

b.t. Bjarki Þórsson  
Utanríkisráðuneytið  
Rauðarárstígur 25  
105 Reykjavík



Hafnarfjörður, 12.02.2025

### **Málefni: Umsagnarbeiðni vegna umsóknar Rastar sjávarrannsóknaseturs um leyfi til vísindarannsóknar í Hvalfirði 2025**

Vísað er til erindis Utanríkisráðuneytisins frá 7. janúar 2025 (tilv.: UTN24050208) þar sem óskað er umsagnar frá Hafrannsóknastofnun vegna umsóknar Rastar sjávarrannsóknarseturs um leyfi til vísindarannsókna í Hvalfirði í maí og júlí 2025.

Styrkur koldíoxíðs ( $\text{CO}_2$ ) í andrúmslofti jarðar hefur hækkað umtalsvert af manna völdum og er þessi aukning að valda breytingum á loftslagi jarðar og súrnun sjávar. Birtingamynd áhrifanna er breytileg eftir svæðum á jörðinni en ljóst er að afleiðingar fyrir vistkerfi og samfélög manna munu verða alvarlegri eftir því sem styrkur koldíoxíðs í andrúmslofti eykst. Í skýrslum IPCC (sérfræðingahóps Milliríkjanefndar Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar) hefur ítrekað verið bent á alvarleg áhrif mikils útblásturs koldíoxíðs og að áriðandi sé að draga úr þeim útblæstri. Í þessum skýrslum er einnig bent á mikilvægi þess að auka getu samfélaga og vistkerfa til að milda áhrif loftslagsbreytinga með ýmiss konar aðgerðum. Í skýrslu nefndarinnar 2022 kom fram að ef loftslagsmarkmið flestra þjóða eiga að nást er ekki nóg að draga úr útblæstri koldíoxíðs hratt heldur þurfi einnig að fara í aðgerðir til að fjarlægja koldíoxíð úr andrúmsloftinu til lengri tíma.

Hafið þekur um 71% af yfirborði jarðar og geymir mikið magn kolefnis. Hafið hefur þegar tekið upp um 25% af því koldíoxíði sem bætt hefur verið við andrúmsloft af manna völdum en samfara veldur upptakan súrnun sjávar. Ástæðan er sú að með því að bæta koldíoxíði við sjó þá hliðrast jafnvægi ólífræna kolefnissambanda í sjó ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3$  og  $\text{CO}_3$ ) með þeim afleiðingum að sýrustig (pH) og kalkmettunarstig ( $\Omega$ ) sjávar lækka.

Fram hafa komið ýmsar hugmyndir að aðgerðum sem fela í sér nýtingu á höfum jarðar til að fanga og farga kolefni (mCDR, marine Carbon Dioxide Removal). Telur Hafrannsóknastofnun að engin slík aðferð sé nægilega vel þekkt m.t.t. hvort hún virki né umhverfisáhrifa, til að réttlæt看legt sé að beita henni með það að markmiði að draga úr styrk koldíoxíðs í andrúmslofti eða sjó. Hafrannsóknastofnun hefur bent á mikilvægi þess að fram fari öflugar og vel hannaðar rannsóknir á slíkum aðferðum áður en að teknar séu ákvarðanir um að beita þeim á smáum eða stórum skala.

Umsögn þessi snýr að rannsókn sem ætlað er að upplýsa um virkni og umhverfisáhrif einnar slíkrar aðferðar sem felur í sér að auka basavirkni sjávar (e. ocean alkalinity enhancement (OAE)). Með því að auka basavirkni sjávar verður hliðrun í efnajafnvægi ólífræna

kolefnissambanda og er tilgátan sú að aðgerðin geti aukið upptöku sjávar á koldíoxíði úr andrúmsloftinu án þess að sjór súrni, og að aðferðin geti jafnframt dregið úr eða takmarkað súrnun sjávar. Litið er svo á að OAE aðferðir séu einna vænlegastar til árangurs af þeim aðferðum sem ganga út á að nýta sjó til að fjarlægja koldíoxíð úr sjó eða andrúmslofti. Í þessari rannsókn er ætlunin að auka basavirkni sjávar með því að losa útþynnt natríumhýdroxíð (NaOH) út í sjó.

Hafrannsóknastofnun hannaði og er að framkvæma grunnrannsóknir á eðlis-, efna-, og líffræðilegum umhverfispáttum í Hvalfirði og er sú vinna styrkt af Röst sjávarrannsóknasetri. Almennt hefur verið til staðar vöntun á þekkingu á vistkerfi Hvalfjarðar en mikill áhugi er á að nýta svæðið fyrir margskonar starfsemi. Var það mat stofnunarinnar að sú þekking sem myndi skapast í slíkum grunnrannsóknaverkefnum myndi nýtast stofnuninni og öðrum við að meta áhrif ýmiss konar starfsemi og framkvæmda í firðinum. Gögnin geta þannig bætt ráðgjöf stofnunarinnar sem miðar að því að teknar séu upplýstar ákvarðanir um starfsemi og framkvæmdir með það að markmiði að nýting sé sjálfbær. Ljóst var að umfang þeirra rannsókna sem stofnunin taldi tilefni til að fara í í Hvalfirði væri mikið og að rannsóknir sem þessar væru ekki á færi annara aðila en stofnunarinnar sjálfar héraðs. Almennt telur stofnunin það jákvæða þróun ef aðrir aðilar en hún sjálf geti sinnt öflugum hafrannsóknum héraðs. Taka skal fram að starfsmaður Hafrannsóknastofnunar situr í ráðgjafaráði Rastar sjávarrannsóknaseturs ehf á eigin vegum og vegna þeirra tengsla tók sá starfsmaður ekki þátt í gerð þessarar umsagnar.

Óskaði Hafrannsóknastofnun eftir sérfræðilíti frá erlendum sérfræðingi sem ekki hefur tengsl við þá aðila sem koma að þeim rannsóknum sem sótt er um leyfi fyrir. Dr. Helen Findley er prófessor við Plymouth Marine Laboratory í Englandi. Hún hefur stundað margvíslegar rannsóknir á áhrifum súrnunar sjávar og annara umhverfisbreytinga á lífríki (sjá [ritskrá](#)). Í rannsóknum sínum hefur hún m.a. skoðað sýru-basa virkni í lífverum í tengslum við sýrustig sjávar og aðra umhverfispætti. Var óskað eftir því að hún myndi meta; A) vísindalegt gildi rannsóknarinnar og B) möguleg áhrif tilraunarinnar á vistkerfi til styttri og lengri tíma. Var hún einnig beðin um mat á því hvort hún teldi að leyfa ætti umrædda tilraun. Sérfræðilít Dr. Helen Findley fylgir með umsögninni sem viðauki. Til að undirbyggja álitid var óskað eftir því að Röst sjávarrannsóknasetur myndi senda stofnuninni enska útgáfu af þeim skjölum sem fylgdu umsókn um rannsóknaleyfi og voru á íslensku og varð rannsóknasetrið við þeirri beiðni.

Umsókn Rastar sjávarrannsóknaseturs er nokkuð ítarleg. Rannsóknarsvæðið er í Hvalfirði. Tilraunirnar eiga að fara fram í norðausturhluta Hvalfjarðar frá bryggju Ólúdreifingar við Miðsand en rannsóknir munu fara fram víðar í firðinum enda er verið að kanna dreifingu efna og virkni þeirra á stærra svæði en þar sem efni er losað í sjó. Hafa farið fram forrannsóknir sem fólust í könnun á dreifingu sporefna á svæðinu og eru slíkar rannsóknir einnig áformaðar í ár, áður en tilraun með losun basa hefst. Hafa haffræðileg líkön verið hönnuð fyrir svæðið og eru nýtt til að undirbyggja ákvörðun um framkvæmd tilraunarinnar.

## Vísindalegt gildi rannsóknarinnar

Dr. Helen Findley mat vísindalegt gildi rannsóknarinnar mikið (Viðauki 1). Bendir hún á að efnafræðileg ferli sem eiga sér stað við að auka basavirkni sjávar til að auka upptöku sjávar á koltvíoxíði (Ocean Alkalinity Enhancement eða OAE) séu nú vel skilgreind og þekkt. Til að

OAE geti talist raunhæf aðferð við að fjarlægja koldíoxíð úr kerfum jarðar (Carbon Dioxide Removal eða CDR) þarf að sýna fram á virkni hennar og tryggja að hún hafi engin eða mjög lítil neikvæð umhverfisáhrif. Til að kanna þessa þætti og leggja grunn að frekari þróun OAE, þar á meðal reglugerðum og öruggum vinnubrögðum, þarf að framkvæma tilraunir á vettvangi. Þessar rannsóknir eru þannig hannaðar að þær munu gefa innsýn í hvernig OAE virkar við ólíkar aðstæður. Þar af leiðandi er mikið vísindalegt verðmæti falið í því að framkvæma þessa vettvangstilraun. Rannsóknaspurningarnar eru jafnframt vel skilgreindar og í samræmi við víðtækari vísindalegar þarfir til að meta hvort OAE sé raunhæf aðferð sem beita má til að draga úr styrk koldíoxíðs í andrúmslofti eða sjó.

## Möguleg umhverfisáhrif rannsóknarinnar

### Losun brennisteinshexaflúoríðs (SF6)

Áformað er að losa sporefnið SF6 til þess að kanna dreifingu efna út frá losunarstað. Hafrannsóknastofnun tekur undir það sem fram kemur í umsókn Rastar sjávarrannsóknaseturs um að SF6 er líffræðilega óvirk lofttegund og ógnar því ekki vistkerfum.

### Losun Rhodamine WT – flúorljómandi litarefnis

Í maí og júlí 2025 er áformað að bæta tveimur lítrum af Rhodamine WT (sem 20% lausn) út sjó úr firðinum til að fá 1000 L af lausn í tank. Eiga þessir 1000 L að vera losaðir með flæðihraðanum 30 L/min í gegnum dælukerfið sem nýta á í seinni tilraun ársins 2025. Áætlað er að losunin muni taka um 30 mínútur og mynda þannig sjáanlegt merki í nokkrar klukkustundir nálægt bryggjunni og í áttina að fjarðarmynninu. Rhodamine WT hefur verið notað til þess að rannsaka flæði vatns í ýmsum rannsóknum og hafa rannsóknir á eitrunaráhrifum þess bent til þess að það sé skaðlaust fyrir lífríki í mun meiri styrk en áætlað er að veita út í þeirri tilraun sem hér er áætluð (sjá t.d. Skjolding o.fl. 2021. „Assessing the aquatic toxicity and environmental safety of tracer compounds Rhodamine B and Rhodamine WT“. Water Research 197).

### Losun NaOH

Áætlað er að losa um 200 000 lítra af 4,5% NaOH lausn (þynnt natríumhýdroxíð) út í fjörðinn. NaOH er sterkur basi og getur því tekið við vetnisjónum (sýrur geta losað sig við vetnisjónir). Efnið er ætandi í við háann styrk og felast áhrifin einkum í breytingum á sýrustigi (pH) þegar efninu er blandað út í vatn eða sjó. Er ráðgert að flæðishraðinn verði um 30-60 lítrar á mínútu. Heildarmagn NaOH sem á að nota er að hámarki 30 000 lítrar. Getur útpynnt NaOH haft skaðleg áhrif á lífríki sem er misjafnlega viðkvæmt og því mikilvægt að ákvörðun um að nota efnið byggji á mati á áhættu fyrir vistkerfið. Í rannsókninni er efnið er losað við yfirborð sjávar og tekið er undir það sem fram kemur fram í umsókn Rastar sjávarrannsóknaseturs að gera ráð fyrir því að sýrustig sjávar hækki talsvert meira við og nærri yfirborði en við botn.

Í umsókn Rastar sjávarrannsóknaseturs er lagt fram mat á mögulegum umhverfisáhrifum með tvennum hætti, annarsvegar með vísun í mælingar á áhrifum NaOH á lífríki og hinsvegar með grunnmælingum á hafsvæðinu og líkanagerð. Í sérfræðiáliti Dr. Helen Findley (Viðauki 1)

er reiknað út að styrkur NaOH sem losað verður út í sjó verði um 59,1 mg/L. Horfa þarf til skaðlegra áhrifa út frá því lífríki sem búast má við að sé viðkvæmast fyrir efninu eða breytingum á sýrustigi. Samkvæmt mælingum þá eru ostrur viðkvæmar fyrir hækkum á NaOH/hærra sýrustigi komu fram mælanleg líffræðileg áhrif 50% ostranna við styrkinn 61,9 mg/L (EC50). Fiskar, krabbadýr og þörungur hafa sýnt talsvert meira þol fyrir áhrifum NaOH (EC50 > 100 mg/L). Styrkur NaOH í heildarrúmmáli vatnsins (~59,1 mg/L, sjá viðauka 1) í þessari tilraun er undir EC50 fyrir ostrulirfur (61,9 mg/L), og flæðishraði viðbótar NaOH er nógu hægur til að tryggja nægjanlega dreifingu og blöndun, eins og sýnt hefur verið með hermílikönnum.

Rannsókn á áhrifum NaOH á fisk sýndi að eins og við má búast eykst dánartíðni í samræmi við lengd þess tíma sem áhrifa gætir. Hins vegar þurfti pH-gildi að fara yfir 9,8 í 96 klukkustundir til að dánartíðni fiska færi yfir 50%. Hermílikön sýna að pH verður aðeins yfir þessu gildi nálægt blöndunarsvæðinu við yfirborð, sem nær yfir allt að 50 m radíus frá bryggjunni og varir ekki lengur en í 96 klukkustundir. Ekki hafa farið fram prófanir á viðkvæmni þess lífríkis sem er til staðar á tilraunasvæðinu en prófanir sem vísað er í hafa allar farið fram á tegundum erlendis. Telja má þó ólíklegt að lífríki við og í grennd við bryggjuna þar sem losun á sér stað sé viðkvæmara fyrir áhrifum NaOH en ostrur sem almennt teljast viðkvæmar. Horfa þarf þó til þess að viðkvæmustu lífsstig lífvera eru í flestum tilfellum snemma á þroskunarferlinum og eru oft sviflæg (t.d. flest lindýr, krabbadýr, skrápdýr og fiskar). Þannig mætti búast við að einhverra neikvæðra áhrifa af losun blandaðs NaOH gæti orðið vart við og í grennd við losunarstað, t.d. á sviflægum lirfur, krabbadýr en áhrifin yrðu staðbundin í grennd við losunarsvæðið.

Þegar horft er til styrks NaOH lausnar, stærð áhrifasvæðis, og fyrirliggjandi þekkingu á viðkvæmni lífríkis gagnvart breytingum á sýrustigi (pH) eða styrk NaOH má telja að áhætta sem felst í framkvæmd þessara rannsókna fyrir sjávarlífverur og vistkerfi sé lítil.

Er áformað að meta umhverfisáhrif tilraunarinnar með því að koma á grunnmælingum sem hægt verður að bera saman við mælingar eftir tilraunina. Er það mat Dr. Helen Findley að sjálf tilraunin muni veita dýrmætar upplýsingar um hugsanleg langtímaáhrif af því að bæta basa í sjó (OAE). Hins vegar eru engar vísbendingar um að sú skammtímatilraun sem hér er lögð til muni leiða til langtímabreytinga á vistkerfinu.

Hafrannsóknastofnun bendir þó á að áhætta felist í meðferð NaOH og því mikilvægt að tryggja að ekki berist óblandað efni í ferskvatnskerfi á landi eða í sjó. Í kafla 6. í umsókn Rastar sjávarrannsóknaseturs er fjallað um öryggisráðstafanir og viðbragðsáætlun. Telur Hafrannsóknastofnun að tekið hafi verið tillit til þessarar og annarrar áhættu ef viðbragðsáætlun er fram fylgt.

## Niðurstaða Hafrannsóknastofnunnar

Telur Hafrannsóknastofnun að engin aðferð sem felur í sér að fanga og/eða farga kolefni í sjó (mCDR, marine Carbon Dioxide Removal) sé nægilega vel þekkt hvað varðar virkni né umhverfisáhrif til þess að hægt sé að réttlæta nýtingu hennar með það að markmiði að fjarlægja koldíoxíð (CO<sub>2</sub>) úr andrúmslofti eða sjó á smáum eða stórum skala. Mikil óvissa sé um hvort slíkar aðferðir virki og hver umhverfisáhrif þeirra gætu verið á stórum eða smáum skala. Hafrannsóknastofnun hefur bent á að mikilvægi þess að fram fari öflugar og vel hannaðar rannsóknir á slíkum aðferðum áður en að teknar séu ákvarðanir um að beita þeim.

Í sérfræðialiti sínu mælir Dr. Helen Findley með því að rannsóknaleyfi verði veitt og byggir sitt álit á því að viðeigandi sérþekking sé á meðal þeirra sem standa að rannsókninni, að rannsóknin er vel undirbyggð með líkanagerð og þekkingu á vistkerfi svæðisins og mati á næmni lífvera. Bendir hún á að vísindalegt gildi sé hátt. Byggt á sérfræðialiti Dr. Helen Findley og sjálfstæðu mati Hafrannsóknastofnunar á þeim gögnum sem fylgdu umsókn um rannsóknaleyfi er það mat Hafrannsóknastofnunnar að rannsóknin sé ítarleg og vel hönnuð og getur leitt til sköpunar á verðmætri þekkingu á virkni og áhrifum þess að bæta basanum NaOH í sjó. Búast má við að áhrif á umhverfi og vistkerfi séu takmörkuð, tímabundin og staðbundin.

Mælt er með að rannsóknaleyfi verði veitt.

F.h. Hafrannsóknastofnunar, rannsókn- og ráðgjafarstofnunar hafs og vatna,



Hrönn Egilsdóttir  
Sviðstjóri Umhverfissviðs

## **A) Assess the scientific value.**

Carbon dioxide removal (CDR) is any human activity that results in CO<sub>2</sub> being removed from the atmosphere and durably stored for decades to millennia. In order to reach the Paris climate target of staying under 2°C by year 2100, while carbon emissions must be reduced, CO<sub>2</sub> must also be removed from the atmosphere. Contemporary CDR efforts include land management, afforestation, soil sequestration, peatland and wetland restoration. However these mechanisms, although well established and some with high levels of mitigation potential, tend to have low storage timescales (decades to centuries). Other, novel CDR mechanisms are therefore being investigated, that could, at scale, have substantial mitigation and long term storage potential. One such technique is Ocean Alkalinity Enhancement (OAE), which acts to enhance the natural weathering processes that would buffer CO<sub>2</sub> uptake in the ocean over geological timescales. The theory and chemistry behind OAE is now well established. The report here highlights the mechanism and details the chemical shifts. The issues with OAE is to be feasible it needs to be proven as an effective CDR mechanism with no or minimal unintended environmental impacts. In order to prove those aspects, and inform the next stages of OAE technology development, regulations and safe practices for scaling, pilot-studies need to be conducted to understand how OAE works in dynamic coastal and ocean environments. There is high scientific value therefore in running this field trial, with the scientific questions clearly laid out, and in agreement with the wider scientific needs to determine whether or not OAE is a feasible CDR mechanism.

## **B) Assessment of the potential environmental impact of the experiment (could this experiment cause short or long term negative impacts on the environment or biota)**

This proposal considers the potential environmental impact in two ways. First is by conducting ecotoxicological studies on a range of representative marine organisms to the chemical (NaOH). These acute tests provide safe limits above which the chemical can be considered toxic. The lowest EC50 was found to be on oyster larvae at a concentration of 61.9 mg/L. Overall, for crustacean (copepod) and oyster larvae NaOH can be considered to be “slightly toxic” (acute level 3), while for algae and fish NaOH can be considered “practically non-toxic”.

The final concentration of NaOH to be added in the total volume of water (~59.1 mg/L (see appendix 1 of this document)) during this field trial will be below the EC50 for oyster larvae (61.9 mg/L), and the flow rate for adding the NaOH is slow enough that it should allow dispersal and mixing, as demonstrated by the modelling.

The toxicity study on fish also showed that as duration of exposure increased, mortality increased. However, after 96h, pH had to be above 9.8 to see >50% mortality in fish tested. Combined with the modelling work, the pH will only be above this value within the initial mixing zone, which will be within a 50 m radius of the pier, and will not last for more than 96h.

Therefore the risk to marine organisms, including fish, during this field trial appear low (low exposure x low/mild sensitivity).

The second way of assessing environmental impact is by establishing a baseline, with which they can then monitor against to determine any impacts. The field trial in itself will provide useful information on the longer term impacts of OAE. However there is no evidence that the short-term exposure proposed here will result in long-term shifts in the environment.

**C) Then finally the review would have an advise to the government on if we recommend approving or not the ask for a research permit.**

Based on the team with their relevant expertise, the modelling, baseline information and toxicological studies, as well as the scientific value, I would advise that this proposal is approved for a research permit.

## Appendix 1:

Calculations to determine if the NaOH concentration after dilution is below the EC50 of 60 mg/L:

### Step 1: Calculate the Total NaOH Mass Added

- **Volume of NaOH solution:** 30,000 L
- **Concentration of NaOH solution:** 30% (by weight)
- **Density of NaOH solution:** Assume  $\sim 1300 \text{ kg/m}^3$  (or 1.3 kg/L for 30% NaOH solution)

The mass of NaOH in the solution:

Mass of NaOH = Volume  $\times$  Density  $\times$  Concentration

$$= 30000 \times 1.3 \times 0.30$$

$$= 11700 \text{ kg (or 11700,000 mg)}$$

### Step 2: Calculate the Total Final Volume After Dilution

- **Freshwater added:** 168,000 L
- **Total volume after dilution:**

$$30,000 + 168,000 = 198,000 \text{ L}$$

### Step 3: Calculate the Final NaOH Concentration

Final Concentration = Mass of NaOH / Total Volume

$$= 11,700,000 \text{ mg} / 198,000 \text{ L}$$

$$= 59.1 \text{ mg/L}$$