Efnafræðifélag Íslands
The Icelandic Chemical Society

17. Úrslitakeppnin í efnafræði

fyrir nemendur framhaldsskóla

Laugardagur 24. mars 2018 kl. 9-12

HÁSKÓLI ÍSLANDS

TANDUR
- þegar hreinlæti skiptir máli

Háskóli Íslands

Tandur hf

17. Úrslitakeppnin í efnafræði

24. mars 2018

Nafn: _____

Kennitala: _____

Sími: _____

Tölvupóstfang: _____

Heimili: _____

_____

Skóli: _____

Braut/áfangi: _____

Námsár: 1. ár 2. ár 3. ár 4. ár

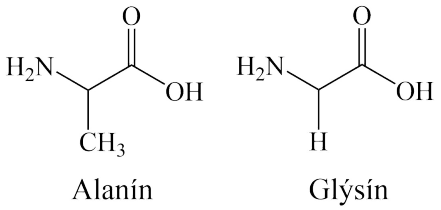
Almennar leiðbeiningar

1. Opnaðu ekki spurningaheftin fyrr en ykkur er sagt að gera það.
2. Spurningarnar eru alls 7 og eru á 11 tölusettum blaðsíðum, auk forsíðu og formúlublaðs. Athugið að svo sé.
3. Athugaðu að spurningarnar vega ekki allar jafnt mikið.
4. Svaraðu öllum spurningum í svarhefti. Ekki verður farið yfir úrlausnir sem eru á krassblöðum eða á spurningahefti. Fyllirðu út í svarheftið er hægt að fá nýja hjá yfirsetumanni.
5. Ekki verður dregið frá fyrir röng svör.
6. Einu leyfilegu hjálpargögnin eru óforritanlegar reiknivélar og næstu tvær blaðsíður, en á þeim eru formúlur, fastar og lotukerfið. Þið megið rífa formúlublöðin frá verkefninu.
7. Í fjölvalsspurningunum skal rita bókstaf þess svarmöguleika sem þið veljið.
8. Spurningarnar eru í nokkrum liðum. Ef einhverjum lið er svarað rangt og svarið notað í síðari liðum verður ekki dregið frá í seinni liðunum svo framarlega sem útreikningarnir eru réttir.

1 **H** hydrogen 1,008																	2 **He** helium 4,003
3 **Li** lithium 6,941	4 **Be** beryllium 9,012											5 **B** boron 10,81	6 **C** carbon 12,01	7 **N** nitrogen 14,01	8 **O** oxygen 16,00	9 **F** fluorine 19,00	10 **Ne** neon 20,18
11 **Na** sodium 22,99	12 **Mg** magnesium 24,31											13 **Al** aluminum 26,98	14 **Si** silicon 28,09	15 **P** phosphorus 30,97	16 **S** sulfur 32,07	17 **Cl** chlorine 35,45	18 **Ar** argon 39,95
19 **K** potassium 39,10	20 **Ca** calcium 40,08	21 **Sc** scandium 44,96	22 **Ti** titanium 47,88	23 **V** vanadium 50,94	24 **Cr** chromium 52,00	25 **Mn** manganese 54,94	26 **Fe** iron 55,85	27 **Co** cobalt 58,93	28 **Ni** nickel 58,69	29 **Cu** copper 63,55	30 **Zn** zinc 65,39	31 **Ga** gallium 69,72	32 **Ge** germanium 72,61	33 **As** arsenic 74,92	34 **Se** selenium 78,96	35 **Br** bromine 79,90	36 **Kr** krypton 83,80
37 **Rb** rubidium 85,47	38 **Sr** strontium 87,62	39 **Y** yttrium 88,91	40 **Zr** zirconium 91,22	41 **Nb** nubidium 92,91	42 **Mo** molybdenum 95,94	43 **Tc** technetium (98)	44 **Ru** ruthenium 101,1	45 **Rh** rhodium 102,9	46 **Pd** palladium 106,4	47 **Ag** silver 107,9	48 **Cd** cadmium 112,4	49 **In** indium 114,8	50 **Sn** tin 118,7	51 **Sb** antimony 121,8	52 **Te** tellurium 127,6	53 **I** iodine 126,9	54 **Xe** xenon 131,3
55 **Cs** caesium 132,9	56 **Ba** barium 137,3	71 **Lu** lutetium 175,0	72 **Hf** hafnium 178,5	73 **Ta** tantalum 180,9	74 **W** tungsten 183,8	75 **Re** rhenium 186,2	76 **Os** osmium 190,2	77 **Ir** iridium 192,2	78 **Pt** platinum 195,1	79 **Au** gold 197,0	80 **Hg** mercury 200,6	81 **Tl** thallium 204,4	82 **Pb** lead 207,2	83 **Bi** bismuth 209,0	84 **Po** polonium (209)	85 **At** astatine (210)	86 **Rn** radon (222)
87 **Fr** francium (223)	88 **Ra** radium 226	103 **Lr** lawrencium (262)	104 **Rf** rutherfordium (261)	105 **Db** dubnium (262)	106 **Sg** seaborgium (266)	107 **Bh** bohrium (264)	108 **Hs** hassium (269)	109 **Mt** meitnerium (268)	110 **Ds** darmstadtium (281)	111 **Rg** roentgenium (272)	112 **Cn** copernicium (285)	113 **Uut** ununtrium	114 **Fl** flerovium (289)	115 **Uup** ununpentium	116 **Lv** livermorium (293)	117 **Uus** ununseptium	118 **Uuo** ununoctium
				57 **La** lanthanum 138,9	58 **Ce** cerium 140,1	59 **Pr** praseodymium 140,9	60 **Nd** neodymium 144,2	61 **Pm** promethium (145)	62 **Sm** samarium 150,4	63 **Eu** europium 152,0	64 **Gd** gadolinium 157,3	65 **Tb** terbium 158,9	66 **Dy** dysprosium 162,5	67 **Ho** holmium 164,9	68 **Er** erbium 167,3	69 **Tm** thulium 168,9	70 **Yb** ytterbium 173,0
				89 **Ac** actinium (227)	90 **Th** thorium 232,0	91 **Pa** protactinium 231,0	92 **U** uranium 238,0	93 **Np** neptunium (237)	94 **Pu** plutonium (244)	95 **Am** americium (243)	96 **Cm** curium (247)	97 **Bk** berkelium (247)	98 **Cf** californium (251)	99 **Es** einsteinium (252)	100 **Fm** fermium (257)	101 **Md** mendelevium (258)	102 **No** nobelium (259)

Dæmi 1: Amínósýrur (5 stig)

Á liðnu ári voru Nóbelsverðlaunin í efnafræði veitt fyrir þrívíddargreiningar á byggingu stórra vatnsleysanlegra sameinda. Dæmi um þannig sameindir eru prótein, en þau samanstanda af röð amínósýra sem tengjast saman í keðju með því að mynda svokölluð peptíðtengi sín á milli. Peptíðtengi myndast þegar karboxylhópur (-COOH) einnar amínósýru tengist amínóhóp (-NH_2) þeirrar næstu. Peptíð byrja alltaf á N-enda því að amónóhópur fyrstu amínósýrunnar myndar ekki tengi.
Hér sérðu mynd af tveimur amínósýrum, alanín og glýsín:



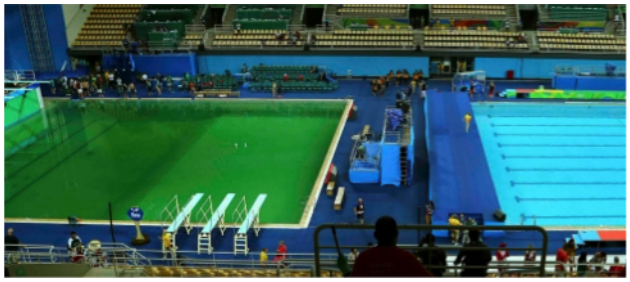
a) Teiknaðu mynd af sameindinni sem myndast þegar amínósýrurnar tvær hafa myndað peptíðtengi sín á milli. Láttu glýsín innihalda N-endann.

b) Ákveðin tegund aðdráttarkrafta milli atóma innan peptíðkeðjunnar sjá til þess að sameindin taki á sig þrívíða mynd. Hvað kallast þessi tegund efnatengja?
Veldu einn svarmöguleika og skrifaðu hann í svarheftið.

   i) jónatengi
   ii) rafeindapörun
   iii) samgild efnatengi
   iv) vetnistengi
   v) α-helixtengi

Dæmi 2: Ólympíusundlaugin í Ríó (17 stig)

Á Sumarólympíuleikunum í Ríó árið 2016 komst skærgrænn litur sundlaugarinnar í heimsfréttirnar. Nokkrar kenningar hafa komið fram um orsök litarins, þar á meðal skyndilegur vöxtur þörunga í lauginni. Enn eru uppi vangaveltur um þetta mál.



Greinilegur litamunur er á sundlaugunum tveimur

Þetta verkefni fjallar um viðbætt efni í sundlaugum og efnahvörf þeim tengdum.

Natríumhypoklórít, NaClO, er bætt út sundlaugar vegna sótthreinsandi áhrifa efnisins.

a) Hver er oxunartala klórs í natríumhypoklórít?

b) Hypoklórítjónin, ClO^-, er daufur basi. Skrifaðu efnajöfnu sem lýsir basískri hegðun jónarinnar í vatni.

HClO er áhrifaríkari sótthreinsir en ClO^-, vegna þess að það er auðveldara fyrir HClO að komast gegnum frumuveggi baktería.

c) Ef natríumhypoklórít er sett út í sundlaug og pH stillt að 7,2 með saltsýru, hve stórt hlutfall efnisins er þá á forminu HClO? HClO hefur $pK_a = 7{,}4$.

Við lágt sýrustig hvarfast HClO við klóríðjónir og við það myndast klórgas.

d) Skrifaðu stillta efnajöfnu sem fyrir efnahvarfið sem verður þegar klórgas myndast úr HClO og klóríðjónum í súrri lausn.

Forsvarsmenn Ólympíuleikanna í Ríó viðurkenndu að græni liturinn í sundlauginni hafi birst í kjölfar þess að þó nokkru magni af vetnisperoxíði (H_2O_2) hafi verið bætt út í laugina fyrir mistök. Við efnahvarfið milli vetnisperoxíðs og hypoklórítjóna myndast meðal annars klóríðjónir.

e) Skrifaðu stillta efnajöfnu fyrir efnahvarfið milli vetnisperoxíðs og hypoklórítjóna.

Hypoklórít hvarfast líka við ammóníak og myndefnið úr því hvarfi er niturtríklóríð, en niturtríklóríð er einmitt efnið sem gefur sundlaugum hina týpísku sundlaugalykt og veldur ertingi í augum.

f) Skrifaðu stillta efnajöfnu fyrir efnahvarfið milli ammóníaks og hypóklórítjóna.

g) Teiknaðu Lewis mynd af niturtríklóríð sameindinni. Sýndu allar óbundnar rafeindir.

h) Hversu stór eru hornin milli efnatengjanna í niturtríklóríð sameindinni?
Veldu einn svarmöguleika og skrifaðu hann í svarheftið.

   i) 109,5°
   ii) aðeins minni en 109,5°
   iii) aðeins stærri en 109,5°
   iv) 120°
   v) aðeins stærri en 120°
   vi) aðeins minni en 120°

Kopar(II)súlfati er stundum blandað út í sundlaugavatn en sumir halda að blöndun þess út í sundlauguina hafi valdið græna litnum í sundlauginni. Kopar(II) jónir eru einnig taldar orsök þess að aflitað hár sundkappans Ryan Lochte litaðist grænt við keppnina. Ef það reynist rétt hafa kopar(II) jónir fallið út í hárinu því að þar hafa verið leifar af basísku sjampói.

i) Hvaða græna efni féll mögulega út í hári sundkappans?

Dæmi 3: Sprengjusmiður (16 stig)

Sprengjusmiður (Brachinus crepitans) er smiðsbjalla af járnsmiðsætt og dregur nafn sitt af óvenjulegum varnarviðbrögðum sínum. Þegar bjallan verður fyrir árás skýtur hún frá sér heitum og ætandi vökva.
Í búk bjöllunnar er að finna tvö aðskilin hólf. Í öðru hólfinu er vetnisperoxíð vatnslausn en í hinu hólfinu er vatnslausn sem inniheldur lífrænt efnasamband sem hefur efnaformúluna $C_7H_8O_2$ (efni **A**). Þegar bjallan verður fyrir árás blandast vökvi úr báðum hólfunum í blöndunarhólfi sem inniheldur ensímið *katalas*, en það hvatar niðurbroti vetnisperoxíðs í súrefni og vatn.

a) Skrifaðu stillt efnahvarf fyrir niðurbrot vetnisperoxíðs.

b) Hvers konar hvarf er niðurbrotshvarfið?
Veldu einn svarmöguleika og skrifaðu hann í svarheftið.

   i) oxun (oxidation)
   ii) afoxun (reduction)
   iii) sundurstigunarhvarf (disproportionation reaction)
   iv) vötnun (hydrolysis)
   v) afvötnun (dehydration)

Milliefni úr niðurbroti vetnisperoxíðsins hvarfast við efni **A** og mynda efni **B**. Hægt er að einfalda hvörfin og líta svo á að allt súrefnið sem myndast við niðurbrotið hvarfist við **A** á eftirfarandi hátt:

$$\mathbf{A} + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow \mathbf{B} + H_2O$$

c) Skrifaðu efnaformúlu efnasambandsins **B**.

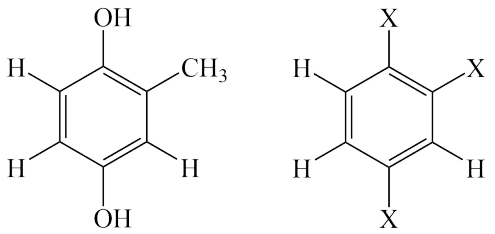
d) Skrifaðu efnajöfnu heildarefnahvarfsins, þ.e. hvernig **A** hvarfast við vetnisperoxíð og myndar efni **B**.

Hitastig hvarfblöndunnar sem gusar úr bjöllunni er við suðumark vatns en hitastig bjöllunnar er ekki nema 20 °C.

e) Reiknaðu varmaorkuna sem þarf til að hita 1,00 L af blöndunni að suðumarki. Gerðu ráð fyrir að eðlisvarmi og eðlismassi blöndunnar séu þeir sömu og fyrir vatn, 4,18 J/g°C og 1,00 g/mL.

f) Við blöndunina er notað er sama rúmmál lausnanna tveggja. Hver þarf lágmarks mólstyrkur vetnisperoxíðs að vera í vetnisperoxíðshólfi bjöllunnar svo að hvarfvarminn sé nægilegur til að hita blönduna að suðumarki? Staðalvermibreyting heildarhvarfsins (úr lið d) er $\Delta H^o = -203$ kJ/mol, fyrir hvert mól af **A**.

Efnasamband **A** sem er sýnt til vinstri hér að neðan er 1,2,4-þrísetinn bensen. Hægri myndin sýnir almenna mynd af 1,2,4-þrísetnum bensen þar sem sethóparnir þrír eru táknaðir með X.

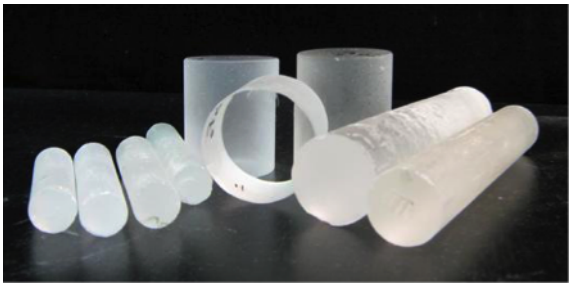


Efnasamband **A** 1,2,4-þrísetinn bensen

g) Gefum okkur að 1,2,4-þrísetinn bensen hafi þrjá ólíka sethópa (X, Y og Z). Hægt er að setja hópana á bensen hringinn á sex ólíka vegu, þ.e. til eru sex mögulegar byggingar af 1,2,4-þrísetnum bensen ef sethóparnir eru allir ólíkir (X, Y og Z). Teiknaðu þessar sex mögulegar byggingar efnisins.

h) Í efnasambandi **A** eru tveir sethópar eins (-OH) og svo er til einn -CH_3, hópur. Hversu margar mögulegar byggingar eru til af efnasambandi **A**? Teiknaðu þær.

Dæmi 4: Torleyst flúoríð sölt (14 stig)



Baríumflúoríð (BaF_2) er glært efni sem meðal annars er notað við ljósgreiningar og í linsur. Efnið er torleyst í vatni:

$$BaF_2(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + 2\,F^-(aq) \qquad K_{sp} = 1{,}5 \cdot 10^{-6} \quad \text{við } 25\ ^\circ\text{C}$$

a) Reiknaðu mólar leysni baríumflúoríðs við 25 °C.

b) Samanborið við mólar leysni BaF_2 í vatni, hvort er mólar leysni BaF_2 meiri, minni eða sú sama í eftirfarandi lausnum? Útskýrið.

   i) 0,10 M $Ba(NO_3)_2$

   ii) 0,10 M HNO_3

Blýflúoríð (PbF_2) er annað torleyst flúoríð salt sem hægt er að bæta út í gler til að lækka bræðslumark þess. Leysnimargfeldi fyrir PbF_2 er $K_{sp} = 4{,}0 \cdot 10^{-8}$.

c) Nemandi ætlar að ákvarða leysnimargfeldi K_{sp} í verklegri æfingu. Hann notar 0,10 M $Pb(NO_3)_2$ og 0,10 M KF lausnir og notar raðþynningu til að finna lægsta mólstyrk $[Pb^{2+}]$ og $[F^-]$ sem gefur botnfall þegar lausnunum er blandað saman. Nemandinn reiknar svo K_{sp} út frá styrkjum jónanna í blönduðu lausninni sem gaf botnfallið. Mun K_{sp} gildið sem nemandinn reiknar vera of stórt, of lítið eða hárrétt? Útskýrið.

d) i) Lausn er 0,010 M $Ba(NO_3)_2$ og 0,010 M $Pb(NO_3)_2$. Nú er NaF(s) er bætt út í lausnina, hvort mun þá BaF_2 eða PbF_2 falla út á undan? Rökstyðjið með útreikningum.

   ii) Þegar auðleystara flúoríðið byrjar að falla út, hver er þá styrkur katjónar þess efnis sem er torleystara?

Dæmi 5: Galvanískar sellur (13 stig)

Galvanískar sellur eru nefndar eftir franska eðlisfræðingnum Luigi Galvani. Í slíkum sellum eiga sér stað sjálfgeng oxunar-afoxunarhvörf sem framleiða raforku. Sella samanstendur af tveimur rafskautum sem gjarnan eru úr sitthvorum málminum. Á öðru rafskautinu fer fram oxunarhvarf en á hinu fer fram afoxunarhvarf.
Í þessu dæmi er fjallað um galvaníska sellu sem byggist á eftirfarandi tveimur hálfhvörfum:

$$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr \qquad E^\circ = -0{,}744\ \text{V}$$

$$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni \qquad E^\circ = -0{,}236\ \text{V}$$

a) Skrifaðu stillta efnajöfnu fyrir heildarhvarf sellunnar.

b) Þegar sellan gengur þá eykst massi annars rafskautsins á sama tíma og massi hins rafskautsins minnkar. Hvort eykst massi Cr eða Ni þegar sellan gengur? Útskýrið.

c) Reiknaðu E^o_{cell}.

d) Ákvarðaðu staðal frjálsorkubreytinguna, ΔG^o, fyrir hvarf sellunnar við 25 °C.

e) Reiknaðu gildið á jafnvægisfastanum K fyrir hvarf sellunnar við 25 °C.

f) Reiknaðu spennu sellunnar við 25 °C ef styrkirnir $[Cr^{3+}]$ og $[Ni^{2+}]$ eru báðir 0,010 M.

Dæmi 6: Kopar (15 stig)

Koparsúlfat lausn inniheldur 15,00% $CuSO_4$ (af massa) og hefur eðlismassann 1,169 g/mL. 25,00 mL af lausninni var hvarfað við yfirmagn af mettaðri NH_3 lausn. Við það myndaðist dökkblátt botnfall sem síðan var síað frá lausninni og þurrkað og mældist massi þess 6,127 g.

a) Ákvarðaðu mólstyrk Cu^{2+} í upphaflegu lausninni.

b) Ákvarðaðu mólfjölda af Cu^{2+} í 25,00 mL lausninni.

Til að ákvarða magn NH_3 í botnfallinu var 0,195 g af botnfallinu títrað með 0,1036 *M* HCl lausn. Það þurfti 30,63 mL af sýrunni að endapunkti títrunar.

Til að ákvarða magn Cu^{2+} í botnfallinu var 0,150 g af botnfallinu títrað með 0,0250 *M* EDTA (sem hvarfast við Cu^{2+} í hlutfallinu 1:1). Það þurfti 24,43 mL af EDTA lausninni að endapunkti títrunar.

Til að ákvarða magn vatns í botnfallinu var 0,200 g af botnfallinu hitað að 110 °C svo að allt vatn gufaði upp og eftir stóð 0,185 g af vatnsfríu efni.

c) Reiknaðu massaprósentu eftirfarandi efna í botnfallinu:

   i) NH_3
   ii) Cu^{2+}
   iii) H_2O
   iv) ${SO_4}^{2-}$

d) Gefið er að botnfallið er hreint efnasamband. Notaðu upplýsingar úr lið c) til að ákvarða efnaformúlu efnasambandsins.

e) Cu^{2+} var takmarkandi hvarfefnið í efnahvarfinu. Reiknaðu prósentunýtni efnahvarfsins.

Dæmi 7: Vetnissúlfíð á Íslandi (20 stig)

Vetnissúlfíð (H_2S) er eitt algengasta gasið sem finnst á jarðhitasvæðum. Það er rokgjarnt og losnar út í andrúmsloftið í varmaaflsvirkjunum og getur mögulega valdið skaða á umhverfinu. H_2S er eitrað enda getur nef okkar skynjað það þótt það sé af mjög lágum styrk, að jafnaði lægri en 10 $\mu g/m^3$. Lyktin minnir á úldin egg. H_2S er einnig að finna í jarðhitavatni sem notað er til húshitunar og baða á Íslandi og lyktin er oft eitt það fyrsta sem ferðamenn taka eftir þegar þeir fara í íslenska sturtu.
Styrkur H_2S í jarðhitavatni stjórnast af hitastigsháðu jafnvægi við súlfíð og oxíðsteindir í bergi jarðvarmakerfisins, þ.e.

$$FeS_2(s) + 2\ FeS(s) + 4\ H_2O(l) \rightleftharpoons Fe_3O_4(s) + 4\ H_2S(aq)$$

a) Skrifaðu jöfnu jafnvægisfastans, K, fyrir þetta efnahvarf og einfaldaðu eins og hægt er.

b) Notaðu varmafræðigögnin í eftirfarandi töflu til að reikna $\Delta_r H^o$ og $\Delta_r S^o$ fyrir hvarfið hér að ofan. Er hvarfið innvermið (endothermic) eða útvermið (exothermic) við staðalaðstæður?

Efni	$\Delta_f H^o$ kJ/mol	S^o J/(K · mol)
$FeS_2(s)$	−167,36	53,83
$FeS(s)$	−101,67	60,33
$Fe_3O_4(s)$	−1120,89	145,17
$H_2O(l)$	−285,83	69,95
$H_2S(aq)$	−3,21	243,85

c) Ef gert er ráð fyrir að ΔH^o og ΔS^o séu óháð hitastigi, reiknaðu þá $\Delta_r G^o$ og jafnvægisfastann, K fyrir efnahvarfið við 75 °C. Er hvarfið sjálfgengt (spontaneous) við 75 °C? Mun styrkur H_2S í jarðvarmavatninu aukast eða minnka með hækkandi hitastigi?

d) Reiknaðu styrk $H_2S(aq)$ í jarðvarmavatni við 75 °C. Gerðu ráð fyrir að H_2S hvorki gufi upp né brotni niður.

e) H_2S er dauf tvívirk (diprotic) sýra með klofnunarfasta $K_{a1} = 9{,}6 \cdot 10^{-8}$ og $K_{a2} = 1{,}3 \cdot 10^{-14}$. Myndir þú gera ráð fyrir að heildarstyrkur uppleysts súlfíðs ($H_2S + HS^- + S^{2-}$) væri hærri við $pH = 10$ en við $pH = 5$? Sannreyndu ályktun þína með því að reikna heildarstyrk uppleysts súlfíðs við $pH = 5$ og $pH = 10$.

Í raun er ΔH^o og ΔS^o háð hitastigi og K er mjög háð hitastigi. Þess vegna hefur styrkur H_2S í gufusýnum sem tekin eru við yfirborð jarðar verið notaður til að áætla hitastig undirliggjandi jarðvarmakerfis. Þessi aðferð, þ.e. að nota samband milli hitastigs jarðvarmakerfisins og styrks einhvers efnis við yfirborð, kallast *geothermometry*.

Mæligögn sem sýna hvernig jafnvægisfasti efnahvarfsins hér að ofan er háð hitastigi hafa verið nálguð með eftirfarandi jöfnu sem áætlar hitastig (í K) jarðvarmakerfisins út frá styrk H_2S í jarðvarmagufunni:

$$T = 4{,}811Q^2 + 66{,}152Q + 450{,}8$$

þar sem Q er lógariþminn (log_{10}) af styrk H_2S í gufunni, í mmol/kg.

f) Mældur styrkur H_2S í gufusýni sem safnað var úr gufuhveri við Kröflu á Íslandi, var 917 mg/kg. Notaðu formúluna hér að ofan til að áætla hitastig jarðvarmakerfisins Kröflu.