

Dansk KemiolympiadeKomite

Dansk Kemiolympiade 2008

2. runde i København 18. januar 2008

**Skriv dit OL- nr. på alle de efterfølgende sider
– inden du begynder at se på opgaverne**

Hjælpemidler: Lommeregner, DATABOG, fysik-kemi, Kemisk Formelsamling eller Formelsamling KEMI.

Opgavernes antal og mængden af arbejde er gjort så stor, at du er tvunget til at udvælge og prioritere. Dette er gjort for, at situationen skal minde så meget som muligt om forholdene under den Internationale Kemiolympiade (IChO), hvor det drejer sig om at finde de bedste blandt eliten af kemielever på jeres alder i hele verden. Husk på, at du er med i dag, fordi du hører til blandt de bedste af alle danske kemielever. Bliv derfor ikke skuffet, når du løber ind i vanskeligheder med disse opgaver.

Det er angivet, hvor mange point de enkelte spørgsmål giver for korrekt besvarelse. Det er ikke en eksamen eller prøve, der ender med en karakter. Formålet er udelukkende at finde de bedste af jer som deltagere i to Kemi-Camp's samt endelige deltagere i den **40. IChO i Ungarn**.

SMÅ OPGAVER (*multiple choice*)**OPGAVE 1** (5 point)

Hvilken af nedenstående forbindelser absorberer gasformig carbondioxid mest effektivt?

- | | | |
|-----|-----------------------|-------------------------------------|
| (a) | fast KOH | ☒ |
| (b) | fast SiO ₂ | ☐ |
| (c) | vandig HCl | ☐ |
| (d) | vandig NaF | ☐ |

OPGAVE 2 (5 point)

Hvor stort et rumfang 0,150 M H₂SO₄ skal der anvendes for at neutraliser en blanding af 20,0 mL 0,200 M NaOH og 40,0 mL 0,0500 M Ca(OH)₂?

- | | | |
|-----|---------|-------------------------------------|
| (a) | 20,0 mL | ☐ |
| (b) | 26,7 mL | ☒ |
| (c) | 40,0 mL | ☐ |
| (d) | 53,3 mL | ☐ |

OPGAVE 3 (5 point)

En forbindelse med formlen X₂O₅ indeholder 34,8 masse-% oxygen. Hvilket grundstof er X?

- | | | |
|-----|----------|-------------------------------------|
| (a) | arsen | ☒ |
| (b) | carbon | ☐ |
| (c) | phosphor | ☐ |
| (d) | samarium | ☐ |

OPGAVE 4 (5 point)

Hvilken af nedenstående reaktioner har en positiv $\Delta S^\ominus$?

- | | | |
|-----|--|-------------------------------------|
| (a) | $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Br}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgBr}(\text{s})$ | ☐ |
| (b) | $2 \text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) + 3 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4 \text{CO}_2(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ | ☐ |
| (c) | $\text{N}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{H}_4(\text{g})$ | ☐ |
| (d) | $2 \text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$ | ☒ |

OPGAVE 5 (5 point)

Hvad er den molare masse af en gas med densiteten 5,66 g/L ved 35 °C og 0,993bar?

(a) $127 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$

☐

(b) $141 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$

☐

(c) $143 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$

☐

(d) $146 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$

☒**OPGAVE 6 (5 point)**

Reaktionen $A \rightarrow B$ er en førsteordens reaktion med hensyn til A, hastighedskonstanten er $2.08 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$. Hvor lang tid tager det for [A] at ændre sig fra 0,100 M til 0,0450 M?

(a) 0,0166 s

☐

(b) 16,7 s

☐

(c) 38,4 s

☒

(d) 107 s

☐**OPGAVE 7 (5 point)**

Når reaktionsskemaet: $\text{Cl}^- + \text{ClO}_3^- \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ afstemmes i sur opløsning

Hvad bliver forholdet mellem Cl^- og ClO_3^- ?

(a) 1 / 1

☐

(b) 2 / 1

☐

(c) 3 / 1

☐

(d) 5 / 1

☒

OPGAVE 8 (5 point)

Hvor mange uparrede elektroner har Co^{2+} ion (g) i sin grundtilstand?

- | | |
|-------|-------------------------------------|
| (a) 2 | ☐ |
| (b) 3 | ☒ |
| (c) 4 | ☐ |
| (d) 5 | ☐ |

OPGAVE 9 (5 point)

En vandig opløsning af CuSO_4 elektrolyseres med en elektrisk strømstyrke på 1,50 A i 30,0 minutter. Hvor stor bliver massen af det dannede frie kobber?

- | | |
|-------------|-------------------------------------|
| (a) 0,889 g | ☒ |
| (b) 1,19 g | ☐ |
| (c) 1,78 g | ☐ |
| (d) 3,56 g | ☐ |

OPGAVE 10 (5 point)

Hvilken af nedenstående forbindelser har samme antal elektroner omkring centralatomet som omkring centralatomet i SiF_4 ?

- | | | |
|-----|------------------|-------------------------------------|
| (a) | SF_4 | ☐ |
| (b) | XeF_4 | ☐ |
| (c) | ClF_4^+ | ☐ |
| (d) | BF_4^- | ☒ |

OPGAVE 11 (5 point)

Beregn pH af en 0,15 M opløsning af HClO

- (a) 3,77 ☐
- (b) 4,18 ☒
- (c) 6,71 ☐
- (d) 8,36 ☐

OPGAVE 12 (5 point)CaF₂ har opløselighedsproduktet, $K_o = 3,9 \cdot 10^{-11}$ ved 25 °C. Hvad er [F⁻] i en mættet opløsning af CaF₂ at 25 °C?

- (a) $2,1 \cdot 10^{-4}$ M ☐
- (b) $3,4 \cdot 10^{-4}$ M ☐
- (c) $4,3 \cdot 10^{-4}$ M ☒
- (d) $6,8 \cdot 10^{-4}$ M ☐

OPGAVE 13 (5 point)Hvilken af nedenstående forbindelser er **mindst** opløselig i vand?

- (a) CH₃CH₂CH₂F ☒
- (b) CH₃CH₂CH₂NH₂ ☐
- (c) CH₃CH₂CH₂OH ☐
- (d) CH₃CH₂CH₂COOH ☐

STØRRE OPGAVER**OPGAVE 14****Syre-base**

Kaliumhydrogenphthalat (KHP), der fås som et meget rent og vandfrit salt, anvendes meget ofte til "indstille" opløsninger af stærke baser.

- a) 0,4100 g KHP afvejes og opløses i 25,00 mL vand. Beregn pH i denne opløsning (10 point)

Amfolyt opløsning; $\text{pH} = \frac{1}{2}(\text{p}K_s(\text{H}_2\text{P}) + \text{p}K_s(\text{HP}^-)) = \frac{1}{2}(2,95 + 5,41) = 4,18$

$$n(\text{KHP}) = \frac{m(\text{KHP})}{M(\text{KHP})} = 2,008 \text{ mmol; skal anvendes senere.}$$

Den ovenstående opløsning titreres med NaOH(aq).

- b) Ved ækvivalenspunktet er der tilsat 19,50 mL NaOH(aq). Beregn stofmængdekonzentrationen af NaOH (10 point)

$$n(\text{HP}^-) = n(\text{NaOH}) \Rightarrow c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{KHP})}{V(\text{NaOH})} = \frac{0,4100}{204,2 \cdot 0,1950} = 0,1030 \text{ M}$$

pH måles, på et tidspunkt, under titreringen til 5,85

- c) Bestem sammensætningen af opløsningen ved denne pH. (10 point)

Puffer bestående af HP^- og P^{2-}

$$\text{pH} = 5,41 + \log \frac{n(\text{P}^{2-})}{n(\text{HP}^-)} \Rightarrow 5,85 = 5,41 + \log \frac{n(\text{P}^{2-})}{2,008 - n(\text{P}^{2-})} \Rightarrow n(\text{P}^{2-}) = 1,473 \text{ mmol}$$

og $n(\text{HP}^-) = 0,535 \text{ mmol}$

d) Beregn pH ved ækvivalenspunktet (10 point)

Opløsning af P^{2-} - ikke stærk base – (svag base)

$$pOH = \frac{1}{2} (pK_b - \log c_b) = \frac{1}{2} (8,59 - \log \frac{2,008}{25,00 + 19,50}) \Leftrightarrow$$

$$pOH = \frac{1}{2} (8,59 + \log 0,04512) = 4,92 \Rightarrow pH = 9,18$$

e) Beregn pH efter tilsætning 39,00 mL NaOH(aq) (10 point)

Overskud af stærk base.

$$n(\text{NaOH})_{\text{OVERSKUD}} = 39,00 \text{ mL} \cdot 0,1030 \text{ M} - 2,008 \text{ mmol} = 2,008 \text{ mmol}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{2,008}{25,00 + 39,00} = 0,03138 \text{ M} \Rightarrow pOH = -\log(0,03138) = 1,50$$

$$pH = 12,50$$

OPGAVE 15

Brændt kalk

- a) Opskriv et afstemt reaktionsskema for dannelsen af brændt kalk, CaO(s) ud fra kalk, CaCO₃(s) (10 point)



- b) Beregn $\Delta H^\ominus$ og $\Delta S^\ominus$ for denne reaktion (10 point)

$$\Delta H^\ominus = -634,92 - (-393,51) - (-1206,92) = 178,49 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta S^\ominus = 38,1 + 213,79 - 92,9 = 158,99 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

- c) Beregn ligevægtskonstanten for reaktionen (10 point)

$$\Delta G^\ominus = \Delta H^\ominus - T \cdot \Delta S^\ominus = 178,49 - 298 \cdot 0,159 = 131,1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Rightarrow K = e^{\left(\frac{-\Delta G}{R \cdot T}\right)} = 1,0 \cdot 10^{-23} \text{ bar}$$

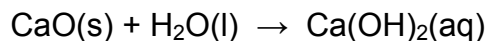
Reaktionen er ikke termodynamisk spontant ved standard betingelser og stuetemperatur.

- d) Forklar hvorfor ikke og beregn ved hvilken temperatur reaktionen bliver spontan. (10 point)

$$\text{Fordi } \Delta G^\ominus > 0; \Delta H^\ominus - T \cdot \Delta S^\ominus = 0 \Rightarrow T = \frac{178,49}{0,159} = 1123 \text{ K} = 849^\circ \text{C}$$

Når brændt kalk blandes med vand, dannes en ætsende opløsning af calciumhydroxid, kaldet læsket kalk.

- e) Opskriv et afstemt reaktionsskema for denne reaktion (10 point)



1,045 g CaO(s) tilsættes 50,0 mL vand ved 25°C i et godt isoleret bæger. Temperaturen i vandet stiger til 32,3°C. Den specifikke varmekapacitet for vand er 4,18 J / (g K). Antag at bægeret ikke optager varme fra reaktionen.

- f) Beregn $\Delta H^\ominus$ for reaktionen.

$$Q = 4,18 \cdot 50 \cdot (32,3 - 25,0) = 1526 \text{ J} \Rightarrow \Delta H^\ominus = -1526 \text{ J per 1,045 g}$$

$$n(\text{CaO}) = \frac{1,045}{56,08} \text{ mol} = 0,0187 \text{ mol}$$

$$\Delta H^\ominus = -\frac{1526}{0,0187} = -81,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

OPGAVE 16**Chrom**

Chrom er et vigtig brugsmetal. Det mest almindelige chrommineral er chromit. Chromit indeholder (efter masse) 24,95 % Fe, 46,46 % Cr og resten er oxygen.

a) Vis at chromit har den empiriske formel FeCr_2O_4 (10 point)

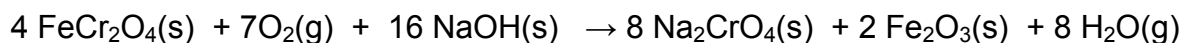
$$n(\text{Fe}) = \frac{24,95}{55,845} = 0,4468 \text{ mol}$$

$$n(\text{Cr}) = \frac{46,46}{51,996} = 0,8935 \text{ mol} \Rightarrow \text{FeCr}_2\text{O}_4$$

$$n(\text{O}) = \frac{28,59}{16,00} = 1,7869 \text{ mol}$$

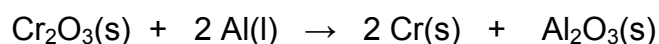
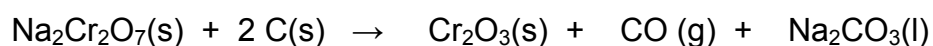
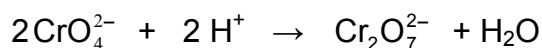
Første trin i fremstillingen af chrom er oxidation med oxygen i en smelte af natriumhydroxid.

b) Afstem nedenstående reaktionsskema (10 point)



Natirumchromat omdannes vha. svovlsyre til natriumdichromat, som så reduceres til chrom(III)oxid af carbon. Chrom(III)oxidet reduceres til sidst til chrom, her anvendes aluminium som reduktionsmiddel.

c) Afstem nedenstående reaktionsskemaer (10 point)



100 ton chromit skal omdannes til frit chrom.

- d) Beregn den nødvendige stofmængde af carbon og massen af den dannede chrom (*10 point*)

$$n(\text{chromit}) = \frac{100000000}{223,84} = 446747,67 \text{ mol}$$

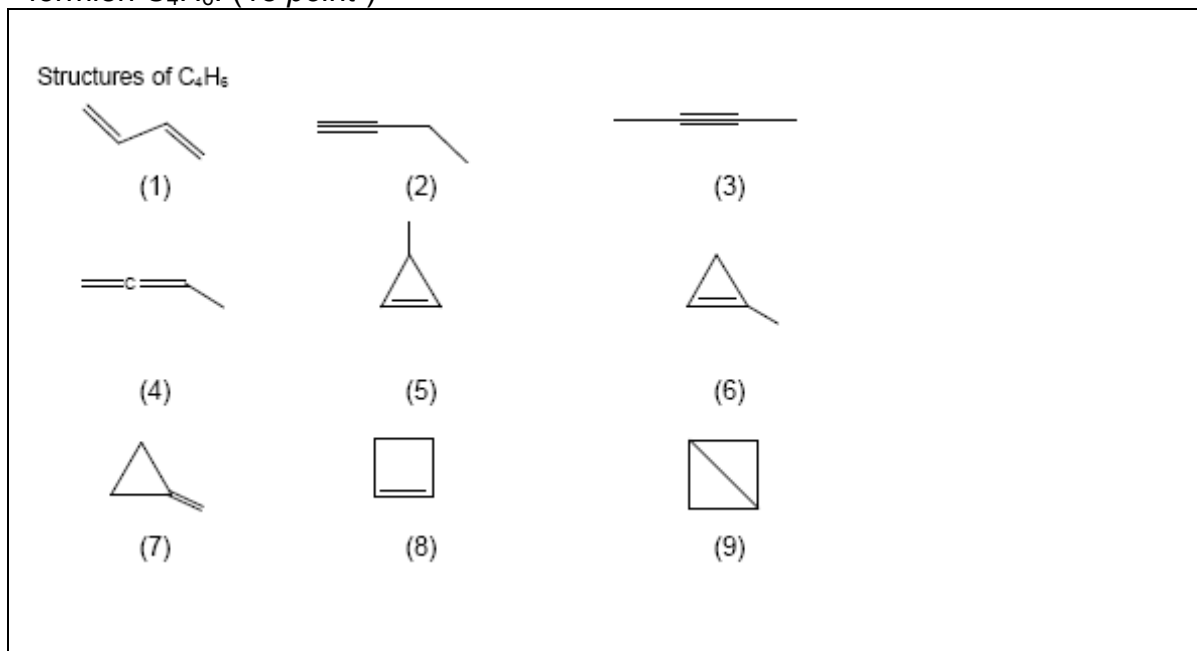
$$n(\text{C}) = 2 \cdot n(\text{chromit}) = 893495,35 \text{ mol} \approx 8,93 \cdot 10^5 \text{ mol}$$

$$n(\text{Cr}) = 2 \cdot n(\text{chromit}) = 8,93 \cdot 10^5 \text{ mol} \Rightarrow \begin{aligned} m(\text{Cr}) &= 51,996 \text{ g/mol} \cdot 8,93 \cdot 10^5 \text{ mol} \\ m(\text{Cr}) &= 46,46 \text{ ton} \end{aligned}$$

OPGAVE 17

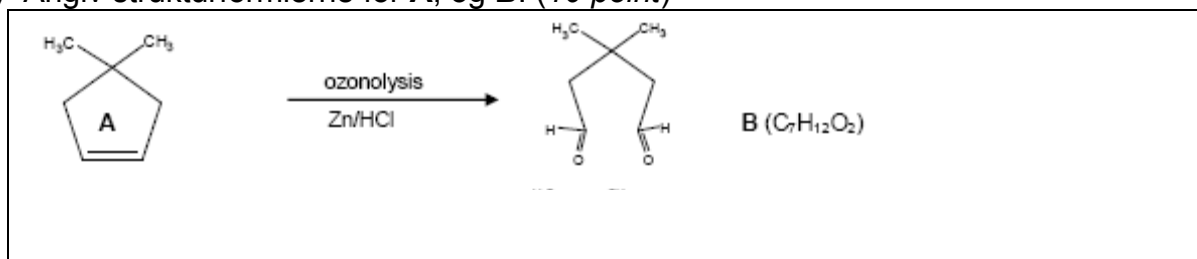
Der findes ni forskellige strukturisomere stoffer med molekylformlen C_4H_6 .

- a) Opskriv strukturformlerne for så mange som muligt af de ni stoffer med molekylformlen C_4H_6 . (18 point)



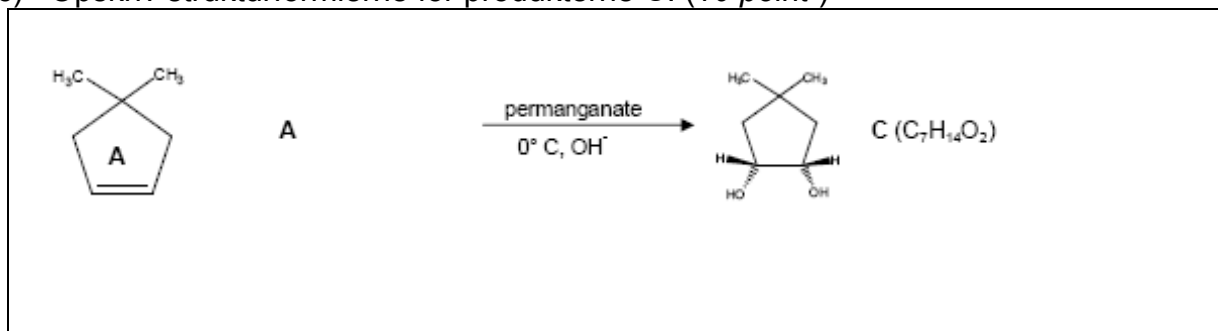
En cyklisk forbindelse **A** (C_7H_{12}) gennemgår ozonolyse og efterfølgende behandling med zink og saltsyre, hvorved der dannes en ikke cyklisk forbindelse, **B** ($C_7H_{12}O_2$) 3,3-dimethylpentan-1,5-dial

- b) Angiv strukturformlerne for **A**, og **B**. (10 point)



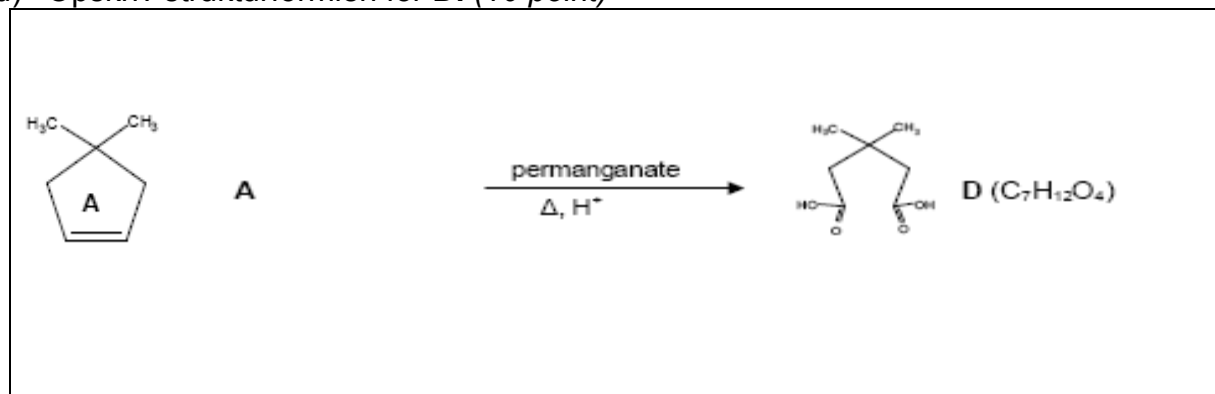
Hvis **A** reagerer med permanganat-ioner i basisk opløsning ved 0 °C dannes En cyklisk forbindelse **C** ($C_7H_{14}O_2$). **C** er ikke optisk aktiv.

c) Opskriv strukturformlerne for produkterne **C**. (10 point)



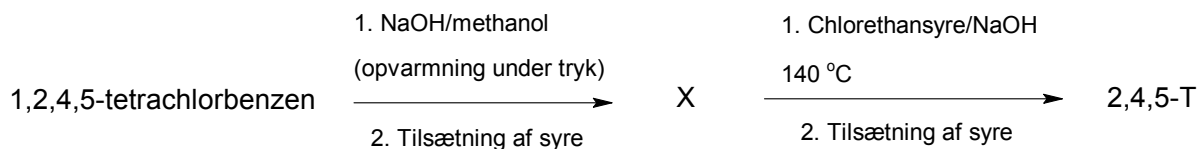
Hvis **A** reagerer med permanganat-ioner i sur opløsning dannes en ikke cyklisk forbindelse **D** ($C_7H_{12}O_4$).

d) Opskriv strukturformlen for **D**. (10 point)



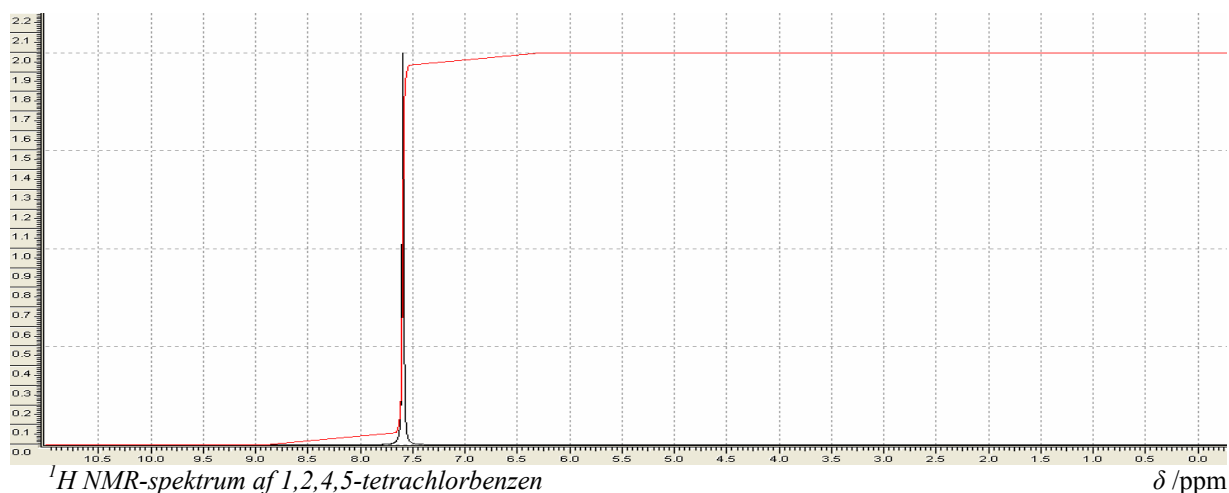
OPGAVE 18

Agent Orange var navnet på et afløvningsmiddel, som blev anvendt under Vietnamkrigen. Det bestod af en blanding af lige dele 2,4-D og 2,4,5-T. Nedenfor ses en syntesevej til 2,4,5-T.

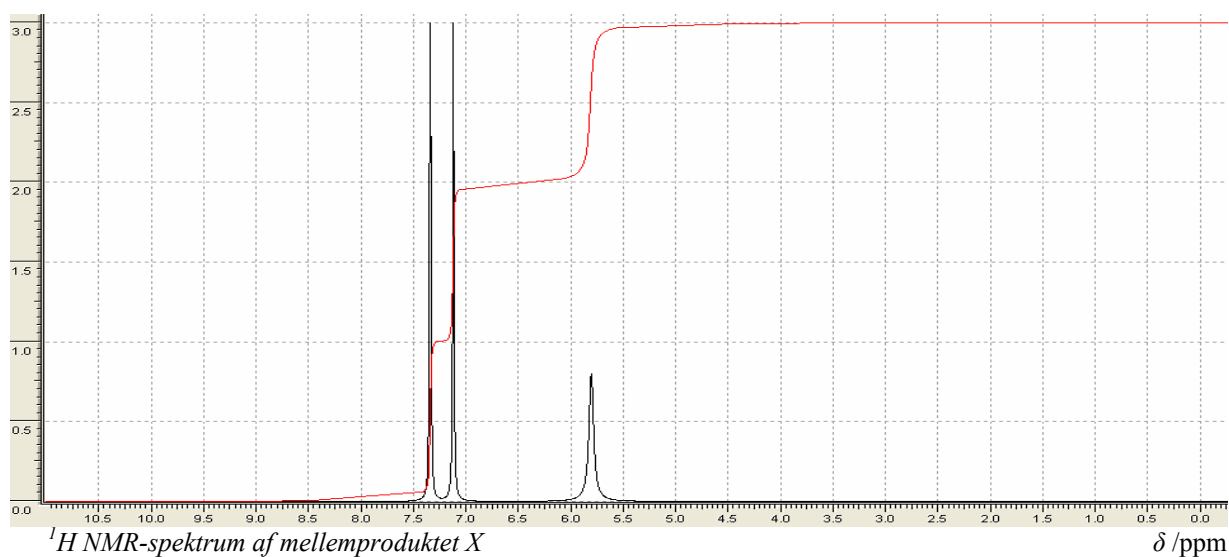


Nedenfor ses ^1H NMR spektrene for 1,2,4,5-tetrachlorbenzen, mellemproduktet **X** og 2,4,5-T.

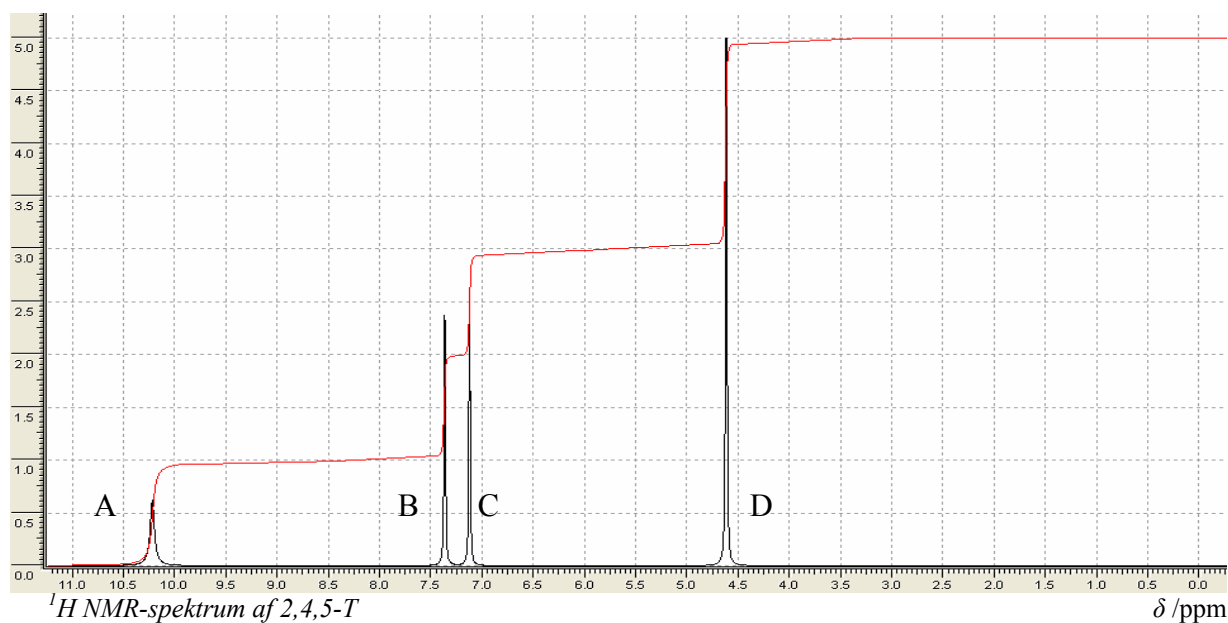
Efter første trin i syntesen gøres reaktionsblandingen sur. Hvis man erstatter en normal syre (H_3O^+) med en deutereret syre (D_3O^+) forsvinder toppen ved 5,8 ppm i ^1H NMR spektret for mellemproduktet **X**.



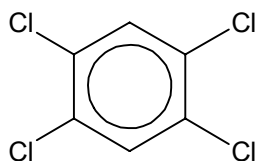
^1H NMR-spektrum af 1,2,4,5-tetrachlorbenzen



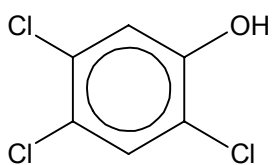
^1H NMR-spektrum af mellemproduktet **X**



a) Opskriv strukturformlen for 1,2,4,5-tetrachlorbenzen. (10 point)

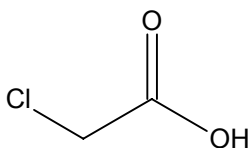


b) Foreslå en strukturformel for mellemproduktet X, og angiv det systematiske navn. (10 point)

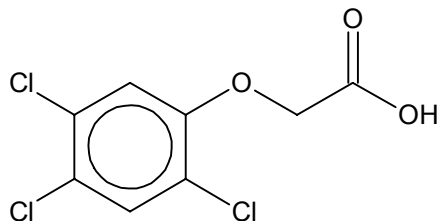


2,4,5-trichlorphenol

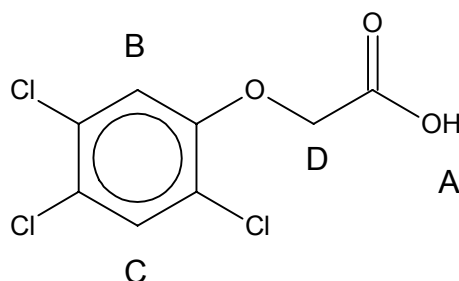
c) Tegn strukturformlen for chlorethansyre. (10 point)



d) Foreslå en strukturformel for 2,4,5-T. (10 point)



e) Lav en tilordning af protonerne i 2,4,5-T til toppene A, B, C og D i ^1H NMR spektret for 2,4,5-T. (10 point)



B og C kan byttes om.

På trods af, at 2,4,5-T er et meget effektivt herbicid, er den kommercielle anvendelse af stoffet blevet begrænset på grund af en mindre forekomst af det ekstremt giftige stof dioxin. Dioxin *kan* dannes ud fra mellemproduktet **X** under syntesen af 2,4,5-T.



^1H NMR spektret for dioxin viser kun én top ved 7,2 ppm.

f) Foreslå en strukturformel for dioxin. (10 point)

