 30 mg utfördes två gånger. Vid det ena försöket räckte en PAK-mängd på 20 mg för att eliminera lukt. Medan det vid det andra försöket hade en tendens till lukt, se tabell 3. Sammantaget räcker en mängd på 30 mg PAK/l för att eliminera bränslelukt från vatten.

Tabell 3 – Resultat för bensin.

Bensin koncentration [µg/l]	Mängd PAK [mg]	Lukt
200	10	Aningen/Tendens till lukt
200	20	Aningen/Tendens till lukt
200	20	Ingen
200	30	Ingen x2
200	40	Ingen

4.2.2 MGO

För de vattenprov som hade en MGO koncentration på 200 µg/l, luktade proven mycket svagt av bränsle innan försöken. Resultatet visade att inget av proven efter rening med PAK luktade bränsle, se tabell 4.

Tabell 4 – Resultat MGO koncentration 200 µg/l.

MGO koncentration [µg/l]	Mängd PAK [mg]	Lukt
200	20	Ingen
200	30	Ingen
200	40	Ingen

Vid försöken med MGO-koncentrationer på 4 360 µg/l hade proven en tydlig bränslelukt innan försöken påbörjades. Resultatet visade också att alla prov luktade bränsle efter att PAK-mängder på 20-40 mg tillsatts. Dock blev bränslelukten svagare ju högre mängd PAK som tillsatts. Eftersom provet med en PAK-mängd på 40 mg hade en tendens till lukt krävs alltså en högre dos än 40 mg PAK/l för att eliminera lukten på dricksvattnet, se tabell 5.

Tabell 5 – Resultat MGO koncentration 4 360 µg/l.

MGO koncentration [µg/l]	Mängd PAK [mg]	Lukt
4 360	20	Svag
4 360	30	Aningen/tendens till lukt
4 360	40	Aningen/tendens till lukt

När vattnet hade en MGO koncentration på 8 720 µg/l hade samtliga prov en bränslelukt både innan och efter försöken, se tabell 6. Resultatet visade alltså att mängderna PAK som tillsatts var för låga för att klara av att rena dricksvattnet från bränslelukt. Det skulle krävas en PAK-mängd på över 60 mg/l för att eliminera lukten.

Tabell 6 – Resultat MGO koncentration 8 720 µg/l.

MGO koncentration [µg/l]	Mängd PAK [mg]	Lukt
8 720	20	Tydlig
8 720	40	Svag
8 720	50	Tydlig
8 720	60	Mycket svag

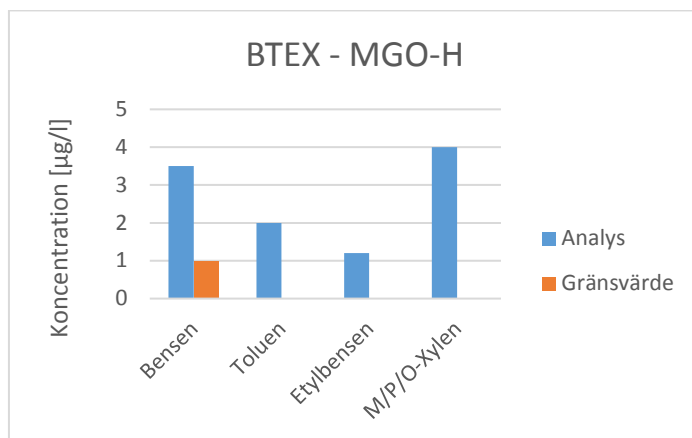
4.3 Kemiska analyser

Resultatet för de prov som skickades iväg på kemiska analyser redovisas nedan med hjälp av diagram, men också i bilaga 4, 5, 6 och 7.

4.3.1 MGO

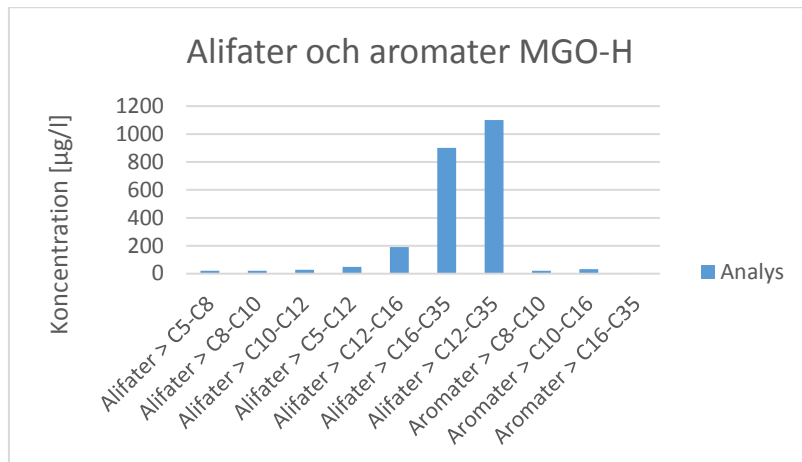
Det var två stycken MGO-prov som skickades iväg på analys. Den ena som kallats MGO-L (för låg mängd MGO) då 0,1 ml MGO späddes i 10 liter råvatten. Den andra som kallats MGO-H (för hög mängd MGO) då 1 ml MGO späddes i 10 liter råvatten.

Endast ett fåtal ämnen kunde detekteras för MGO-L, då de flesta ämnena låg under detektionsgränserna. Därför kommer analysresultaten inte att presenteras här utan återfinns i analysrapporten, se bilaga 6. Däremot kunde de flesta ämnen för MGO-H detekteras. Resultaten redovisas med hjälp av 3 stycken diagram, ett med BTEX, ett med alifater och aromater samt ett med PAH, se figur 5, 6 och 7.

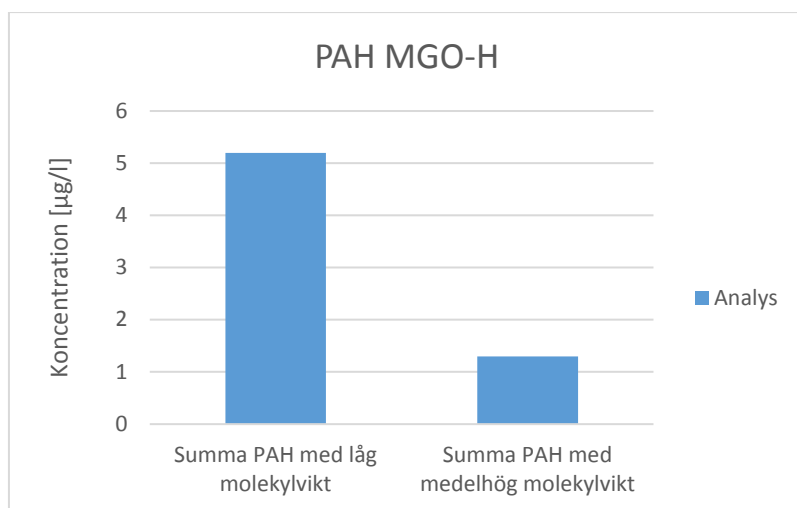


Figur 5 – BTEX koncentrationer i µg/l för MGO med den högsta tillsatta mängden MGO.

I figur 5 finns också gränsvärdet för bensen med, här kan man tydligt se att koncentrationen bensen i provet överstiger Livsmedelverkets gränsvärde på 1 µg/l.



Figur 6 – Koncentrationer, i µg/l, av både alifater och aromater i provet kallat MGO-H.



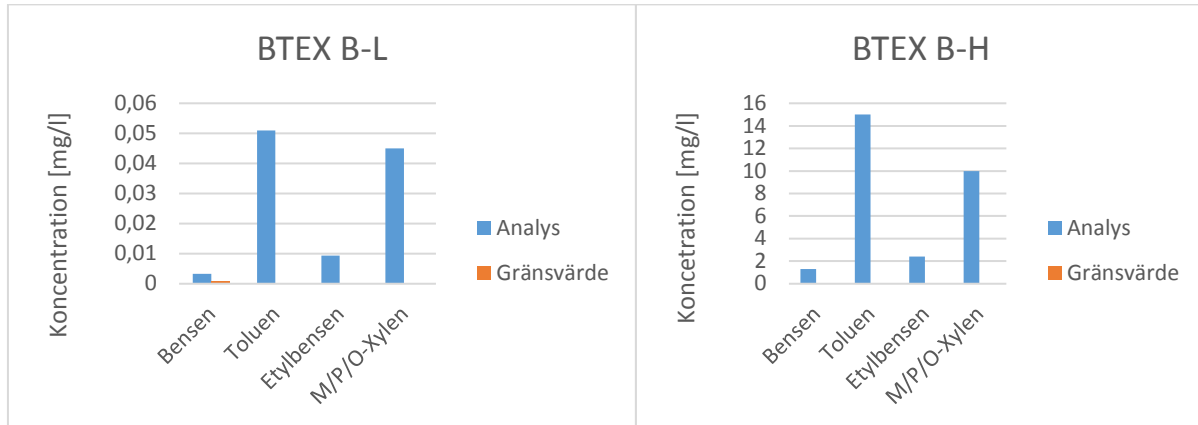
Figur 7 – Koncentrationer, i µg/l, av PAH i provet kallat MGO-H.

4.3.2 Bensin

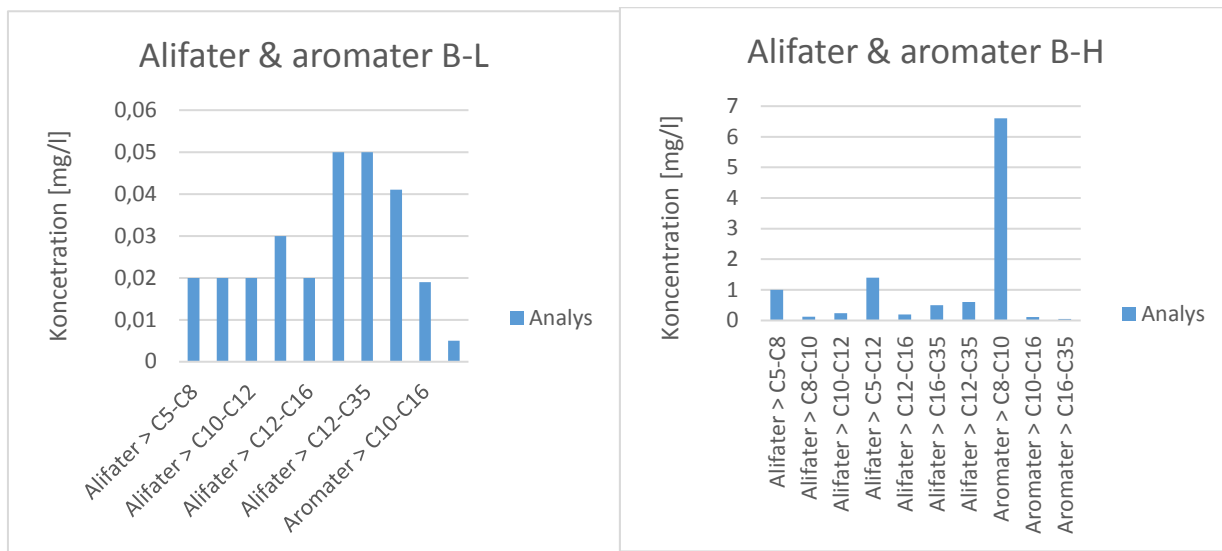
Det var två stycken bensinprov som skickades iväg på analys. Det ena var stamlösningen som beretts för PAK-försöken (kallat B-H, för hög halt bensin) och det andra var provlösningen som användes i PAK-försöken (kallat B-L, för låg halt bensin).

Analysresultaten för både B-L och B-H redovisas i tre diagram, se figur 8, 9 och 10.

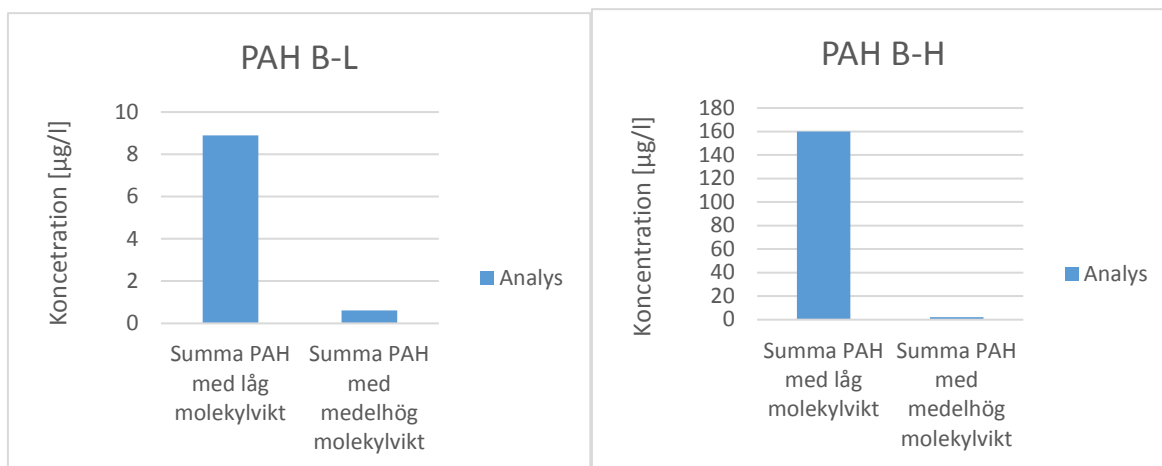
I figur 8 kan man tydligt se att koncentrationen av bensen i båda proven överstiger Livsmedelverkets gränsvärde.



Figur 8 – BTEX koncentrationer i mg/l för både B-L och B-H.



Figur 9 – Koncentration, i mg/l, av både alifater och aromater i prov B-L och B-H.



Figur 10 – Koncentration, i µg/l, av PAH i prov B-L och B-H.

5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras felkällor och övriga osäkerheter som uppkommit under projektets gång.

5.1 Felkällor

Det har funnits en del felkällor under försöken som bör tas i beaktande vid utvärdering av resultaten. En potentiell felkälla är de framtagna lösligheterna inte överensstämmer med verkligheten. Om så är fallet leder det i sin tur till att de givna koncentrationerna inte är korrekta.

Ytterligare en felkälla är att utrustningen med bägare och omrörare inte är helt tät, vilket kan medföra att bränsle avdunstat under försökets gång. Framst för bensin kan detta ha haft stor betydelse då bensin är mycket lättflyktigt och har en hög avdunstningsförmåga. Likaså under filtreringen är det möjligt att bränsle avdunstat, då filtreringen skedde ”öppet” utan något lock.

Det är inte heller helt säkert mängden kolslurry som tillsattes varje prov innehöll exakt lika stor kolmängd. Även vid beredningar av provlösningarna kan man ifrågasätta huruvida de innehöll exakt samma mängd bränsle. Visserligen bereddes alla prov ur samma stamlösning, men det är inte säkert att blandningen var homogen eller att lösligheterna stämde. Dessutom gjordes försöken med en veckas mellanrum, vilket kan ha lett till att mer och mer bränsle löst sig i råvattnet om lösligheten för bränsle inte stämde.

5.2 Löslighet

En fråga som dykt upp mycket när det gäller både stamlösningarna och provlösningarna är lösligheten och därmed halten bränsle i vatten. Har lösligheten betydelse eller inte och vad menas egentligen med halten för ett bränsle då det består av en mängd olika kolväten? Vad är det i själva verket som löser sig och vilket/vilka ämnen ger bränslet lukt?

Vattnet som renas på Görvälnverket tas in från 4 eller 22 meters djup. Detta gör att det råvattnet som tas in i verket vid ett utsläpp endast borde vara det bränsle som löst sig i råvattnet. Detta eftersom bränslet som inte löst sig borde sannolikt ligga på vattenytan, då bränslen vanligtvis har en lägre densitet än vatten.

Utifrån detta resonemang borde man ta hänsyn till hur mycket bränsle som löser sig i vatten. MGOs löslighet i vatten har inte gått att hitta så därför användes teoretisk bakgrundsdata från ett simuleringsprogram för lösligheten på MGO, vilket enligt programmet var 0,2 mg/l.

För att undersöka lösligheten skickades två MGO prov med olika koncentrationer på analys. I båda proven tillsattes MGO i överskott, det vill säga mer tillsattes än vad som teoretiskt sett skulle kunna lösas. Rent teoretisk borde alltså båda proven ha haft samma koncentration av löst

MGO i vattnet pga. lösligheten. Resultatet visade dessvärre att så inte var fallet. Provet som hade en högre tillsatt mängd MGO hade också högre koncentrationer av alla ämnen i vattnet. Dessutom visade det sig att inget av ämnena, bensen, bens(a)pyren och PAH, som det finns gränsvärden för, kunde detekteras vid analysen för den MGO-lösning som användes i försöken.

5.3 Resultat

Tillförlitligheten av resultaten för bensen och MGO diskuteras nedan.

5.3.1 Bensen

Resultatet för bensen motsvarar förväntat resultat. Delvis eftersom provlösningar bereddes så att både total mängd bensen och den lösta mängden bensen i vattnet fick samma koncentration. Men också eftersom mängden kol som tillsatts, 30 mg/l, är samma halt som erhöles vid tidigare undersökningar av dieselolja på Görvälnverket. Resultaten bör ligga inom samma storleksintervall. Dessutom upprepades försöket en gång och gav då liknande resultat, vilket också gör det mer trovärdigt.

Dock luktade det aldrig tydligt eller ens svagt av bensen, även vid lägre PAK-mängder. Något som kan ha och göra med att utrustningen som användes inte var helt tät och därmed kunde bensen avdunsta under försökets gång. Eftersom bensen har en hög avdunstningsförmåga är det mycket troligt att detta skedde.

5.3.2 MGO

Resultaten från försöken med MGO är svåra att tyda. Främst på grund av att lösligheten inte stämmer och därför kunde inte koncentrationen för löst MGO i vatten tas fram. Den koncentration som används är den totala mängden MGO som tillsatts, vilket ger en högre koncentration än vad proven faktiskt innehåller. De resultat som tagits fram i försöken med PAK kan därför ifrågasättas eftersom koncentrationerna inte överensstämmer med hur mycket som löst sig i vattnet.

För provet med den lägsta koncentrationen, 200 µg MGO/l, är det säkerligen mycket mindre än 200 µg/l som har löst sig i vattnet. Därför skulle upprepade försök vid denna koncentration kunna uteslutas. Istället vore det mer rimligt att göra utökade samt upprepade försök för MGO med koncentration på 4 360 µg MGO/l respektive 8 720 µg MGO/l. Detta eftersom den mängd MGO som lösts i vatten vid dessa koncentrationer är mer troliga att ligga på runt 200 µg inlöst MGO/l, vilket är den koncentration som är intressant att göra försök på.

6 Slutsats

De vanligaste bränslena som används av fritidsbåtar och fartyg idag är bensin respektive MGO. Dessa två bränslen har använts vid luktröskelförsöken och PAK-försöken. Även hybridolja skulle ha undersökts i försöken med PAK, då det är ett förhållandevis nytt bränsle. Dock krävde hybridoljan uppvärmning för att bli mindre trögflytande samt att det vid kontakt med vatten bildade små hårda ”klumpar”. På grund av dess uppvisande beteende uteslöts hybridoljan från försöken med PAK.

Den generella slutsats som kan dras är att samtliga försök med PAK behöver upprepas. För vatten förorenat av bensin med en koncentration på 200 µg/l kan man anta att en PAK-dosering på 30 mg/l räcker för att eliminera bränslelukt.

När det gäller rening av MGO förorenat vatten kan man främst dra slutsatsen att det fungerar att använda PAK för att eliminera bränslelukt. Dock krävs vidare försök och litteraturstudier för att ta fram löslighet för MGO för att på så sätt veta vilka koncentrationer som undersöks. Detta för att i sin tur kunna få fram vilken doseringsmängd PAK som krävs för att eliminera lukt från vatten förorenat med cirka 200 µg löst MGO/l.

För vidare försök är det viktigt att provlösningens koncentration är relativt hög. Detta för att ta hänsyn till att lösligheten skulle kunna vara felaktigt antagen. En högre koncentration kommer att leda till att en större halt PAK behövs. Om man överskrider den maximala halt som skulle kunna nå verket vet man också att halten PAK kommer att räcka för rening. Hellre för stor mängd PAK än en för liten då detta skulle kunna leda till större problem. Vid ett eventuellt utsläpp är det angenämt att veta att mängden PAK är tillräcklig.

Det som kan påstås från försöken är att det krävs mer än 60 mg PAK/l för att reducera bränslelukt från vatten innehållande 8 720 µg MGO/l. Samt att det krävs mer än 40 mg PAK/l för att eliminera bränslelukt från vatten med 4 360 µg MGO/l. Hur höga halter MGO som verkligen har löst sig i vattnet vid dessa koncentrationer är mycket intressant att ta reda på vid fortsatta försök.

Referenser

- [1] Livsmedelsverket, "Dricksvatten," 2019. [Online]. Available: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/mat-och-dryck/dricksvatten/>. [Accessed: 18-Oct-2019].
- [2] Livsmedelsverket, "Dricksvattenproduktion," 2019. [Online]. Available: <https://www.livsmedelsverket.se/produktion-handel--kontroll/dricksvattenproduktion/>. [Accessed: 18-Oct-2019].
- [3] Norrvatten, "Om Norrvatten." [Online]. Available: <https://www.norrvatten.se/-Om-Norrvatten/>. [Accessed: 18-Oct-2019].
- [4] Mälarens vattenvårdsförbund, "Sjöfart." [Online]. Available: <http://www.malaren.org/malaren/nyttjande-och-paverkan/sjofart/>. [Accessed: 21-Oct-2019].
- [5] M. för samhällsskydd och Beredskap, "Riskbild för oljeolyckor till sjöss i Sverige". Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2016.
- [6] J. Strandberg and S. Alongi Skenhall, "Köpguide för motorbåtar". IVL Svenska Miljöinstitutet, 2013.
- [7] T. Frigren, "Re: Examensarbete fråga," *Personal email, Mälarmarin*, 2019.
- [8] L. Pansåre, "Re: Vanligaste bränslet," *Personal email*, 2019.
- [9] E. Fridell, "Re: Examensarbete frågor ang. bränslen/oljor," *Personal email, IVL*, 2019.
- [10] M. Jäderland, "Re: Frågor om bränsleanvändningen i Mälaren," *Personal email, Sjöfartsverket*, 2019.
- [11] Svenska Oljebolaget, "Hur bildas olja?" 2016. [Online]. Available: <https://svenskaoljebolaget.se/hur-bildas-olja/>. [Accessed: 27-Sep-2019].
- [12] Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet, "Raffinering av råolja," 2010. [Online]. Available: <https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/produktion/raffinering-av-raolja/>. [Accessed: 27-Sep-2019].
- [13] Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet, "Bensin." [Online]. Available: <https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/drivmedel/bensin/>. [Accessed: 27-Sep-2019].
- [14] Wikipedia, "Flyktighet," 2018. [Online]. Available: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Flyktighet>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [15] Marquard & Bahls, "Marine Gasoil (MGO)," 2015. [Online]. Available: <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-gasoil-mgo.html>. [Accessed: 30-Sep-2019].

- [16] Bomin, "Material Safety Data Sheet," 2006.
- [17] Dansk Shell, "Shell Marine Gasoil (0,05%)". Energihuset.
- [18] C. Berlin and T. Schagerström Melin, "Effekterna av strängare svavelkrav". Transportstyrelsen, 2015.
- [19] Sweco, "Effekter av svaveldirektivet," 2012.
- [20] T. Renhammar, A. Jivén, S. Sköld, and L. Styhre, "Sjöfartens energianvändning – Hinder och möjligheter för omställning till fossilfrihet". Energimyndigheten, 2017.
- [21] Lloyd's Register Marine, "Your options for emissions compliance," Southampton, 2015.
- [22] J. Fritt-Rasmussen *et al.*, "Heavy Fuel Oil (HFO)". Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2018.
- [23] B. Forsman, "Hybridoljor," 2018. [Online]. Available: <https://www.msb.se/contentassets/3b6979f595ba4e749225f3e86702acba/6-hybridoljor-bjorn-forsman.pdf>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [24] Stena Oil, "Services," *stenaoil.com*. [Online]. Available: <https://www.stenaoil.com/services/services/>. [Accessed: 10-Oct-2019].
- [25] Stockholms hamnar, "Stockholms Hamnar möter nya miljökrav med LNG," Stockholm.
- [26] C. Petrini, "SO_x - svaveloxider," *Transportstyrelsen*. [Online]. Available: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Miljo-och-halsa/Luftforening/SOx---svaveloxider/>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [27] Havs- och vattenmyndigheten, "Försurning av sjöar och vattendrag," 2019. [Online]. Available: <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/miljopaverkan/forsurning-av-sjoar-och-vattendrag.html>. [Accessed: 09-Oct-2019].
- [28] C. Petrini, "Svavelkontrollområde (SECA)," *Transportstyrelsen*. [Online]. Available: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/Sjofart/Miljo-och-halsa/Luftforening/SOx---svaveloxider/Kommande-krav/>. [Accessed: 09-Oct-2019].
- [29] International Maritime Organization, "Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions," *IMO*, 2019. [Online]. Available: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>. [Accessed: 09-Oct-2019].
- [30] B. Forsman, "Oljan är lös". Karlstad: Risk- och miljöavdelningen, 1997.
- [31] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, "Oljans egenskaper," 2011.
- [32] O. Henriksson, "Kolväten," *Naturvetenskap.org*, 2016. [Online]. Available:

- <https://www.naturvetenskap.org/kemi/hogstadiekemi/organisk-kemi/kolvaten/>. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [33] M. Ekstrand, "Vattenlöslighet," *Naturvetenskap.org*, 2014. [Online]. Available: <https://www.naturvetenskap.org/kemi/gymnasiekemi/vatten/vattenloeslighet/>. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [34] Swea Energi, "Säkerhetsblad bensin," Kungsbacka, 2006.
- [35] Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet, "Dieselbränsle och kyla," *Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet*, 2017. [Online]. Available: <https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/drivmedel/dieselbransle/dieselbransle-och-kyla/>. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [36] S. Evans, "Effekter av olja i marin miljö". 1998.
- [37] SPI - Svenska Petroleum Institutet, "Efterbehandling av förorenade bensinstationer och dieselanläggningar," 2010.
- [38] K. Krook and J.-O. Levin, "BTEX," 2018. [Online]. Available: <http://atgardsportalen.se/foreoreningar/btex>. [Accessed: 09-Jan-2020].
- [39] Kemakta Konsult AB, "Datablad för Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)," 2017.
- [40] Naturvårdsverket, "Utsläpp i siffror - Polyaromatiska kolväten (PAH)," 2019. [Online]. Available: <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Ovriga-organiska-amnen/Polyaromatiska-kolvaten/>. [Accessed: 05-Nov-2019].
- [41] J. Silvestre-Albero and F. Rodriguez-Reinoso, "Activated Carbon and Adsorption," *Ref. Modul. Mater. Sci. Mater. Eng.*, 2016.
- [42] P. O. Persson, "Miljöskyddsteknik - Strategier & teknik för miljöskydd". Stockholm: KTH - Kungliga Tekniska Högskolan Inst. för ingenjörspedagogik, 2018.
- [43] P. Pal, "Physicochemical Treatment Technology," *Ind. Water Treat. Process Technol.*, pp. 145–171, Apr. 2017.
- [44] Livsmedelsverket, "Livsmedelsverkets föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten;," *Livsmedelsverkets författningssamling*, 2017.
- [45] Livsmedelsverket, "Dricksvattenkvalitet," 2019. [Online]. Available: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/mat-och-dryck/dricksvatten/dricksvattenkvalitet/>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [46] World Health Organization, "Guidelines for Drinking-water Quality", 4th ed. Geneva: WHO, 2011.

- [47] Norrvatten, "Reningsprocessen." [Online]. Available: <https://www.norrvatten.se/Dricksvatten/Produktion-av-vatten/Reningsprocessen/>. [Accessed: 22-Oct-2019].
- [48] J. Ljung, "Re: Köpa bränsle," *Personal email, Stena Oil*, 2019.
- [49] M. Larsson, "Avskiljning av dieselolja med aktivt kol för dricksvattenrening," 2008.

Bilaga 1 – Spädningar hybridolja (RMD80)

Stamlösning:

$$V_{RMD80} = 0,1 \text{ ml}$$

$$\rho_{RMD80} = 0,901 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{RMD80} = V_{RMD80} * \rho_{RMD80} = 0,1 * 0,901 = 0,0901 \text{ g}$$

$$V_{rävatten} = 10 \text{ l}$$

$$C_{stamlösning} = \frac{m}{V} = \frac{0,0901}{10} = 0,00901 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 9\,010 \mu\text{g/l}$$

Provberedning lukttröskelförsök:

$$C_{stamlösning} * V_{stamlösning} = C_{prov} * V_{prov}$$

$$C_{stamlösning} = 9\,010 \frac{\mu\text{g RMD80}}{\text{l}}$$

$$C_{prov} = 1 - 10 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$$

$$V_{prov} = 1 \text{ l}$$

$$V_{stamlösning} = \frac{C_{prov} * V_{prov}}{C_{stamlösning}} = \frac{C_{prov} * 1}{9\,010}$$

Bilaga 2 – Spädningar MGO

Stamlösningens koncentration vid både luktröskelförsök samt PAK-försök:

$$V_{MGO} = 0,1 \text{ ml}$$

$$\rho_{MGO} = 0,872 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{MGO} = V_{MGO} * \rho_{MGO} = 0,1 * 0,872 = 0,0872 \text{ g}$$

$$V_{rävatten} = 10 \text{ l}$$

$$C_{stamlösning} = \frac{m}{V} = \frac{0,0872}{10} = 0,00872 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 8\,720 \mu\text{g/l}$$

Provberedning luktröskelförsök

Provkoncentrationer baserade på total tillsatt mängd MGO:

$$C_{stamlösning} * V_{stamlösning} = C_{prov} * V_{prov}$$

$$C_{stamlösning} = 8\,720 \frac{\mu\text{g MGO}}{\text{l}}$$

$$C_{prov} = 1 - 10 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$$

$$V_{prov} = 1 \text{ l}$$

$$V_{stamlösning} = \frac{C_{prov} * V_{prov}}{C_{stamlösning}}$$

Provkoncentrationer baserad på den mängd MGO som löst sig i vattnet:

$$C_{stamlösning} = 200 \frac{\mu\text{g löst MGO}}{\text{l}}$$

Eftersom tillsatt halt MGO är 8 720 $\mu\text{g/l}$ kommer maximal mängd MGO att lösa sig i vattnet, vilket är 200 $\mu\text{g/l}$.

$$C_{prov} = 2 - 20 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$$

$$V_{prov} = 1 \text{ l}$$

$$V_{stamlösning} = \frac{C_{prov} * V_{prov}}{C_{stamlösning}}$$

Provberedningar PAK-försök:

$$C_{stamlösning} * V_{stamlösning} = C_{prov} * V_{prov}$$

$$C_{stamlösning} = 8\,720 \frac{\mu\text{g MGO}}{\text{l}}$$

$$C_{prov}: C_1 = 200 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}, C_2 = 4\,360 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \text{ \& } C_3 = 8\,720 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$$

$$V_{prov} = 1 \text{ l}$$

$$V_{stamlösning} = \frac{C_{prov} * V_{prov}}{C_{stamlösning}} = \frac{C_{prov} * 1}{8\,720} = V_1 = 23 \text{ ml}, V_2 = 0,5 \text{ l} \text{ \& } V_3 = 1 \text{ l}$$

Bilaga 3 – Spädningar bensin

Stamlösning:

$$V_{bensin} = 0,4 \text{ ml}$$

$$\rho_{bensin} = 0,755 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{bensin} = V_{bensin} * \rho_{bensin} = 0,4 * 0,755 = 0,302 \text{ g}$$

$$V_{råvatten} = 1 \text{ l}$$

$$C_{stamlösning} = \frac{m}{V} = \frac{0,302}{1} = 0,302 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 302\,000 \mu\text{g/l}$$

Provberedning PAK-försök:

$$C_{stamlösning} * V_{stamlösning} = C_{prov} * V_{prov}$$

$$C_{stamlösning} = 302\,000 \frac{\mu\text{g bensin}}{\text{l}}$$

$$C_{prov} = 200 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$$

$$V_{prov} = 1 \text{ l}$$

$$V_{stamlösning} = \frac{C_{prov} * V_{prov}}{C_{stamlösning}} = \frac{200 * 1}{302\,000} = 662 \mu\text{l}$$

Bilaga 4 – Analysresultat B-L

Analys	Resultat	Enhet	Måto.	Metod/ref	
Bensen	0.0033	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Toluen	0.051	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Etylbensen	0.0094	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
M/P/O-Xylen	0.045	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Summa TEX	0.11	mg/l		LidMiljö.0A.01.09/15	a)
Alifater >C5-C8	< 0.020	mg/l	35%	SPI 2011	a)
Alifater >C8-C10	< 0.020	mg/l	35%	SPI 2011	a)
Alifater >C10-C12	< 0.020	mg/l	20%	Intern metod	a)
Alifater >C5-C12	< 0.030	mg/l		Intern metod	a)
Alifater >C12-C16	< 0.020	mg/l	20%	Intern metod	a)
Alifater >C16-C35	< 0.050	mg/l	25%	Intern metod	a)
Alifater >C12-C35	< 0.050	mg/l		Intern metod	a)
Aromater >C8-C10	0.041	mg/l	30%	SPI 2011	a)
Aromater >C10-C16	0.019	mg/l	20%	Intern metod	a)
Aromater >C16-C35	< 0.0050	mg/l	25%	Intern metod	a)
Oljetyp < C10	Bensin				a)*
Oljetyp > C10	Utgår				a)*
Bens(a)antracen	0.017	µg/l	25%	Intern metod	a)
Krysen	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(b,k)fluoranten	< 0.020	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(a)pyren	0.011	µg/l	30%	Intern metod	a)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Dibens(a,h)antracen	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Summa cancerogena PAH	< 0.20	µg/l		Intern metod	a)
Naftalen	8.8	µg/l	30%	Intern metod	a)
Acenaftylen	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Acenaften	0.048	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fluoren	0.22	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fenantren	0.22	µg/l	25%	Intern metod	a)
Antracen	0.13	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fluoranten	0.020	µg/l	25%	Intern metod	a)
Pyren	0.029	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(g,h,i)perylen	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Summa övriga PAH	9.5	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med låg molekylvikt	8.9	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med medelhög molekylvikt	0.61	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med hög molekylvikt	< 0.30	µg/l		Intern metod	a)

Bilaga 5 – Analysresultat B-H

Analys	Resultat	Enhet	Måto.	Metod/ref	
Bensen	1.3	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Toluen	15	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Etylbensen	2.4	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
M/P/O-Xylen	10	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Summa TEX	28	mg/l		LidMiljö.0A.01.09/15	a)
Alifater >C5-C8	1.0	mg/l	35%	SPI 2011	a)
Alifater >C8-C10	0.12	mg/l	35%	SPI 2011	a)
Alifater >C10-C12	0.24	mg/l	20%	Intern metod	a)
Alifater >C5-C12	1.4	mg/l		Intern metod	a)
Alifater >C12-C16	<0.20	mg/l	20%	Intern metod	a)
Alifater >C16-C35	<0.50	mg/l	25%	Intern metod	a)
Alifater >C12-C35	< 0.60	mg/l		Intern metod	a)
Aromater >C8-C10	6.6	mg/l	30%	SPI 2011	a)
Aromater >C10-C16	0.11	mg/l	20%	Intern metod	a)
Aromater >C16-C35	<0.050	mg/l	25%	Intern metod	a)
Oljetyp < C10	Bensin				a)*
Oljetyp > C10	Ospec				a)*
Bens(a)antracen	<0.10	µg/l	25%	Intern metod	a)
Krysen	<0.10	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(b,k)fluoranten	<0.20	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(a)pyren	<0.10	µg/l	30%	Intern metod	a)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	<0.10	µg/l	30%	Intern metod	a)
Dibens(a,h)antracen	<0.10	µg/l	30%	Intern metod	a)
Summa cancerogena PAH	<1.0	µg/l		Intern metod	a)
Naftalen	160	µg/l	30%	Intern metod	a)
Acenaftylen	<0.10	µg/l	25%	Intern metod	a)
Acenaften	<0.50	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fluoren	0.77	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fenantren	0.70	µg/l	25%	Intern metod	a)
Antracen	0.35	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fluoranten	<0.10	µg/l	25%	Intern metod	a)
Pyren	<0.10	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(g,h,i)perylen	<0.10	µg/l	30%	Intern metod	a)
Summa övriga PAH	170	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med låg molekylvikt	160	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med medelhög molekylvikt	<2.0	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med hög molekylvikt	<2.0	µg/l		Intern metod	a)
Kemisk kommentar Höjd rapporteringsgräns för PAH, alifater och aromater på grund av svår matris.					

Bilaga 6 – Analysresultat M-L

Analys	Resultat	Enhet	Måto.	Metod/ref	
Bensen	< 0.00050	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Toluen	< 0.0010	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Etylbensen	< 0.0010	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
M/P/O-Xylen	< 0.0010	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Summa TEX	< 0.0020	mg/l		LidMiljö.0A.01.09/15	a)
Alifater >C5-C8	< 0.020	mg/l	35%	SPI 2011	a)
Alifater >C8-C10	< 0.020	mg/l	35%	SPI 2011	a)
Alifater >C10-C12	< 0.020	mg/l	20%	Intern metod	a)
Alifater >C5-C12	< 0.030	mg/l		Intern metod	a)
Alifater >C12-C16	< 0.020	mg/l	20%	Intern metod	a)
Alifater >C16-C35	0.12	mg/l	25%	Intern metod	a)
Alifater >C12-C35	0.13	mg/l		Intern metod	a)
Aromater >C8-C10	< 0.010	mg/l	30%	SPI 2011	a)
Aromater >C10-C16	< 0.010	mg/l	20%	Intern metod	a)
Aromater >C16-C35	< 0.0050	mg/l	25%	Intern metod	a)
Oljetyp < C10	Utgår				a)*
Oljetyp > C10	Ospec				a)*
Bens(a)antracen	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Krysen	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(b,k)fluoranten	< 0.020	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(a)pyren	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Dibens(a,h)antracen	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Summa cancerogena PAH	< 0.20	µg/l		Intern metod	a)
Naftalen	0.067	µg/l	30%	Intern metod	a)
Acenaftylen	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Acenaften	0.023	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fluoren	0.052	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fenantren	0.020	µg/l	25%	Intern metod	a)
Antracen	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fluoranten	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Pyren	0.015	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(g,h,i)perylen	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Summa övriga PAH	< 0.30	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med låg molekylvikt	< 0.20	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med medelhög molekylvikt	< 0.30	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med hög molekylvikt	< 0.30	µg/l		Intern metod	a)

Bilaga 7 – Analysresultat M-H

Analys	Resultat	Enhet	Måto.	Metod/ref	
Bensen	0.0035	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Toluen	0.0020	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Etylbensen	0.0012	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
M/P/O-Xylen	0.0040	mg/l	30%	LidMiljö.0A.01.09	a)
Summa TEX	0.0072	mg/l		LidMiljö.0A.01.09/15	a)
Alifater >C5-C8	< 0.020	mg/l	35%	SPI 2011	a)
Alifater >C8-C10	< 0.020	mg/l	35%	SPI 2011	a)
Alifater >C10-C12	0.028	mg/l	20%	Intern metod	a)
Alifater >C5-C12	0.048	mg/l		Intern metod	a)
Alifater >C12-C16	0.19	mg/l	20%	Intern metod	a)
Alifater >C16-C35	0.90	mg/l	25%	Intern metod	a)
Alifater >C12-C35	1.1	mg/l		Intern metod	a)
Aromater >C8-C10	0.022	mg/l	30%	SPI 2011	a)
Aromater >C10-C16	0.032	mg/l	20%	Intern metod	a)
Aromater >C16-C35	< 0.0050	mg/l	25%	Intern metod	a)
Oljetyp < C10	Bensin				a)*
Oljetyp > C10	Ospec petroleumkolväte				a)*
Bens(a)antracen	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Krysen	0.016	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(b,k)fluoranten	< 0.020	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(a)pyren	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Dibens(a,h)antracen	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Summa cancerogena PAH	< 0.20	µg/l		Intern metod	a)
Naftalen	4.8	µg/l	30%	Intern metod	a)
Acenaftilen	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Acenaften	0.31	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fluoren	0.74	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fenantren	0.42	µg/l	25%	Intern metod	a)
Antracen	< 0.010	µg/l	25%	Intern metod	a)
Fluoranten	0.019	µg/l	25%	Intern metod	a)
Pyren	0.13	µg/l	25%	Intern metod	a)
Benso(g,h,i)perylen	< 0.010	µg/l	30%	Intern metod	a)
Summa övriga PAH	6.5	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med låg molekylvikt	5.2	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med medelhög molekylvikt	1.3	µg/l		Intern metod	a)
Summa PAH med hög molekylvikt	< 0.30	µg/l		Intern metod	a)