

## HELGUVÍK

**Dreifing mengunarefna í Faxaflóa  
frá vothreinsibúnaði fyrirhugaðs  
álvers í Helguvík.**

Unnið fyrir Norðurál hf.

06.15  
September 2006

---

## **HELGUVÍK**

**Dreifing mengunarefna í Faxaflóa frá  
vothreinsibúnaði fyrirhugaðs álvers í  
Helguvík.**

Unnið fyrir Norðurál hf.

06.15  
September 2006



15.09.2006

Hr. verkefnisstjóri  
Haukur Einarsson  
Verkefnisstofan Hönnun hf.  
Grensásvegi 1  
108 Reykjavík

## HELGUVÍK

### Dreifing mengunarefna í Faxaflóa frá vothreinsibúnaði fyrirhugaðs álvers í Helguvík.

Meðfylgjandi skýrsla greinir frá niðurstöðum útreikninga á dreifingu mengunar í Faxaflóa frá vothreinsibúnaði fyrirhugaðs álvers í Helguvík. Við útreikningana var notað sjávarstraumaforrit sem þróað hefur verið á Verkefnisstofunni Vatnaskilum sf. Útreikningar miðast við að ársframleiðsla áls verði 250.000 tonn.

#### Helstu niðurstöður eru :

- 1) Styrkur svifagna, flúors, fosfórs og köfnunarefna nær bakgrunnsstyrk í sjónum í næsta nágrenni útrásar.
- 2) Styrkur súrefnis fellur eingöngu undir metunarmörk á litlu svæði umhverfis útrásir.
- 3) Vegna áhrifa frá karbónatkerfi sjávar þá lækkar sýrustig sjávar óverulega.
- 4) Í skýrslunni er sýnd dreifing PAH efna fyrir PAH-16 og B(a)P. Reikningar eru gerðir fyrir tvo sethraða sem svara til kornastærðar um 1  $\mu$ m og 10  $\mu$ m. Styrkur PAH er einnig gefinn í botnseti. Fyrir vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls þá falla til 134 kg/ári af PAH-16 og 1,3 kg/ári af B(a)P. Gert er ráð fyrir að um 90% af PAH-16 sé í upplausn og 10% sé bundið ögnum af kornstærð 1  $\mu$ m og 10  $\mu$ m. Tilsvarandi tölur fyrir B(a)P eru að um 10% eru í upplausn en um 90% bundið ögnum.

Við vonum að ofangreindar upplýsingar komi að gagni og erum að sjálfsögðu reiðubúnir til frekara samstarfs ef óskað er.

Virðingarfyllst,

  
Snorri Páll Kjartan

  
Eric M. Myer

## EFNISYFIRLIT

EFNISYFIRLIT .....	3
MYNDASKRÁ .....	4
TÖFLUSKRÁ .....	4
1. INNGANGUR.....	5
2. FRAMLEIÐSLUGÖGN .....	5
3. STRAUMLÍKAN.....	6
4. REIKNILÍKAN FYRIR DREIFINGU MENGUNAR.....	7
4.1 Pynningarlínur .....	8
4.2 Svifagnir .....	8
4.3 Flúor .....	8
4.4 Köfnunarefni .....	8
4.5 Fosfór .....	8
4.6 Súrefni .....	8
4.7 Sýrustig (pH) .....	8
4.8 Fjölhringa kolvatnsefni (PAH) .....	9
5. NIÐURSTÖÐUR .....	10
HEIMILDASKRÁ.....	11
Viðauki 1 Oxunarhraði SO <sub>2</sub> .....	13
Viðauki 2 Karbónatkerfi sjávar.....	15
MYNDIR.....	20
ENGLISH SUMMARY .....	32

## MYNDASKRÁ

1. Reiknuð þynning. Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls.....	21
2. Reiknaður styrkur súrefnis. Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls.....	22
3. Reiknað sýrustig (pH). Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls.....	23
4. Reiknaður styrkur PAH-16 með þvermáli agna 1 míkrometri. Vothreinsun fyrir 250.000..... tonna ársframleiðslu áls .....	24
5. Reiknaður styrkur BaP með þvermáli agna 1 míkrometri. Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls .....	25
6. Reiknaður styrkur PAH-16 á botni með þvermáli agna 1 míkrometri. Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls .....	26
7. Reiknaður styrkur BaP á botni með þvermáli agna 1 míkrometri. Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls .....	27
8. Reiknaður styrkur PAH-16 með þvermáli agna 10 míkrometrar. Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls .....	28
9. Reiknaður styrkur BaP með þvermáli agna 10 míkrometrar. Vothreinsun fyrir 250.000 .....	29
10. Reiknaður styrkur PAH-16 á botni með þvermáli agna 10 míkrometrar. Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls.....	30
11. Reiknaður styrkur BaP á botni með þvermáli agna 10 míkrometrar. Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls.....	31

## TÖFLUSKRÁ

1. Styrkur í frárennsli .....	5
2. Bakgrunnsstyrkur í sjó .....	5
3. Samband SO <sub>2</sub> og sýrustigs .....	17

## 1. INNGANGUR

Skýrsla þessi greinir frá útreikningum á dreifingu mengunar í Faxaflóa, sem stafar af frárennsli frá vothreinsibúnaði fyrirhugaðs álvers í Helguvík. Staðsetning útrása er sýnd á mynd 1. Við útreikninga á dreifingu mengunar er notað sjávarstraumalíkan sem þróað hefur verið á Verkfræðistofunni Vatnaskilum sf. Útreikningar miðast við að ársframleiðsla áls verði 250.000 tonn.

## 2. FRAMLEIÐSLUGÖGN

Útreikningar á dreifingu mengunar verða gerðir fyrir eftirfarandi efni:

1. Brennisteinsdíoxíð (SO<sub>2</sub>)
2. Flúor (F)
3. Súrefni (O<sub>2</sub>)
4. Köfnunarefni (N)
5. Fosfór (P)
6. Fjölhringa kolvatnsefni (PAH)
  - a) PAH-16
  - b) B(a)P
7. Svifagnir
8. Sýrustig (pH)

Styrkur ofangreindra efna í frárennsli er gefinn í töflu 1. Til samanburðar er bakgrunnsstyrkur efna sýndur í töflu 2 og hefur honum verið bætt við styrk í útrennsli sem eingöngu stafar af álframleiðslunni.

**TAFLA 1 Styrkur í frárennsli**

Framleiðsla tonn/ári	Frárennsli m <sup>3</sup> /klst/tonn	Frárennsli m <sup>3</sup> /klst	Frárennsli m <sup>3</sup> /sek	SO <sub>2</sub> mg/L	Flúor mg/L	PAH- 16 µg/L	BaP µg/L	Svifryk mg/L	Köfnunar- efni, µg/L	Fosfór µg/L	Hiti °C
250000	0,02185	5462,5	1,5	120	1,9	2,8	0,028	1,1	210	25	15

**TAFLA 2 Bakgrunnsstyrkur í sjó**

Flúor mg/L	PAH µg/L	Svifryk mg/L	pH	Súrefni mg/L	Köfnunarefni µg/L	Fosfór µg/L
1,3		0,3	8,3	9,0	60*	10*

\* sumar gildi

### 3. STRAUMLÍKAN

Straumlíkan af Faxaflóa tekur tillit til sjávarfalla- og vindstrauma í flóanum. Strandlengjan frá Sandgerði á Reykjanesi að Malarrífi á Snæfellsnesi myndar jaðar svæðisins sem síðan afmarkast af línu þvert yfir flóann frá Malarrífi að Sandgerði. Sjávarhæð á þeim jaðri er áætluð út frá mælingum á sjávarhæð í Reykjavíkurhöfn. Útslag og fasamunur eru metin þannig að mæld og reiknuð sjávarhæð falli sem best saman. Niðurstaða þessa samanburðar er að útslag á röndinni er 93% af útslagi í Reykjavíkurhöfn og að fasamunur þvert yfir flóann er um fimmtán mínútur.

Straumlíkanið tekur tillit til sjávarfalla- og vindstrauma í flóanum. Samfellilíkingin lýsir varðveislu massa vatnsins. Hún er:

$$\frac{\partial}{\partial x}(uH) + \frac{\partial}{\partial y}(vH) + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Hér er  $H=h + \eta$  heildardýpi vatnsins,  $h$  er meðaldýpi á hverjum stað,  $\eta$  er breyting á vatnsborði frá meðalstöðu þess,  $u$  og  $v$  eru meðalstraumhraðar í stefnu  $x$  – og  $y$ -áss. Skriðþungalíkingarnar lýsa varðveislu skriðþunga í stefnu  $x$ - og  $y$ -áss, þ.e. öðru lögmáli Newtons. Þær eru:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + fv - \frac{g}{HC^2}(u^2 + v^2)^{1/2} u + \frac{k}{H} W_x / W - \frac{Q}{H} u \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - fu - \frac{g}{HC^2}(u^2 + v^2)^{1/2} v + \frac{k}{H} W_y / W - \frac{Q}{H} v \quad (3)$$

Hér er  $g$  þyngdarhröðunin,  $C$  er Chezy – stuðull sem lýsir núningi við botn og  $W_x$  og  $W_y$  eru vindhraðar í stefnu  $x$ - og  $y$ -áss. Coriolis stuðullinn,  $f$ , lýsir stærð Corioliskrafts sem stafar af snúningi jarðar og er skilgreindur með:

$$f = 2\omega \sin \varphi \quad (4)$$

þar sem  $\omega$  er snúningshraði jarðar en  $\varphi$  breiddargráða athugunarstaða. Vindstuðullinn  $k$  lýsir styrk vindspennu á yfirborði sjávar og er skilgreindur með líkingunni:

$$k = \frac{\rho_a C_D}{\rho} \quad (5)$$

Þar sem  $\rho_a$  er eðlismassi andrúmslofts,  $\rho$  er eðlismassi sjávar og  $C_D$  er svokallaður skerspennustuðull yfirborðs. Saman mynda þessar þrjár líkingar þ.e. (1), (2) og (3) svokallaðar grunnsjávarlíkingar, en þær byggjast á þeirri forsendu að láréttir lengdarkvarðar streymisins séu mun stærri en vatnsdýpið. Skerspenna við botn reiknast samkvæmt eftirfarandi líkingu:

$$\tau_b = \frac{\rho g}{C^2} (u^2 + v^2)^{1/2} (u, v) \quad (6)$$

Til að kvarða líkanið var stuðst við tiltækar straummælingar á öllu Faxaflóasvæðinu. Þær mælingar ná frá árinu 1967 til dagsins í dag. Fyrstu mælingar voru gerðar af Straumfræðistöð Orkustofnunar fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík (Orkustofnun, 1967) þar sem mældir voru straumar í Fossvogi og Skerjafirði. Á árinu 1970 framkvæmdi fyrirtækið Isotopcentralen fyrir Gatnamálastjóra viðamiklar mælingar í Skerjafirði og í sundunum norðan Reykjavíkur. Þar á meðal voru fimm straummælingar gerðar af Hafrannsóknarstofnun á svæðinu (Isotopcentralen, 1971). Á árinu 1989 voru gerðar tvær straummælingar fyrir Borgarverkfræðinginn í Reykjavík (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1989). Annars vegar var gerð straummæling á stórstraumsflóði undir Gullinbrú og hins vegar var mældur straumur við eiði út í Geldinganes. Viðamestu straummælingar á svæðinu sá Verkfræðistofan Vatnaskil um fyrir Gatnamálastjóra, en mælingar voru framkvæmdar af Hafrannsóknarstofnun og Orkustofnun (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1994). Á árinu 1998 voru framkvæmdar viðbótarmælingar á straumum í Sundunum norðan Reykjavíkur (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1999). Í því sambandi var mælt streymi í rennslisþversniðum og sjávarhraði var mældur við útrásarenda í mismunandi dýpum. Sjávarstreymi var mælt í þremur þversniðum.

Í Hafnarfirði hafa verið gerðar svipaðar straummælingar í tengslum við hönnun holræsaútrása. Hafrannsóknarstofnun framkvæmdi straummælingar á fjórum stöðum í Hafnarfirði, en þær voru út af Görðum á Álftanesi, Laugarnesi, Hvaleyrri og við Helgasker (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1990). Á árinu 1994 framkvæmdi Orkustofnun straummælingar fyrir Hafnarfjarðarbæ og var þá mælt með straum sjá í sniði sem nær frá Hvaleyrarhöfða að Helgaskeri og þaðan til lands á Álftanesi. Mælt var í 12 klst. á stórstreymi og smástreymi (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1995). Að lokum má nefna að einnig er stuðst við straummælingar Hafrannsóknarstofnunar á fjórum stöðum við Keflavík og Njarðvík í tengslum við holræsaathuganir (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1993). Auk þess eru til mælingar frá Akranesi, þar sem straumur var mældur í um mánaðar tíma.

Allar ofangreindar straummælingar hafa að minna eða meira leyti verið notaðar til kvörðunar líkansins. Til að fella reiknuð gildi á straumhraða og stefnu sem best að mælingum er botnúningsstuðli, og yfirborðsskerspennustuðli vegna vindstrauma breytt þar til best samræmi fékkst. Eftirfarandi stærðir gáfu bestu niðurstöður fyrir núningsstuðulinn.  $C = 20D^{1/6}$  þar sem D er meðaldýpi. Skerspennustuðull yfirborðs er  $2,5 \cdot 10^{-3}$ . Báðar þessar stærðir eru innan þeirra marka, sem fræðilegir útreikningar sýna. Eins og sést af framansögðu hefur reiknilíkanið verið kvarðað með viðamiklum straummælingum í Faxaflóa.

#### 4. REIKNILÍKAN FYRIR DREIFINGU MENGUNAR

Reiknilíkan fyrir dreifingu mengunar á líkansvæðinu byggist á því að leysa eftirfarandi líkingu:

$$\frac{\partial}{\partial x}(HD_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(HD_y \frac{\partial c}{\partial y}) - Hu \frac{\partial c}{\partial x} - Hv \frac{\partial c}{\partial y} = H \frac{\partial c}{\partial t} - Qc_w \quad (7)$$

en hún lýsir varðveislu massa í upplausn í sjónum. Hér getur c verið styrkur uppleystra efna.  $D_x$  og  $D_y$  eru dreifistuðlar. Q er rennslismagn í útrás og  $c_w$  er styrkur efna í útrás.

Dreifistuðlar mengunar eru ákvarðaðir með því að bera saman útreikninga og mælingar á styrk efna í sjónum. Fyrstu mælingar á styrk efna voru gerðar af Straumfræðistöð Orkustofnunar fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík (1967) en þá var litarefni sett í sjóinn í Skerjafirði og fylgst með dreifingu þess. Á árinu 1970 framkvæmdi Isotopcentralen svipaða rannsókn fyrir Gatnamálastjórnann (Isotopcentralen, 1971) en þá var geislavirku litarefni sleppt í sjóinn. Hafrannsóknarstofnun framkvæmdi fyrir Gatnamálastjórnann viðamiklar mælingar á



næringarefnum í sjó undan Ánanaustum á árinu 1995 (Hafrannsóknarstofnun, 1995). Að mestu var stuðst við mælingar Hafrannsóknarstofnunar til ákvörðunar á dreifistuðlum mengunar í sjó. Við samanburð útreikninga og mælinga fengust dreifistuðlarnir  $10 \text{ m}^2/\text{s}$  í straumstefnu í sjónum og  $5 \text{ m}^2/\text{s}$  þvert á hana.

Niðurstöður dreifingarspá fyrir einstök efni sem gefin eru í töflu 1 eru eftirfarandi:

#### 4.1 Þynningarlínur

Þynningarlínur sýna hversu mikið frárennslið þynnist út frá útrás vegna sjávarstrauma og blöndunar. Niðurstöður fyrir þynningarlínur eru sýndar á mynd 1. Af myndum sést að í næsta nágrenni útrásar þá hefur styrkur minnkað hundraðfalt.

#### 4.2 Svifagnir

Styrkur svifagna í útrás er samkvæmt töflu 1  $1,1 \text{ mg/L}$  og bakgrunnsstyrkur í sjó er  $0,3 \text{ mg/L}$ . Þynningarlínur sem gefnar eru á mynd 1 sýna að styrkur svifagna verður eingöngu yfir bakgrunnsstyrk í sjónum á litlu svæði umhverfis útrásir.

#### 4.3 Flúor

Styrkur flúors í útrennsli er  $1,9 \text{ mg/L}$  samkvæmt töflu 1 og bakgrunnsstyrkur í sjónum er  $1,3 \text{ mg/L}$ . Samkvæmt útreiknuðum þynningarlínum verður styrkur flúors eingöngu yfir bakgrunnsstyrk í nágrenni útrása.

#### 4.4 Köfnunarefni

Styrkur köfnunarefnis í útrennsli samkvæmt töflu 1 er  $210 \text{ } \mu\text{g/L}$ . Þynningarlínur á mynd 1 sýna að styrkur köfnunarefnis verður eingöngu yfir bakgrunnsstyrk í sjó,  $60 \text{ } \mu\text{g/L}$ , á litlu svæði umhverfis útrás.

#### 4.5 Fosfór

Styrkur fósfórs í útrás er  $25 \text{ } \mu\text{g/L}$ . Styrkur fósfórs verður eingöngu yfir bakgrunnsstyrk í sjónum,  $10 \text{ } \mu\text{g/L}$ , í nágrenni útrásar.

#### 4.6 Súrefni

Styrkur brennisteinsdíoxíðs ( $\text{SO}_2$ ) í frárennsli er  $120 \text{ mg/L}$ .  $\text{SO}_2$  hvarfast í sjónum og myndar brennisteinssýrling ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) sem aftur hvarfast við súrefni í sjónum og myndar brennisteinssýru ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Þessi efnahvörf eru frekar hæg, sjá viðauka 1, en gert verður ráð fyrir við útreikninga að hvörfin gerist strax við útrásarenda, en það gefur svartsýnismat á súrefnisþörf hvarfanna. Fyrir hver  $64 \text{ g}$  af  $\text{SO}_2$  þarf  $16 \text{ g}$  af  $\text{O}_2$ . Þetta svarar til að súrefnisþörf við útrásarenda sé  $30 \text{ mg/L}$ . Gert er ráð fyrir að sjórinn sé súrefnismettaður með styrk  $9 \text{ mg/L}$  eins og sýnt er í töflu 2. Niðurstöður útreikninga eru sýndar á mynd 2. Styrkur súrefnis fer hvergi undir  $8 \text{ mg/L}$ .

#### 4.7 Sýrustig (pH)

Samkvæmt framansögðu þá hvarfast brennisteinsdíoxíð í sjónum en við það hvarf myndast brennisteinssýrlingur og síðan brennisteinssýra og sýrustig sjávar lækkar. Vegna karbónatkerfisins í sjónum dregur verulega úr þessari lækkun á sýrustigi, sjá viðauka 2. Til að reikna sýrustig sjávar þarf fyrst að finna dreifingu á brennisteinsdíoxíði ( $\text{SO}_2$ ) í sjónum og þá er sýrustig gefið sem fall af

styrk SO<sub>2</sub> í töflu í viðauka 2. Óveruleg lökkun sýrustigs á sér eingöngu stað á mjög litlu svæði umhverfis útrás eins og sýnt er á mynd 3.

#### 4.8 Fjölhringa kolvatnsefni (PAH)

Reikningar eru gerðir fyrir tvo sethraða sem svara til kornastærðar um 1 µm og 10 µm. Ekki er reiknað með neinu uppróti, þannig að agnir sem hafa einu sinni botnfallið, rótast ekki upp aftur. Eftirfarandi niðurstöður gefa því svartsýnismat á styrk PAH efna á botni. Fyrir vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls þá falla til 134 kg/ári af PAH-16 og 1,3 kg/ári af B(a)P. Gert er ráð fyrir að um 90% af PAH-16 sé í upplausn og 10% sé bundið ögnum af kornstærð 1 µm og 10 µm. Tilsvarandi tölur fyrir B(a)P eru að um 10% eru í upplausn en um 90% bundið ögnum. Niðurstöður útreikninga eru gefnar á myndum 4 – 7 fyrir kornstærð 1 µm. Myndir 4 og 5 sýna dreifingu á PAH-16 og BaP í upplausn en myndir 6 og 7 sýna reiknaðan styrk á botni. Fyrir kornstærð 10 míkrometra þá eru tilsvarandi niðurstöður útreikninga sýndar á myndum 8 - 11. Myndir 8 og 9 sýna dreifingu í upplausn og loks sýna myndir 10 og 11 styrk PAH-16 og BaP á botni.

## 5. NIÐURSTÖÐUR

### Helstu niðurstöður eru:

- 1) Styrkur svifagna, flúors, fosfórs og köfnunarefna nær bakgrunnsstyrk í sjónum í næsta nágrenni útrásar.
- 2) Styrkur súrefnis fellur eingöngu undir metunarmörk á litlu svæði umhverfis útrásir.
- 3) Vegna áhrifa frá karbónatkerfi sjávar þá lækkar sýrustig sjávar óverulega.
- 4) Reikningar eru gerðir fyrir tvo sethraða sem svara til kornastærðar um 1  $\mu\text{m}$  og 10  $\mu\text{m}$ . Styrkur PAH er einnig gefinn í botnseti. Fyrir vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls þá falla til 134 kg/ári af PAH-16 og 1,3 kg/ári af B(a)P. Gert er ráð fyrir að um 90% af PAH-16 sé í upplausn og 10% sé bundið ögnum af kornstærð 1  $\mu\text{m}$  og 10  $\mu\text{m}$ . Tilsvarandi tölur fyrir B(a)P eru að um 10% eru í upplausn en um 90% bundið ögnum.

## HEIMILDASKRÁ

HAFRANNSÓKNARSTOFNUN FJÖLRIT NR. 9; STEFÁN KRISTMANNSSON, **Hitastig, selta og vatns- og seltubúskapur í Hvalfirði 1947-1978** RANNSÓKNIR Á LÍFRÍKI OG UMHVERFI VIÐ GRUNDARTANGA SKÝRSLA NR.1.

ISOTOPCENTRALEN, 1971; **Recipientundersøgelse ved Reykjavík I 1970** RAPPORT København 16.08.1971. 545.07

ISOTOPCENTRALEN, 1971; **Recipientundersøgelse ved Reykjavík I 1970** KOMPLET BILAGSSAMLING København 16.08.1971. 545.07

Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig Ólafsdóttir, Þórarinn Arnarson, 1995; **Næringarefni í sjó undan Ánanaustum í nóvember 1995.** Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. HAFRANNSÓKNASTOFNUN FJÖLRIT NR. 50.

Orkustofnun, STRAUMFRÆÐISTÖÐ, 1967; **Gatnamálastjórninn í Reykjavík Straumrannsókn í Fossvogi Skýrsla nr. 1 um niðurstöður rannsókna.** Ágúst 1967

Svend-Aage Malmberg og Jóhannes Briem: 1985; **STRAUMMÆLINGAR Í HVALFIRÐI Í JÚNÍ – ÁGÚST 1978** No. 4/85 Maí 1985.

Unnsteinn Stefánsson, (1991); HAFFRÆÐI I Háskólaútgáfan Reykjavík.

Unnsteinn Stefánsson, (1994); HAFFRÆÐI II Háskólaútgáfan Reykjavík.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1984, **Reiknilíkan fyrir sjávarmengun. Rannsókn vegna Grafarvogsræsis.** Unnið fyrir Borgarverkfræðing Júní 1984. 84.06.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1989, **Straummælingar í Eiðsvík og við Gullinbrú** Bréf til Stefáns Hermannssonar, aðstoðarborgarverkfræðings. Reykjavík, 27.10.1989.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1990; **Sjávarmengun í Hafnarfirði** Unnið fyrir Hafnarfjarðarbæ. September 1990. 90.15.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1991; **SJÁVARMENGUN FRÁ SKÓLPÚTRÁSUM** Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Desember 1991. 91.11.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1992; **COASTAL CONTAMINATION FROM A WASTEWATER OUTLET OFFSHORE FROM EIÐSGRANDI.** February 1992. Skýrsla no: 92.05..

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1993; **SEWAGE DISPOSAL STUDY U.S.NAVAL STATION KEFLAVIK, ICELAND** Location of wastewater outlets. Prepared for Department of the Navy. Atlantic Division. Naval Facilities Engineering Command. September 1993. 93.04.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1994; **Sjávarstraumar í Faxaflóa og dreifing mengunar vegna útrásar frá Eiðsgranda.** Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Rvk. Desember 1994. 94.17.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1995; **Sjávarstraumar í Hafnarfirði og dreifing mengunar frá fyrirhuguðum útrásum Hafnarfjarðarbæjar.** Janúar 1995. 95.01

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1996; **EIÐSGRANDI. Sjávarmengun frá bráðabirgðaútrás við Ánanaust.** Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík Mars 1996. 96.02.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1999; **Sjávarstraumar í Faxaflóa og dreifing mengunar frá meginútrásum frá Ánanaustum og Laugarnesi.** Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Mars 1999. 99.03.

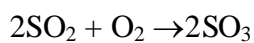
Verkfræðistofan Vatnaskil, 2000; **Dreifing mengunar frá útrás við Ánanaust.** Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Apríl 2000 00.06.

## **Viðauki 1**

**Oxunarhraði SO<sub>2</sub>**

**Oxunarhraði SO<sub>2</sub>**

Efnahvörfin eru:



Hvarfahraðinn er gefinn með:

$$R = -\frac{1}{2} \frac{d[\text{SO}_3]}{dt} = -\frac{d[\text{O}_2]}{dt} = -\frac{1}{2} \frac{d[\text{SO}_2]}{dt}$$

[ ]: styrkur

sem má skrifa á eftirfarandi hátt:

$$R = -\frac{1}{2} \frac{d[\text{SO}_2]}{dt} = K[\text{SO}_2]^x[\text{O}_2]^y$$

þar sem K,x,y eru óþekktir fastar. Ef við gerum ráð fyrir að styrkur súrefnis breytist ekki og að x=1 fæst:

$$\frac{d[\text{SO}_2]}{dt} \cong -K_1[\text{SO}_2]$$

sem er venjuleg veldishnignun og er lýst í straumlíkani með hnignunarstuðli K<sub>1</sub>. Dr. Guðjón Atli Auðunsson hjá Rannsóknarstofnun Fiskiðnaðarins hefur áætlað (munnlegar upplýsingar) að hvarfahraði sé minni en einn dagur.

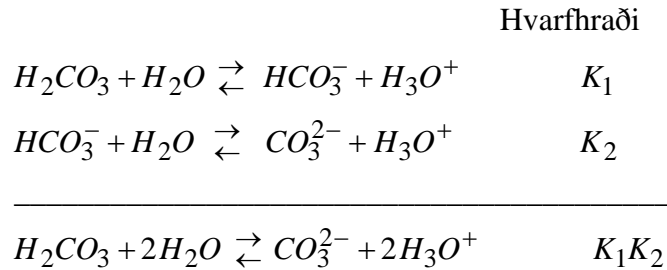
## **Viðauki 2**

**Karbónatkerfi sjávar**



## Karbónatkerfi sjávar

Við höfum eftirfarandi tvö efnahvörf:

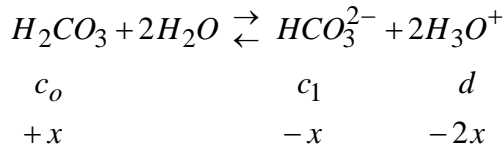


Upphafsstyrkur, sjá Unnsteinn Stefánsson (1991,1994)

$$c_o = [H_2CO_3] = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mól/L}$$

$$c_1 = [CO_3^{2-}] = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mól/L}$$

Ef magni  $d$  af sýru er bætt út í fæst:



Hvarfhraðinn verður:

$$K = K_1K_2 = \frac{(d-2x)^2(c_1-x)}{c_o+x}$$

$$4x^3 - 4(c_1+d)x^2 + (4dc_1 + d^2 + K) + c_oK - d^2c_1 = 0$$

og

$$pH = -\log_{10}(d-2x)$$

Samkvæmt Unnsteini Stefánssyni (1991, 1994) fæst fyrir hvarfhraðann við  $T = 283^\circ\text{K}$  og seltu 35‰.

$$K_1 = 7,45 \cdot 10^{-7}$$

$$K_2 = 4,67 \cdot 10^{-10}$$

Ofangreindar jöfnur eru leystar fyrir  $x$  og  $pH$  og eru niðurstöður gefnar í eftirfarandi töflu.

TAFLA 3 Samband SO<sub>2</sub> og sýrustigs

SO <sub>2</sub> mg/L	[H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ] mól/L	x mól/L	[H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ]-x mól/L	pH
1	1.56E-05	1.56E-05	5.11E-09	8.292
2	3.13E-05	3.12E-05	5.62E-09	8.250
3	4.69E-05	4.69E-05	6.24E-09	8.205
4	6.25E-05	6.25E-05	7.00E-09	8.155
5	7.81E-05	7.81E-05	7.96E-09	8.099
6	9.38E-05	9.37E-05	9.20E-09	8.036
7	1.09E-04	1.09E-04	1.09E-08	7.964
8	1.25E-04	1.25E-04	1.32E-08	7.878
9	1.41E-04	1.41E-04	1.68E-08	7.774
10	1.56E-04	1.56E-04	2.30E-08	7.638
11	1.72E-04	1.72E-04	3.60E-08	7.444
12	1.88E-04	1.87E-04	8.12E-08	7.090
13	2.03E-04	2.00E-04	3.42E-06	5.465
14	2.19E-04	2.00E-04	1.88E-05	4.726
15	2.34E-04	2.00E-04	3.44E-05	4.463
16	2.50E-04	2.00E-04	5.00E-05	4.301
17	2.66E-04	2.00E-04	6.56E-05	4.183
18	2.81E-04	2.00E-04	8.13E-05	4.090
19	2.97E-04	2.00E-04	9.69E-05	4.014
20	3.13E-04	2.00E-04	1.13E-04	3.949
21	3.28E-04	2.00E-04	1.28E-04	3.892
22	3.44E-04	2.00E-04	1.44E-04	3.842
23	3.59E-04	2.00E-04	1.59E-04	3.798
24	3.75E-04	2.00E-04	1.75E-04	3.757
25	3.91E-04	2.00E-04	1.91E-04	3.720
26	4.06E-04	2.00E-04	2.06E-04	3.686
27	4.22E-04	2.00E-04	2.22E-04	3.654
28	4.38E-04	2.00E-04	2.38E-04	3.624
29	4.53E-04	2.00E-04	2.53E-04	3.597
30	4.69E-04	2.00E-04	2.69E-04	3.571
31	4.84E-04	2.00E-04	2.84E-04	3.546
32	5.00E-04	2.00E-04	3.00E-04	3.523
33	5.16E-04	2.00E-04	3.16E-04	3.501
34	5.31E-04	2.00E-04	3.31E-04	3.480
35	5.47E-04	2.00E-04	3.47E-04	3.460
36	5.63E-04	2.00E-04	3.63E-04	3.441
37	5.78E-04	2.00E-04	3.78E-04	3.422
38	5.94E-04	2.00E-04	3.94E-04	3.405
39	6.09E-04	2.00E-04	4.09E-04	3.388
40	6.25E-04	2.00E-04	4.25E-04	3.372
41	6.41E-04	2.00E-04	4.41E-04	3.356
42	6.56E-04	2.00E-04	4.56E-04	3.341
43	6.72E-04	2.00E-04	4.72E-04	3.326
44	6.88E-04	2.00E-04	4.88E-04	3.312
45	7.03E-04	2.00E-04	5.03E-04	3.298
46	7.19E-04	2.00E-04	5.19E-04	3.285
47	7.34E-04	2.00E-04	5.34E-04	3.272
48	7.50E-04	2.00E-04	5.50E-04	3.260
49	7.66E-04	2.00E-04	5.66E-04	3.247
50	7.81E-04	2.00E-04	5.81E-04	3.236

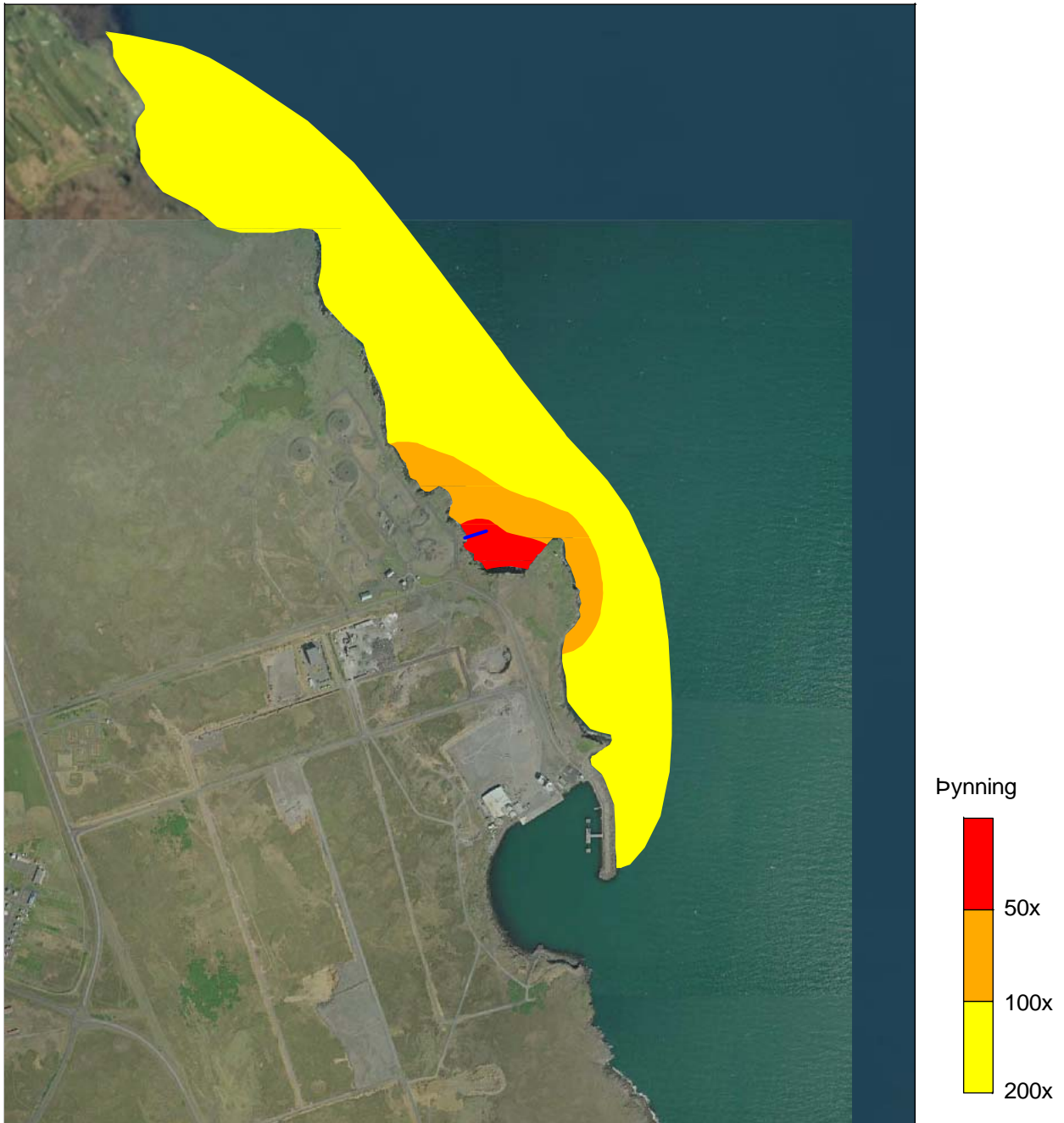
<b>SO<sub>2</sub></b> mg/L	<b>[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]</b> mól/L	<b>x</b> mól/L	<b>[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]<b>x</b></b> mól/L	<b>pH</b>
51	7.97E-04	2.00E-04	5.97E-04	3.224
52	8.13E-04	2.00E-04	6.13E-04	3.213
53	8.28E-04	2.00E-04	6.28E-04	3.202
54	8.44E-04	2.00E-04	6.44E-04	3.191
55	8.59E-04	2.00E-04	6.59E-04	3.181
56	8.75E-04	2.00E-04	6.75E-04	3.171
57	8.91E-04	2.00E-04	6.91E-04	3.161
58	9.06E-04	2.00E-04	7.06E-04	3.151
59	9.22E-04	2.00E-04	7.22E-04	3.142
60	9.38E-04	2.00E-04	7.38E-04	3.132
61	9.53E-04	2.00E-04	7.53E-04	3.123
62	9.69E-04	2.00E-04	7.69E-04	3.114
63	9.84E-04	2.00E-04	7.84E-04	3.105
64	1.00E-03	2.00E-04	8.00E-04	3.097
65	1.02E-03	2.00E-04	8.16E-04	3.089
66	1.03E-03	2.00E-04	8.31E-04	3.080
67	1.05E-03	2.00E-04	8.47E-04	3.072
68	1.06E-03	2.00E-04	8.63E-04	3.064
69	1.08E-03	2.00E-04	8.78E-04	3.056
70	1.09E-03	2.00E-04	8.94E-04	3.049
71	1.11E-03	2.00E-04	9.09E-04	3.041
72	1.13E-03	2.00E-04	9.25E-04	3.034
73	1.14E-03	2.00E-04	9.41E-04	3.027
74	1.16E-03	2.00E-04	9.56E-04	3.019
75	1.17E-03	2.00E-04	9.72E-04	3.012
76	1.19E-03	2.00E-04	9.88E-04	3.005
77	1.20E-03	2.00E-04	1.00E-03	2.999
78	1.22E-03	2.00E-04	1.02E-03	2.992
79	1.23E-03	2.00E-04	1.03E-03	2.985
80	1.25E-03	2.00E-04	1.05E-03	2.979
81	1.27E-03	2.00E-04	1.07E-03	2.972
82	1.28E-03	2.00E-04	1.08E-03	2.966
83	1.30E-03	2.00E-04	1.10E-03	2.960
84	1.31E-03	2.00E-04	1.11E-03	2.954
85	1.33E-03	2.00E-04	1.13E-03	2.948
86	1.34E-03	2.00E-04	1.14E-03	2.942
87	1.36E-03	2.00E-04	1.16E-03	2.936
88	1.38E-03	2.00E-04	1.18E-03	2.930
89	1.39E-03	2.00E-04	1.19E-03	2.924
90	1.41E-03	2.00E-04	1.21E-03	2.919
91	1.42E-03	2.00E-04	1.22E-03	2.913
92	1.44E-03	2.00E-04	1.24E-03	2.907
93	1.45E-03	2.00E-04	1.25E-03	2.902
94	1.47E-03	2.00E-04	1.27E-03	2.897
95	1.48E-03	2.00E-04	1.28E-03	2.891
96	1.50E-03	2.00E-04	1.30E-03	2.886
97	1.52E-03	2.00E-04	1.32E-03	2.881
98	1.53E-03	2.00E-04	1.33E-03	2.876
99	1.55E-03	2.00E-04	1.35E-03	2.871
100	1.56E-03	2.00E-04	1.36E-03	2.866

<b>SO<sub>2</sub></b> mg/L	<b>[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]</b> mól/L	<b>x</b> mól/L	<b>[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]-x</b> mól/L	<b>pH</b>
101	1.58E-03	2.00E-04	1.38E-03	2.861
102	1.59E-03	2.00E-04	1.39E-03	2.856
103	1.61E-03	2.00E-04	1.41E-03	2.851
104	1.63E-03	2.00E-04	1.43E-03	2.846
105	1.64E-03	2.00E-04	1.44E-03	2.841
106	1.66E-03	2.00E-04	1.46E-03	2.837
107	1.67E-03	2.00E-04	1.47E-03	2.832
108	1.69E-03	2.00E-04	1.49E-03	2.828
109	1.70E-03	2.00E-04	1.50E-03	2.823
110	1.72E-03	2.00E-04	1.52E-03	2.819
111	1.73E-03	2.00E-04	1.53E-03	2.814
112	1.75E-03	2.00E-04	1.55E-03	2.810
113	1.77E-03	2.00E-04	1.57E-03	2.805
114	1.78E-03	2.00E-04	1.58E-03	2.801
115	1.80E-03	2.00E-04	1.60E-03	2.797
116	1.81E-03	2.00E-04	1.61E-03	2.793
117	1.83E-03	2.00E-04	1.63E-03	2.788
118	1.84E-03	2.00E-04	1.64E-03	2.784
119	1.86E-03	2.00E-04	1.66E-03	2.780
120	1.88E-03	2.00E-04	1.68E-03	2.776

**MYNDIR**

Reiknuð þynning

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframléiðslu áls



Mkv. 1:20.000

0 0,5 1 km



útrás

Reiknaður styrkur súrefnis

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframléiðslu áls



Mkv. 1:20.000

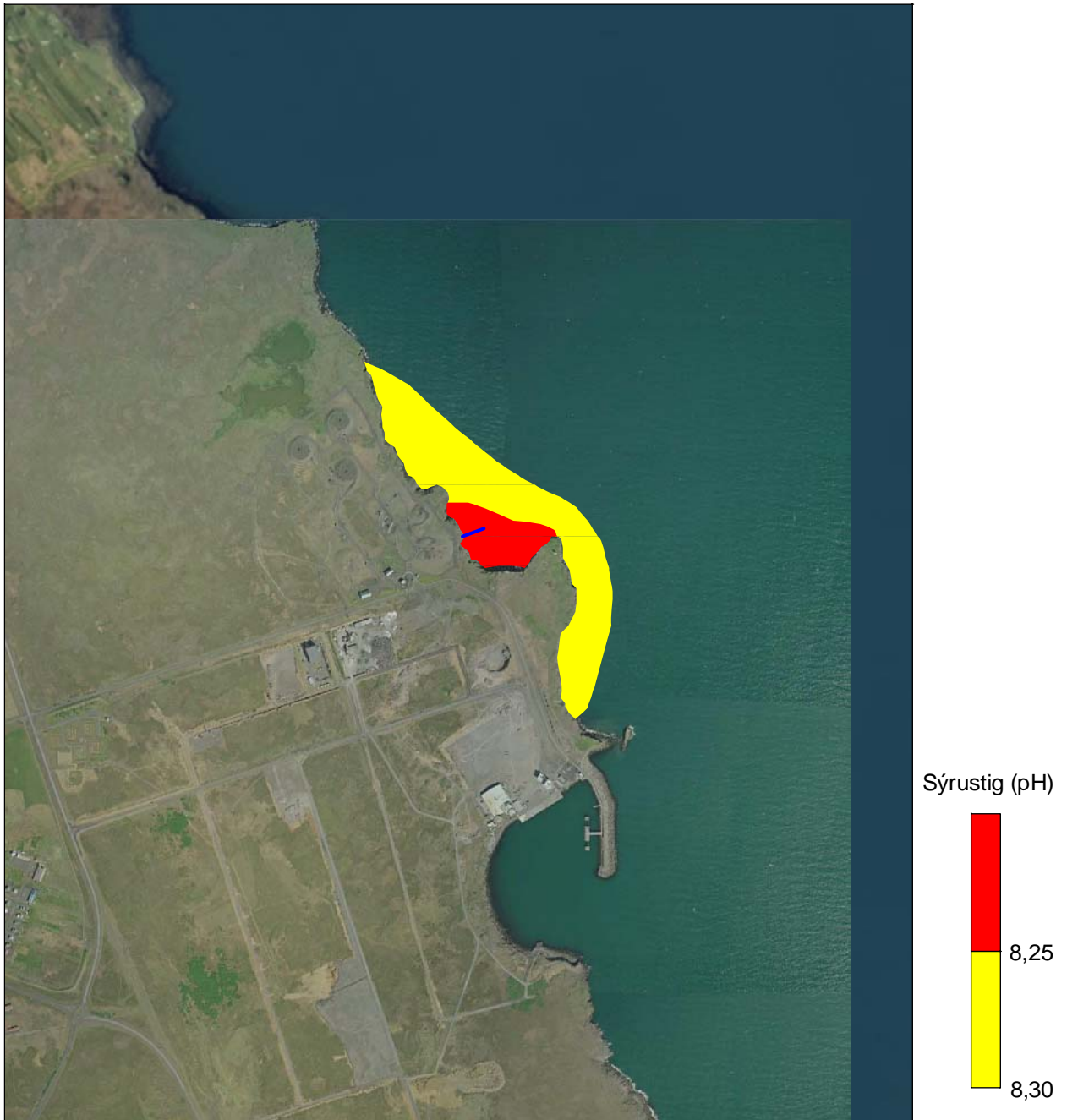
0 0,5 1 km



útrás

Reiknað sýrustig (pH)

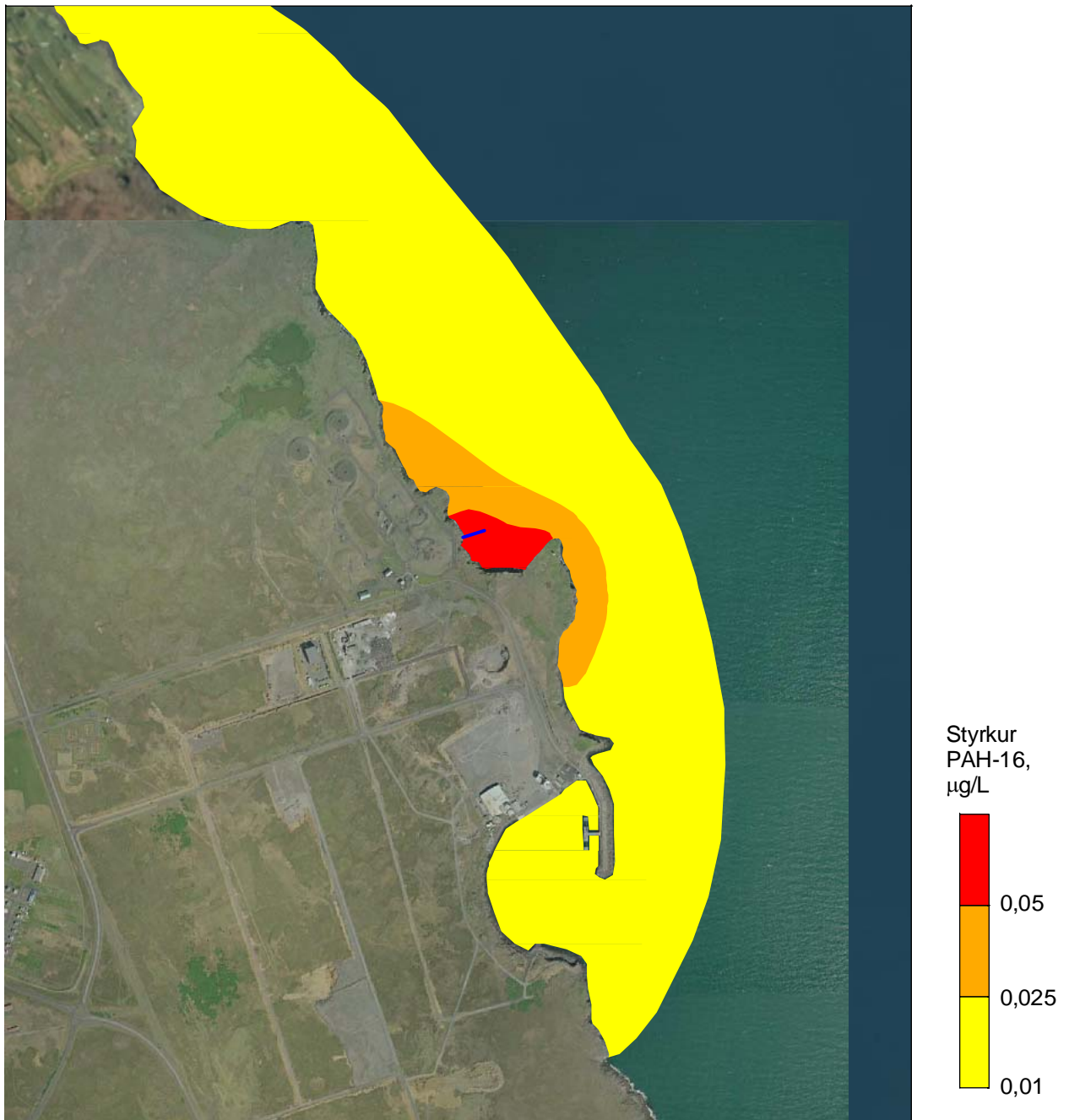
Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls





Reiknaður styrkur PAH-16 með þvermáli agna 1 míkrómetri

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls



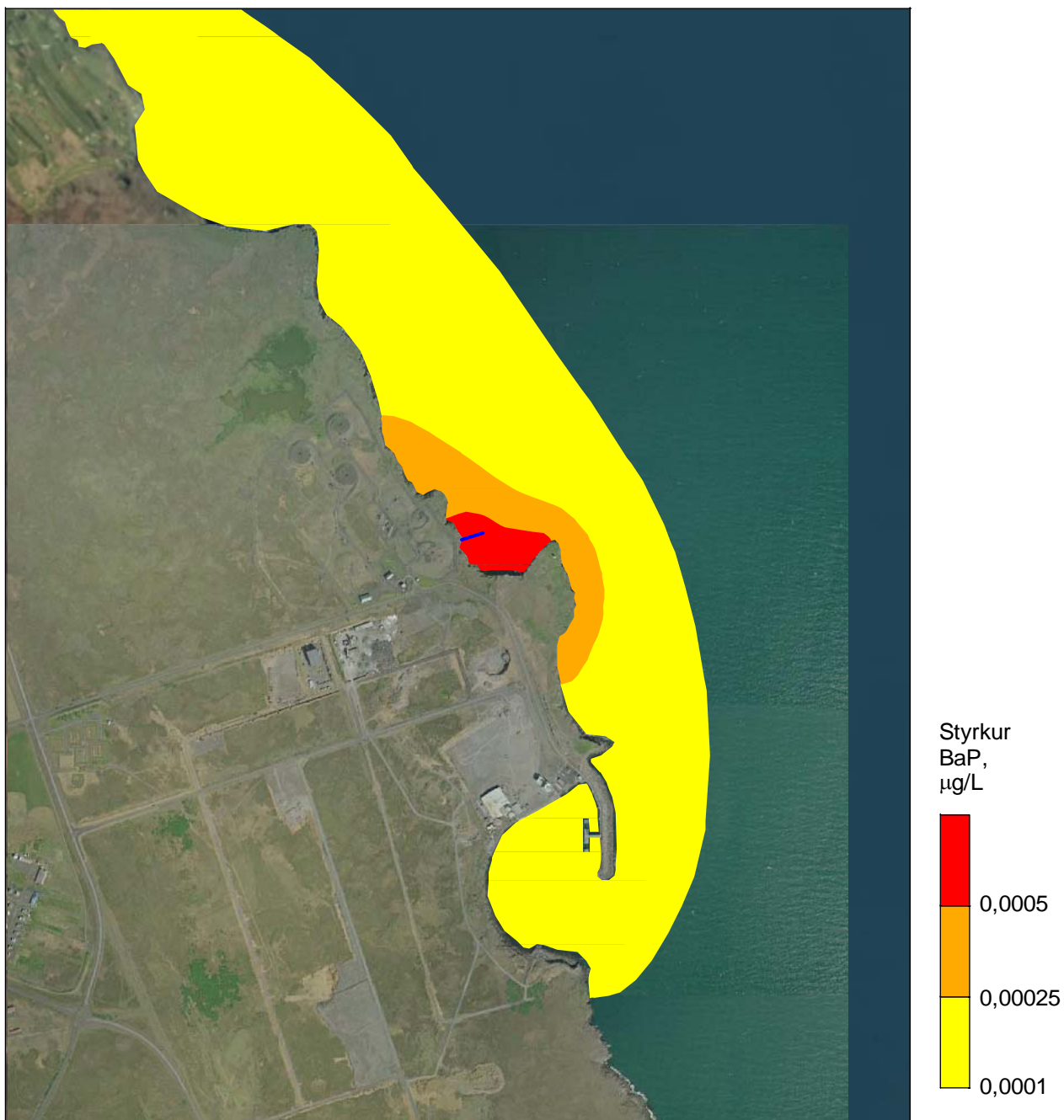
Mkv. 1:20.000  
0 0,5 1 km



útrás

Reiknaður styrkur BaP með þvermáli agna 1 míkrómetri

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls



Mkv. 1:20.000

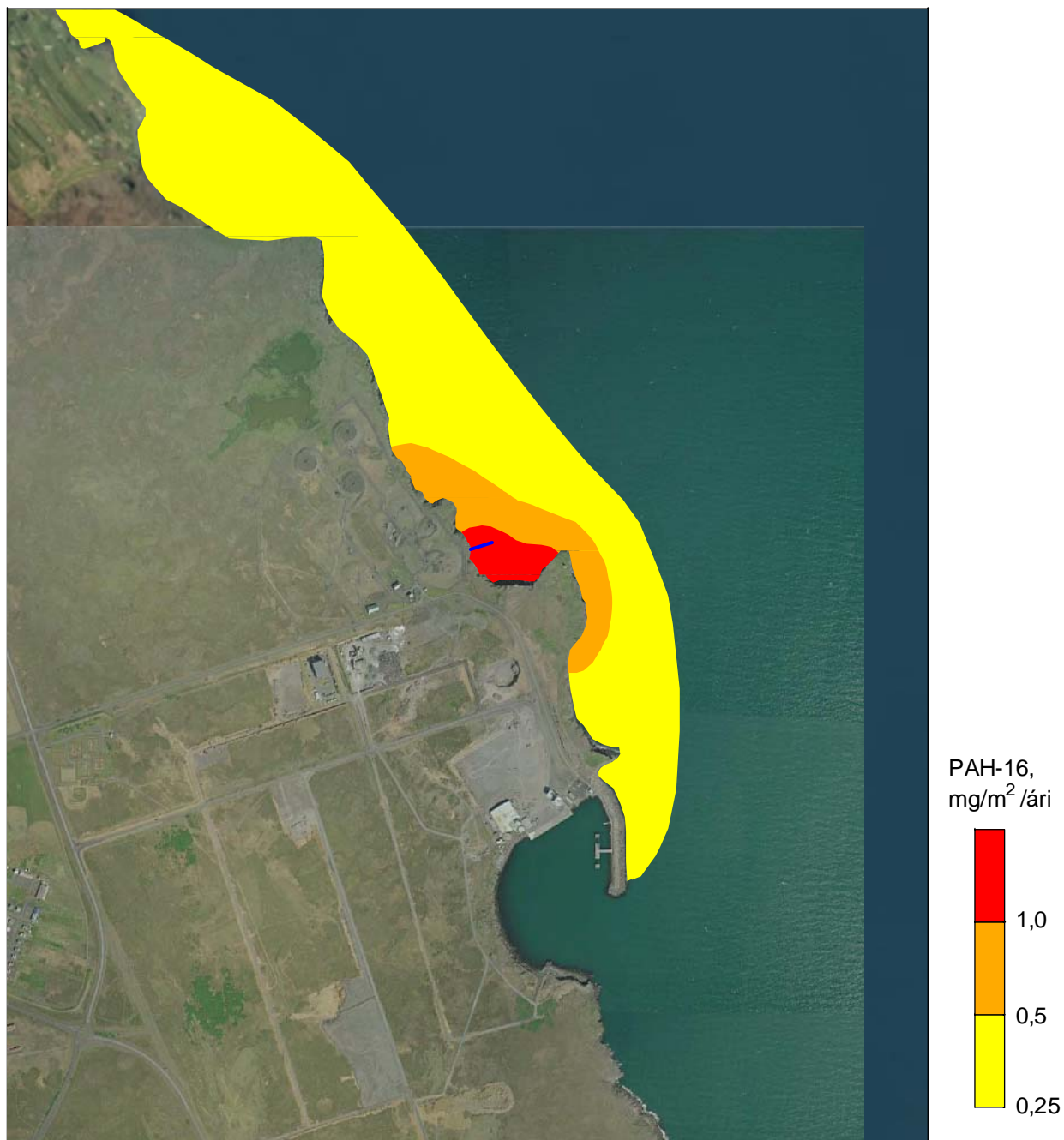
0 0,5 1 km



útrás

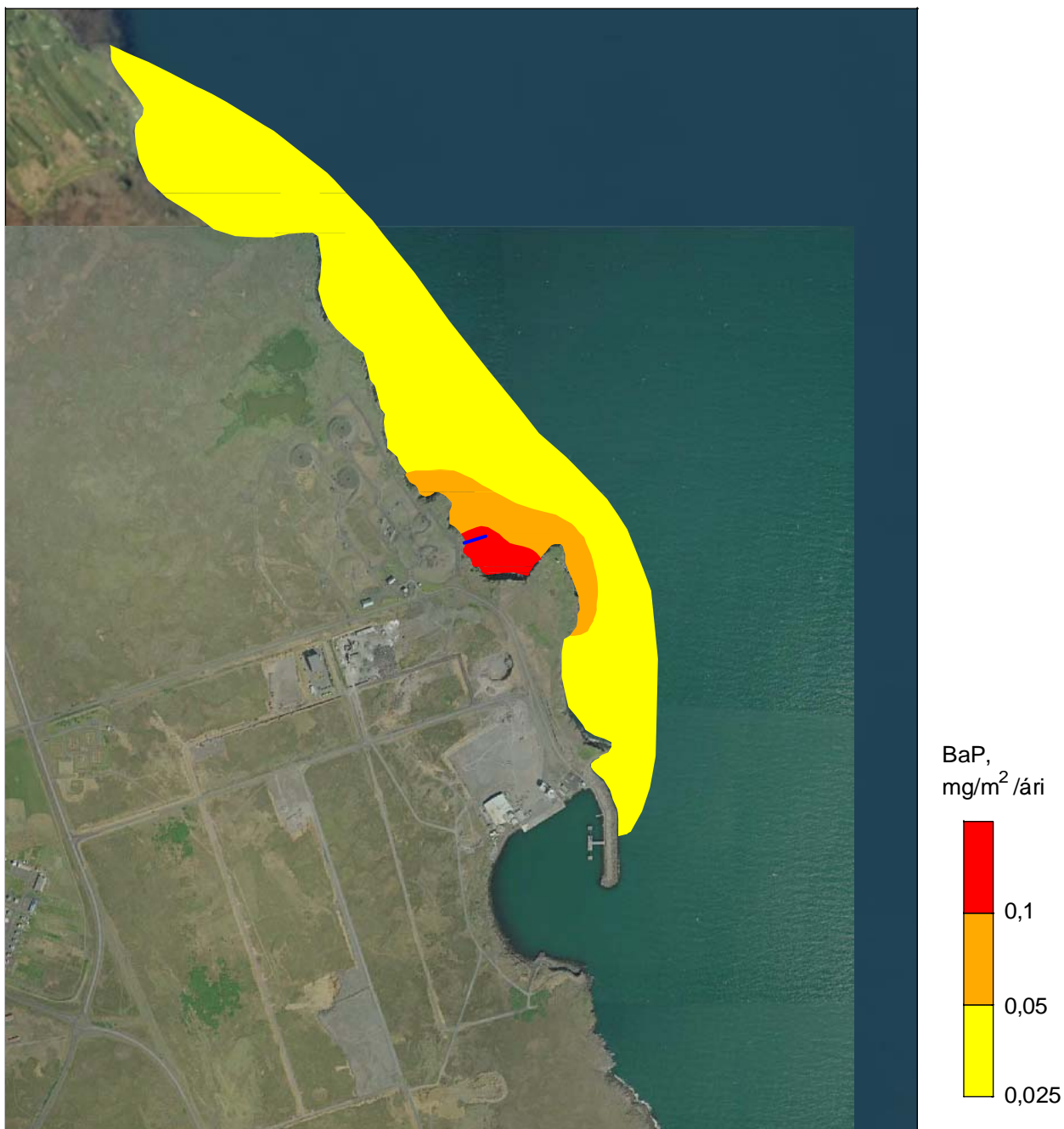
Reiknaður styrkur PAH-16 á botni með þvermáli agna 1 míkrómetri

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls



Reiknaður styrkur BaP á botni með þvermáli agna 1 míkrómetri

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls



Mkv. 1:20.000

0 0,5 1 km

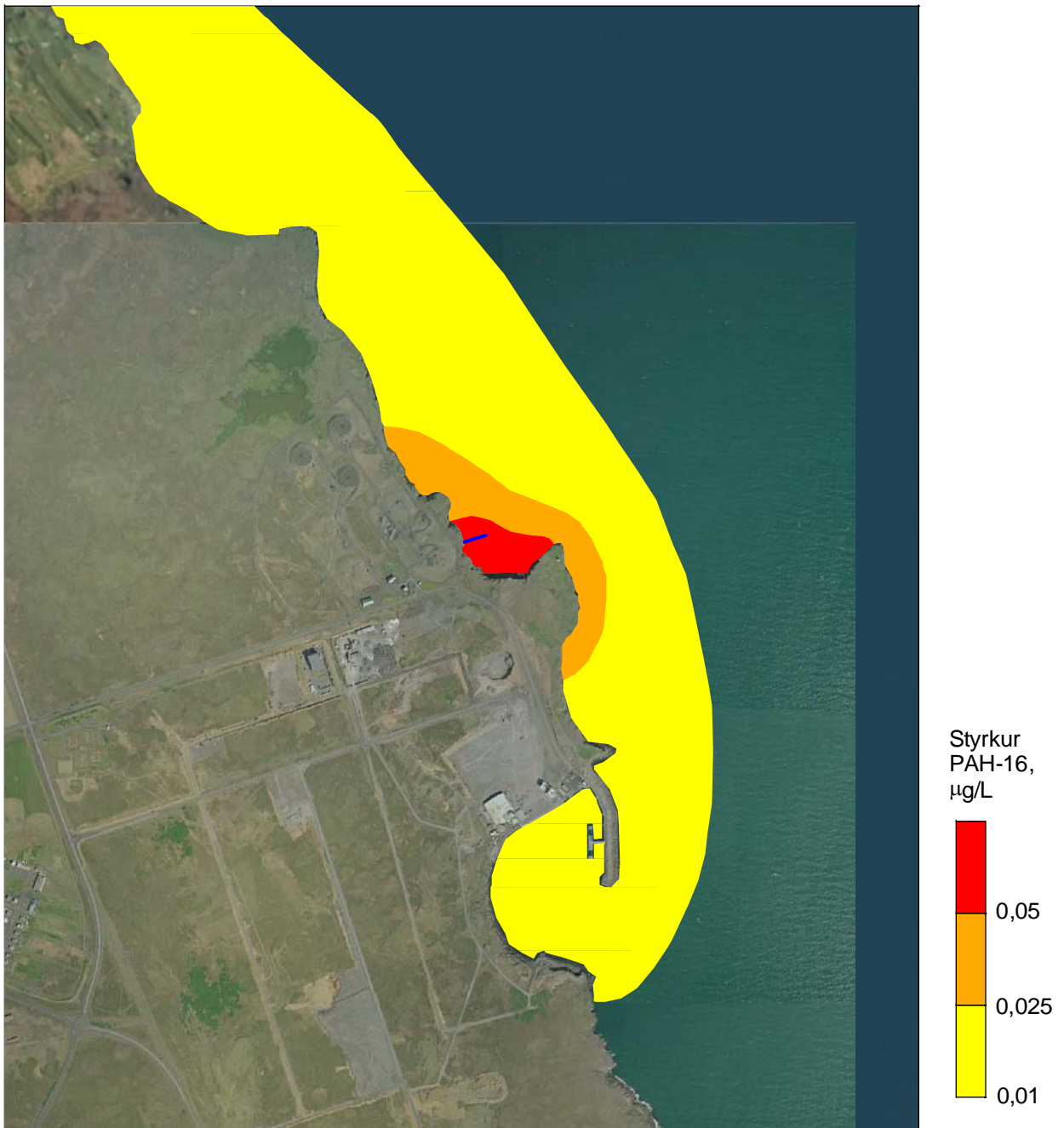


útrás

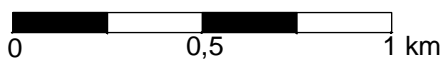


Reiknaður styrkur PAH-16 með þvermáli agna 10 míkrometrar

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls



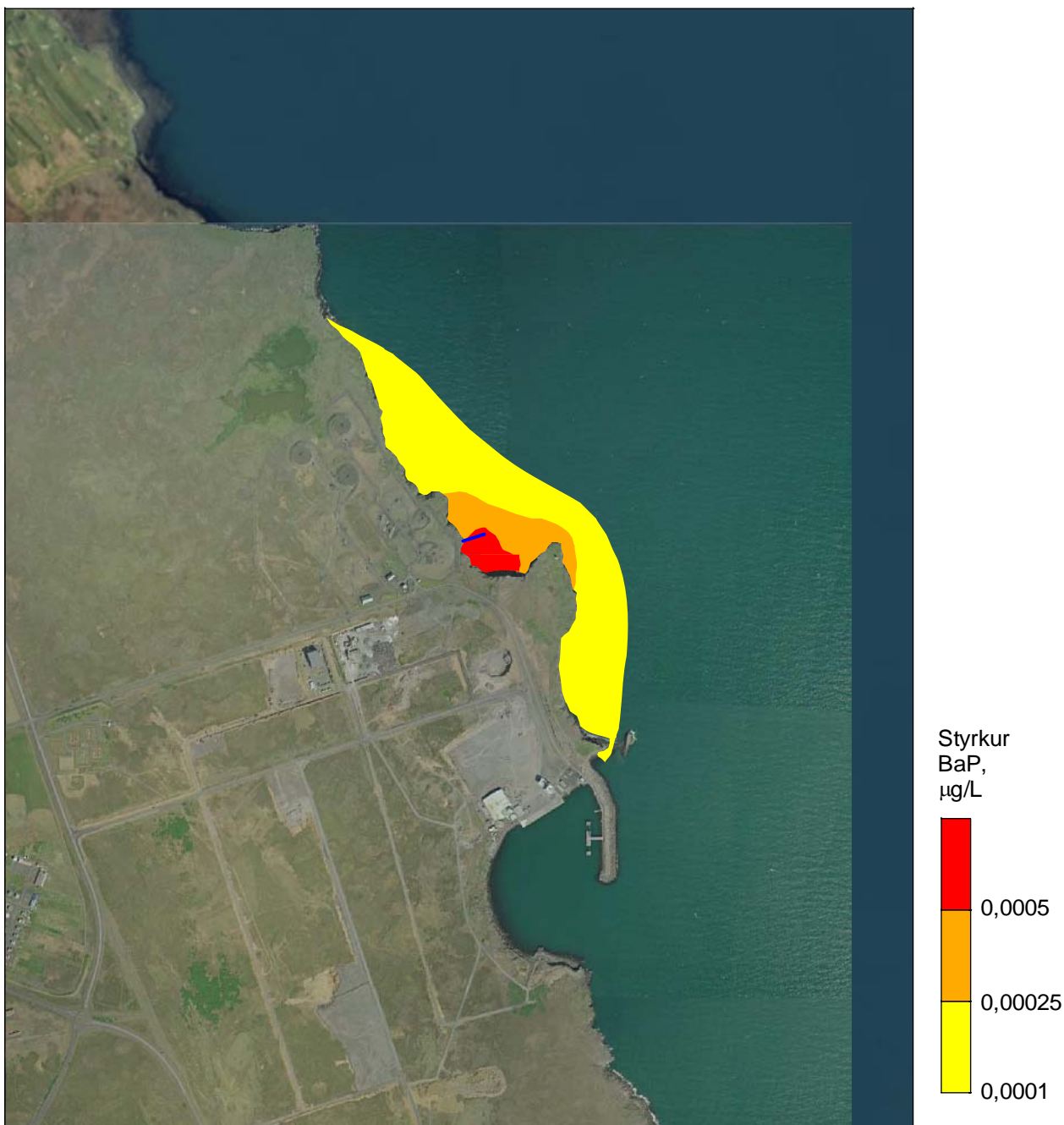
Mkv. 1:20.000



útrás

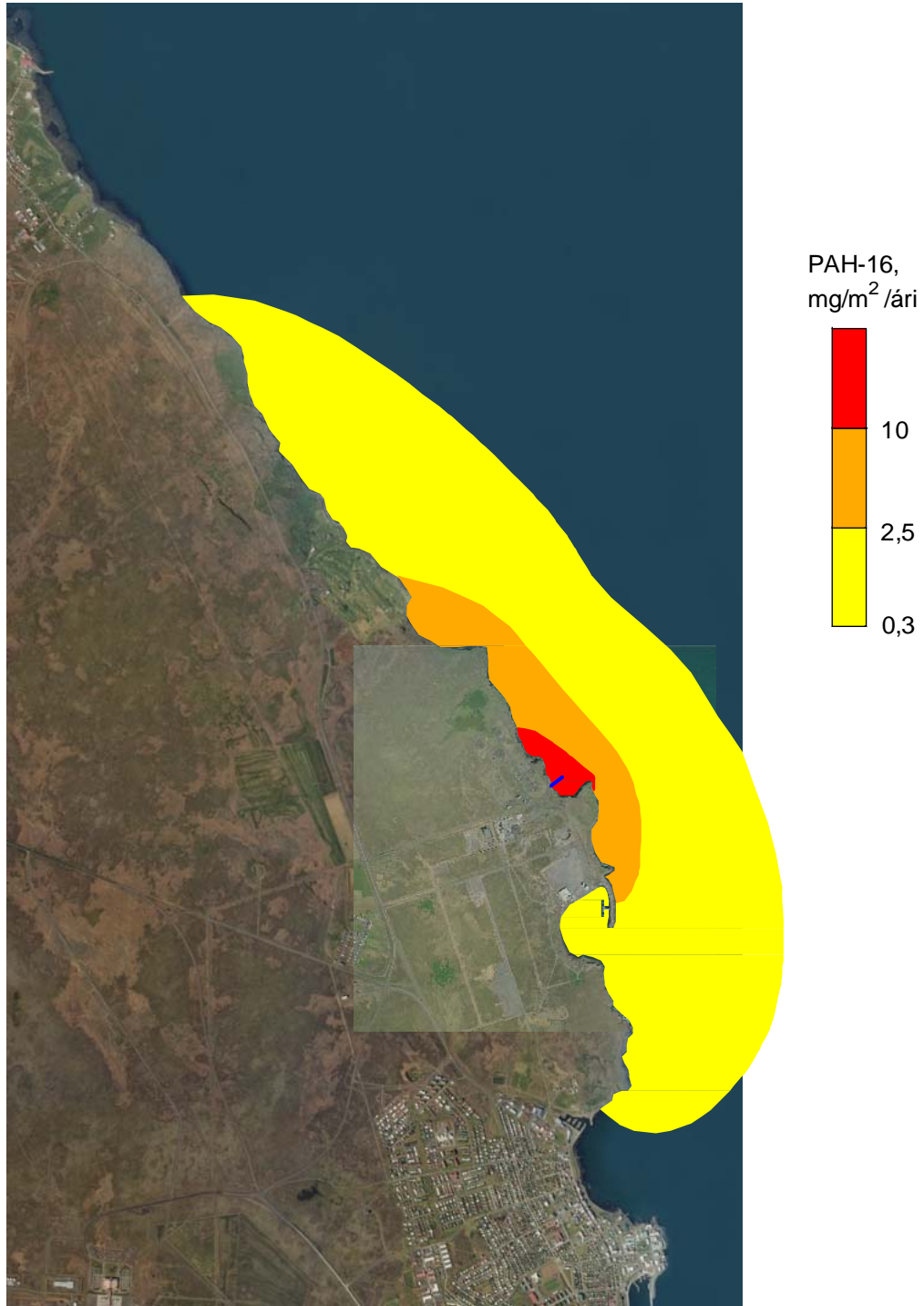
Reiknaður styrkur BaP með þvermáli agna 10 míkrómetrar

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls

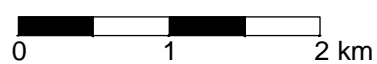


Reiknaður styrkur PAH-16 á botni með þvermáli agna 10 míkrómetrar

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls



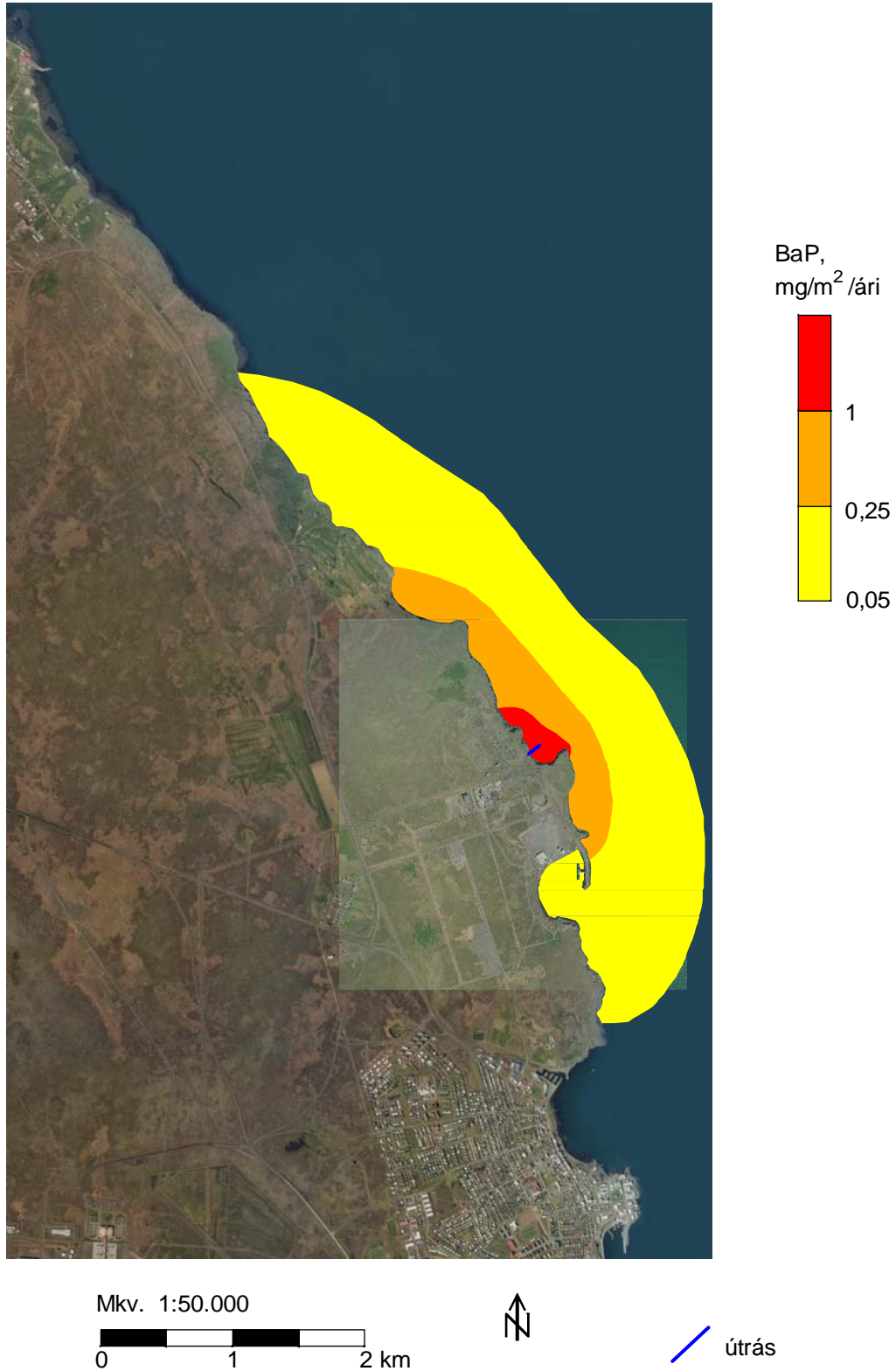
Mkv. 1:50.000



útrás

Reiknaður styrkur BaP á botni með þvermáli agna 10 míkrometrar

Vothreinsun fyrir 250.000 tonna ársframleiðslu áls





## ENGLISH SUMMARY

This report describes the calculation of spreading of pollutants in the sea from the wet scrubbers of a proposed aluminum smelter at Helguvík. Calculations were made using an ocean current model developed by Vatnaskil Consulting Engineers sf. Calculations were based on an annual production rate of 250,000 tons/year.

### **The main results are as follows:**

- 1) Calculated concentration of dust particles, fluoride, phosphorous and nitrogen exceed background concentration in the sea in an area just around the outlet.
- 2) Calculated concentration of oxygen falls just under saturation levels in a small area around the outlet.
- 3) Due to the ocean's carbonate system, the calculated pH around the outlet declines very little.
- 4) Calculations of PAH and B(a)P concentration were performed for two settling velocities which represent particle sizes of 1  $\mu\text{m}$  and 10  $\mu\text{m}$ . With an annual aluminum production of 250,000 tons and wet scrubbers, 134 kg/year of PAH-16 and 1.3 kg/year of B(a)P are produced. It is assumed that for PAH-16, 90% is in suspension while 10% is bound to particles and for B(a)P, 10% is in suspension while 90% is bound to particles.