

OSNOVNA ŠOLA HUDINJA

VPLIV VRSTE OKSIDANTA NA ZGOREVANJE NEKATERIH OGLJIKOVIH HIDRATOV



avtorja:

ALJOŠA ALEKSOVSKI

ANŽE GODICELJ

mentor:

BOŠTJAN ŠTIH, prof. biologije in kemije

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, 2008

KAZALO VSEBINE

Kazalo vsebine.....	1
Kazalo slikovnega gradiva	2
Povzetek.....	3
1 Uvod.....	4
1.1 Teoretske osnove	4
1.2 Opis raziskovalnega problema.....	6
1.3 Hipoteze	6
1.4 Raziskovalne metode	7
1.4.1 Izbor primernih goriv in oksidantov	7
1.4.2 Priprava reakcijskih zmesi	7
1.4.3 Sežig reakcijskih zmesi in določanje časa gorenja	7
1.4.4 Priprava pisnega poročila.....	7
2 Osrednji del	8
2.1 Predstavitev raziskovalnih rezultatov	8
2.1.1 Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja	8
2.1.2 Vpliv vrste goriva na čas zgorevanja.....	9
2.1.3 Vpliv vrste oksidanta na maso trdnega preostanka	10
2.1.4 Vpliv vrste goriva na maso trdnega preostanka.....	11
2.2 Diskusija.....	12
3 Zaključek	14
4 Viri in Literatura.....	15

KAZALO SLIKOVNEGA GRADIVA

Grafikon 1: Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja glukoze	8
Grafikon 2: Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja saharoze	8
Grafikon 3: Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja škroba.....	8
Grafikon 4: Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja lesa	8
Grafikon 5: Vpliv vrste goriva na čas zgorevanja ob uporabi KMnO_4	9
Grafikon 6: Vpliv vrste goriva na čas zgorevanja ob uporabi KNO_3	9
Grafikon 7: Vpliv vrste goriva na čas zgorevanja ob uporabi KClO_3	9
Grafikon 8: Vpliv vrste oksidanta na maso trdega preostanka pri zgorevanju glukoze.....	10
Grafikon 9: Vpliv vrste oksidanta na maso trdega preostanka pri zgorevanju saharoze	10
Grafikon 10: Vpliv vrste oksidanta na maso trdega preostanka pri zgorevanju škroba.....	10
Grafikon 11: Vpliv vrste oksidanta na maso trdega preostanka pri zgorevanju lesa	10
Grafikon 12: Vpliv vrste goriva na maso preostanka ob uporabi KMnO_4	11
Grafikon 13: Vpliv vrste goriva na maso preostanka ob uporabi KNO_3	11
Grafikon 14: Vpliv vrste goriva na maso preostanka ob uporabi KClO_3	11

POVZETEK

V najini raziskovalni nalogi sva ugotavljala vpliv oksidantov na zgorevanje nekaterih ogljikovih hidratov. Ugotovila sva, da določen oksidant podobno vpliva na zgorevanje različnih ogljikovih hidratov, da je čas zgorevanja odvisen predvsem od vrste oksidanta v zmesi, da pa na maso trdnega preostanka po zgorevanju vplivata tako vrsta oksidanta, kot tudi vrsta izbranega ogljikovega hidrata v zmesi.

Pri delu sva uporabljala predvsem metodo eksperimentalnega dela, poleg tega pa sva podatke pridobila tudi s kemijskimi izračuni.

1 UVOD

1.1 Teoretske osnove

Pri večini kemijskih reakcij se sprošča toplota. To so eksotermne reakcije. Energijo, ki se sprošča pri eksotermnih reakcijah potrebujemo za delovanje mnogih stvari. Za večino eksotermnih reakcij so potrebna goriva.

Goriva so snovi, ki reagirajo s kisikom in pri tem oddajajo toploto. Premog, zemeljski plin, bencin in les so goriva. Večino energije, ki jo človeška družba potrebuje za ogrevanje, kuhanje, transport, industrijo in sploh za delovanje vseh stvari, dobimo iz goriv. Tudi delovanje našega telesa omogoča gorivo, ki ga imenujemo hrana. (Holman, 1998)²

Zmesi goriva in oksidanta so znane po svoji burni reakciji, pri kateri se v trenutku sprosti veliko energije, toplote in svetlobe, zanje je tudi značilna velika hitrost kemijske reakcije. Primer takšne zmesi je črni smodnik. Veliko se uporablja kot potisni eksploziv v pirotehnični industriji. Vsako gorivo potrebuje za svoje izgorevanje velike množine kisika, če temu v pravilnem razmerju dodamo močan oksidant, ki ob segrevanju oddaja kisik, bo reakcija burna in hitra (Lozinšek, 2008).⁵

Oksidanti so spojine, ki oddajajo kisik, da mešanica zgori. Zaradi svoje kemijske zgradbe imajo te spojine odvečen kisik, ki ga lahko oddajo, posebno pri višjih temperaturah. Oksidante gleda na njihovo burno reakcijo in nevarnost pri tem razdelimo v 4 razrede, ki jih je določila organizacija NFPA⁸ (National Fire Protection Association):

Razred	Opis
Razred 1	Oksidanti tega razreda v majhni meri povečajo moč in hitrost gorenja
Razred 2	Oksidanti tega razreda srednje povečajo moč ognja in lahko povzročijo samovžig, če pridejo v stik z gorljivim predmetom
Razred 3	Oksidanti te skupine močno povečajo moč gorenja ob stiku z gorljivo snovjo, ali pa ob katalitični reakciji oziroma na vročini burno razpadejo.
Razred 4	Oksidanti te skupine ob katalitični reakciji ali ob vročini eksplodirajo.

Tabela 1: Klasifikacija oksidantov po NFPA

² Holman, J.: Svet snovi, Založba Obzorja, Maribor 1998, str. 170.

⁵ <http://www.kemija.org> (27. 2.2008)

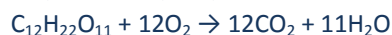
⁸ http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/oxidizing/oxidizing_hazards.html (27. 2.2008)

Kalijev permanganat, KMnO_4 je močan oksidant, dobro topen v vodi. Nahaja se v obliki črno-škrlatno-temno rumenega prahu, brez vonja.¹⁰ Pri segrevanju sprošča kisik po enačbi:



Pri gorenju saharoze poteče termični razkroj kalijevega permanganata, sproščeni kisik pa povzroči gorenje saharoze. Ta bi brez oksidanta le pooglenela. Namesto saharoze lahko uporabimo tudi kak drug ogljikov hidrat.

Reakcija, ki poteče ob predpostavki, da se vsa saharoza oksidira:



Kalijev nitrat je močan oksidant, dobro topen v vodi. Nahaja se v obliki belega oz. brezbarvnega kristalnega prahu, brez vonja.⁹ Pri segrevanju sprošča kisik po enačbi:



Kalijev klorat je močan oksidant v obliki kristalov, granul ali praška, bele barve, brez vonja, topen v vodi in alkoholu. Pri razpadu sprošča kisik po enačbi:



¹⁰ http://www.lex.si/uploads/media/Kalii_permanganas_04.pdf (27. 2.2008)

⁹ http://www.lex.si/uploads/media/Kalii_nitras_04.pdf (27. 2.2008)

1.2 Opis raziskovalnega problema

V lanski raziskovalni nalogi sva ugotavljala vpliv masnega razmerja reaktantov na proces zgorevanja črnega smodnika. Letos pa naju zanima, kako na proces zgorevanja nekega goriva vpliva vrsta oksidanta oz. vrsta goriva. Opredelila sva naslednja raziskovalna vprašanja:

- Ali ima nek oksidant enak vpliv na čas zgorevanja različnih vrst ogljikovih hidratov?
- Ali je čas zgorevanja odvisen bolj od vrste ogljikovega hidrata ali od vrste oksidanta?
- Ali je masa preostanka po gorenju odvisna od vrste oksidanta ali od vrste ogljikovega hidrata?

1.3 Hipoteze

Na osnovi raziskovanih vprašanj sva postavila naslednje hipoteze:

- Nek določen oksidant ima podoben vpliv na čas zgorevanja različnih vrst ogljikovih hidratov.
- Čas zgorevanja je bolj odvisen od vrste oksidanta, kot od vrste ogljikovega hidrata.
- Masa trdnega preostanka je bolj odvisna od vrste ogljikovega hidrata kot od vrste oksidanta.

1.4 Raziskovalne metode

1.4.1 Izbor primernih goriv in oksidantov

Pri izboru primernih goriv in oksidantov sva imela pred očmi troje in sicer:

- goriva naj imajo podobno kemijsko sestavo;
- goriva in oksidanti naj bodo dostopni v šolski omari za kemikalije;
- izbor naj bo takšen, da bo možno varno izvesti eksperimente.

Po premisleku sva za goriva izbrala ogljikove hidrate in sicer po enega predstavnika iz vsake skupine:

- kot primer monosaharida sva uporabila glukozo (tehnično);
- kot primer disaharida sva uporabila saharozo (beli kristalni sladkor);
- kot primer polisaharidov pa sva uporabila škrob (p.a.) ter lesni prah iz brusilnega stroja v šolski tehnični delavnici. Zavedava se, da je v lesu še mnogo drugih snovi kot samo celuloza ter da je od vseh zgoraj naštetih primerov najmanj čist. Kljub temu sva se odločila, da ga uporabiva, saj naju je zanimalo, ali se bo kljub temu dalo iz rezultatov izpeljati kakšne zaključke.

Od oksidantov sva imela na razpolago kalijev permanganat (p.a.), kalijev nitrat (p.a.) ter kalijev klorat (p.a.). Najprej sva imela namen izpustiti poskuse s kalijevim kloratom, ker sva na internetu našla mnogo opozoril v zvezi z nevarnostjo mešanja kalijevega klorata z različnimi gorivi, tudi opisi nesreč niso manjkali. A sva ob pomoči mentorja in upoštevanju vseh varnostnih navodil izvedla tudi te eksperimente.

1.4.2 Priprava reakcijskih zmesi

Pripravljala sva po 5 g reakcijskih zmesi, v katerih sta bila oksidant in gorivo v razmerju 60% : 40%. Tako razmerje je najpogostejše opisano na različnih spletnih straneh s tega področja. Vnaprej pripravljene papirnate ovoje sva odtehtala 2 g posameznega ogljikovega hidrata, v ločene ovoje pa še 3 g posameznega oksidanta. Za tehtanje sva uporabljala zelo natančno laboratorijsko tehtnico WaS150A, z območjem tehtanja 0–150 g in natančnostjo 0,005 g. Gorivo in oksidant sva pred sežigom ločeno uprašila v terilnici nato pa s stresanjem v papirnem ovju dobro premešala, saj pri tovrstnem mešanju ne sme biti pritiska. Posebej previdna sva bila pri delu s kalijevim kloratom, ki zaradi tega ni bil tako dobro uprašen in rezultati eksperimentov morda zaradi tega lahko odstopajo od pričakovanj.

1.4.3 Sežig reakcijskih zmesi in določanje časa gorenja

Pripravljene reakcijske zmesi sva vsula na kovinsko ploščico, ki sva jo prej stehtala in jo namestila v digestorij. Reakcijski zmesi sva se približala s tlečo trsko. Postopek gorenja sva snemala z digitalno videokamero Moticam 2000, z ločljivostjo 2 milijona pik, na resoluciji 800x600. Iz videoposnetkov sva s programom Microsoft MovieMaker natančno določila začetek in konec gorenja in tako določila natančen čas zgorevanja. Po zgorevanju sva ploščico ponovno stehtala in izračunala maso trdnega preostanka, ki je ostal na ploščici, ne pa tudi tistega, ki je bil v dimu.

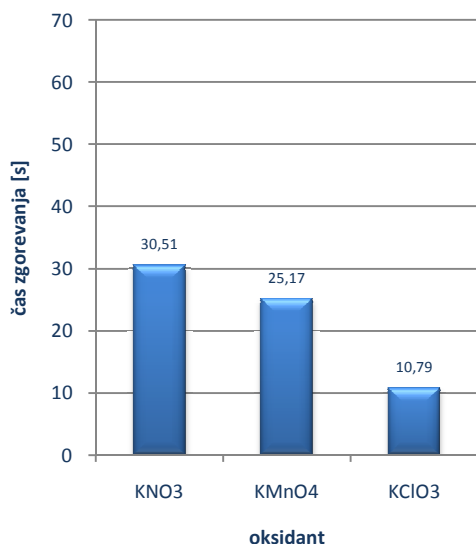
1.4.4 Priprava pisnega poročila

Pisno poročilo sva izdelala s programom MS Word 2007. Grafikoni so izdelani s programom MS Excel 2007. Fotografije sva izdelala z digitalnim fotoaparatom Canon EOS 350D z objektivom Canon 18-55 ter z digitalno USB videokamero Moticam 2000. Vse fotografije sva obdelala s programom Adobe Photoshop Elements 2.0.

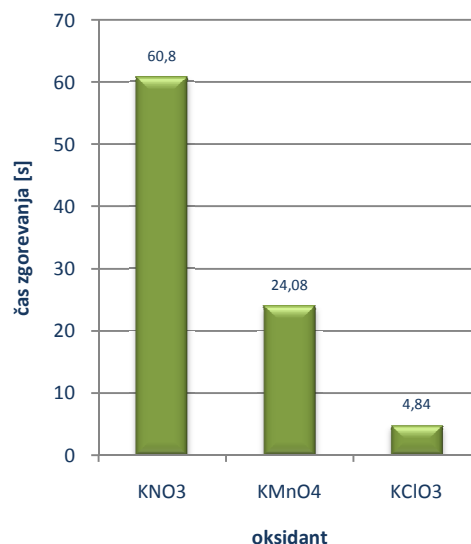
2 OSREDNJI DEL

2.1 Predstavitev raziskovalnih rezultatov

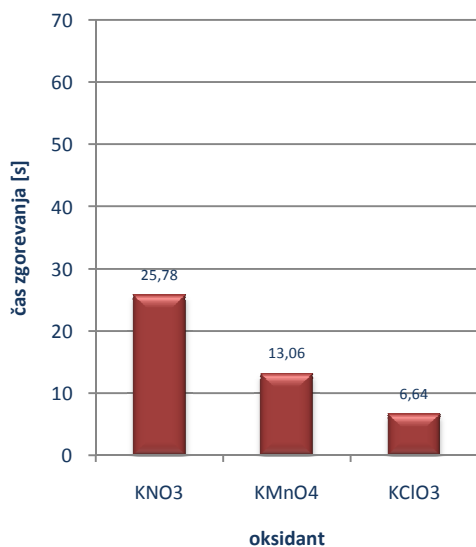
2.1.1 Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja



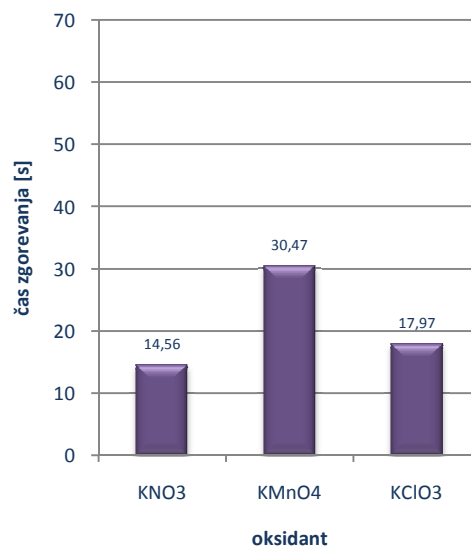
Grafikon 1: Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja glukoze



Grafikon 2: Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja saharoze



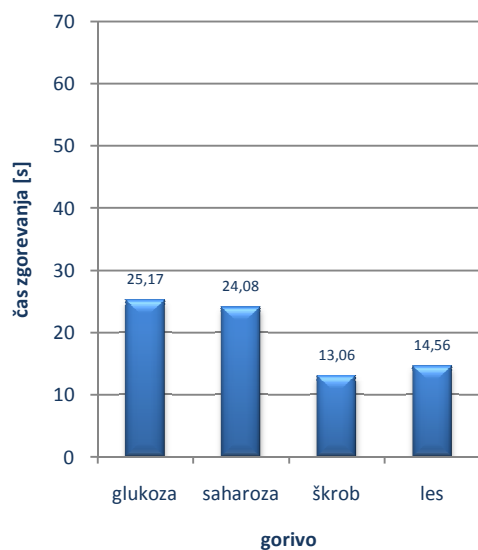
Grafikon 3: Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja škroba



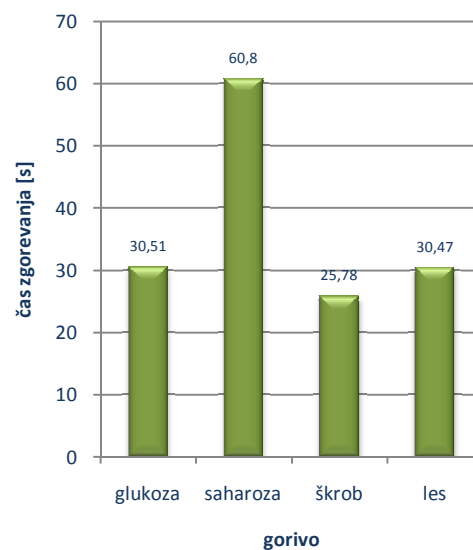
Grafikon 4: Vpliv vrste oksidanta na čas zgorevanja lesa

Takoj nam v oči pade podobnost med grafikoni 1, 2 in 3 iz katerih je razvidno, da kalijev klorat najbolj pospeši gorenje glukoze, saharoze in škroba, medtem ko je čas zgorevanja teh istih snovi, ob uporabi kalijevega nitrata, vedno najdaljši. Izstopajo rezultati zgorevanja lesnega prahu, kar pripisujemo temu, da lesni prah ni čista snov, poleg tega pa so mu bile primešane verjetno še kake druge snovi, saj na brusilnem stroju v tehnični učilnici, kjer smo dobili lesni prah, brusijo tudi druge materiale (umetne mase ipd).

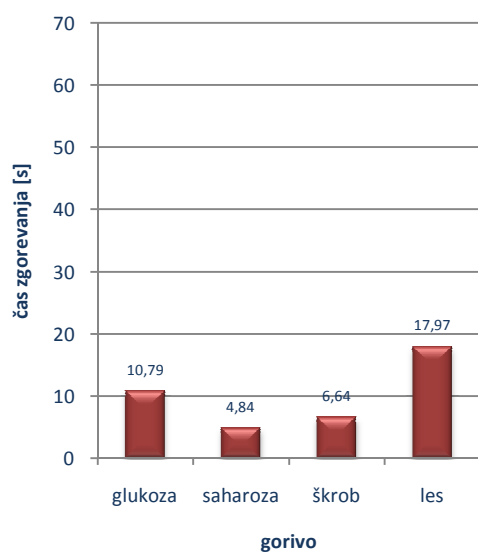
2.1.2 Vpliv vrste goriva na čas zgorevanja



Grafikon 5: Vpliv vrste goriva na čas zgorevanja ob uporabi KMnO_4



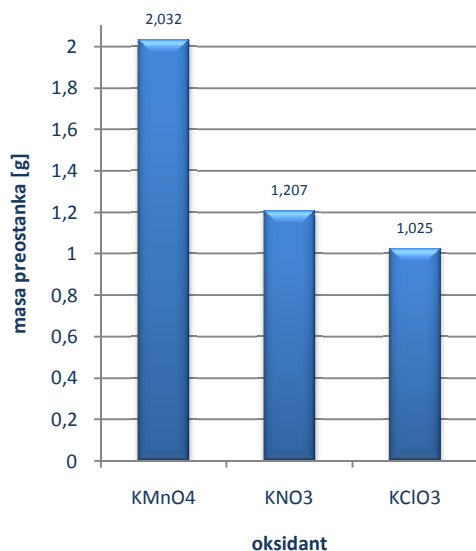
Grafikon 6: Vpliv vrste goriva na čas zgorevanja ob uporabi KNO_3



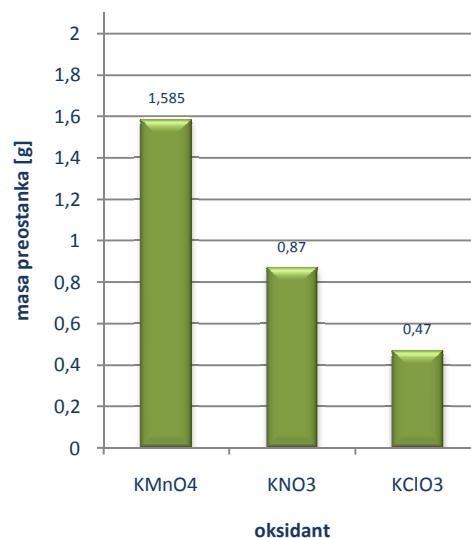
Grafikon 7: Vpliv vrste goriva na čas zgorevanja ob uporabi KClO_3

Iz podatkov, ki nam jih prikazujejo grafikoni 5, 6 in 7, ne moreva izpeljati nobenih logičnih zaključkov.

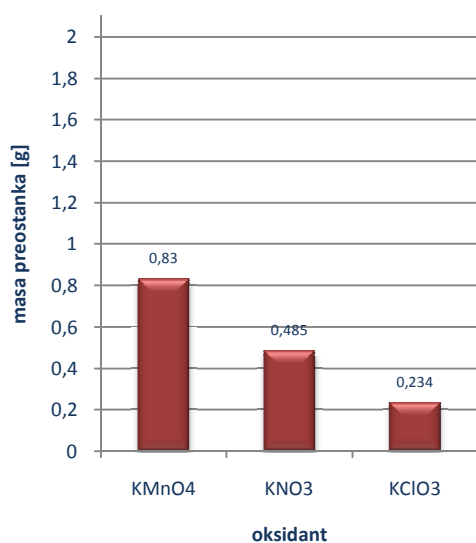
2.1.3 Vpliv vrste oksidanta na maso trdnega preostanka



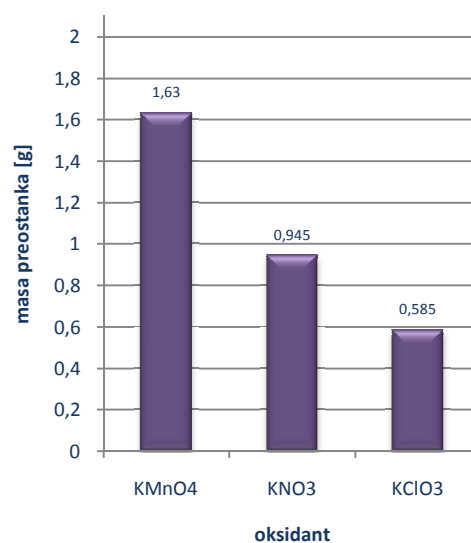
Grafikon 8: Vpliv vrste oksidanta na maso trdnega preostanka pri zgorevanju glukoze



Grafikon 9: Vpliv vrste oksidanta na maso trdnega preostanka pri zgorevanju saharoze



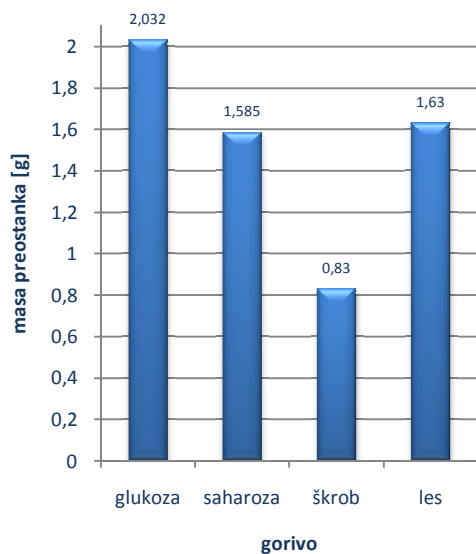
Grafikon 10: Vpliv vrste oksidanta na maso trdnega preostanka pri zgorevanju škroba



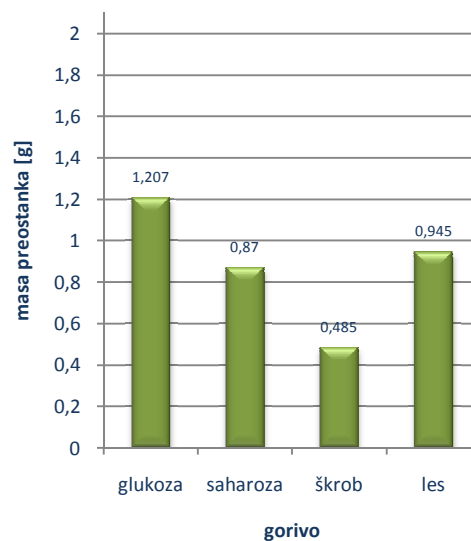
Grafikon 11: Vpliv vrste oksidanta na maso trdnega preostanka pri zgorevanju lesa

Kot je razvidno iz grafikonov 8, 9, 10 in 11, je masa trdnega preostanka ob zgorevanju tako glukoze, saharoze, škroba, pa tudi lesnega prahu vedno največja ob uporabi kalijevega permanganata kot oksidanta, najmanj trdnega preostanka pa nastane pri zgorevanju omenjenih goriv ob uporabi kalijevega klorata kot oksidanta.

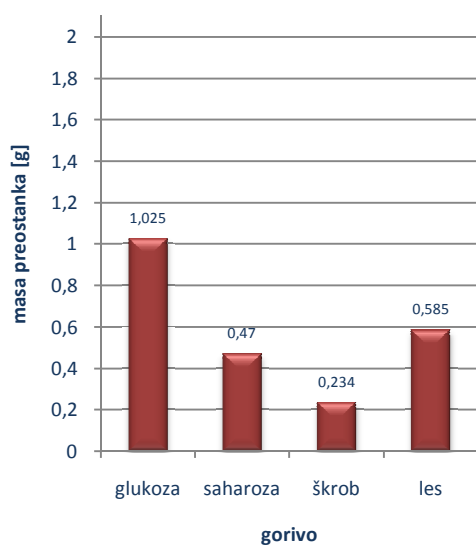
2.1.4 Vpliv vrste goriva na maso trdnega preostanka



Grafikon 12: Vpliv vrste goriva na maso trdnega preostanka ob uporabi KMnO_4



Grafikon 13: Vpliv vrste goriva na maso trdnega preostanka ob uporabi KNO_3



Grafikon 14: Vpliv vrste goriva na maso trdnega preostanka ob uporabi KClO_3

Kot je razvidno iz grafikonov 12, 13 in 14, je masa preostanka vedno najmanjša pri zgorevanju škroba, sledi saharoza največ trdnega preostanka pa je, ob uporabi vseh treh oksidantov, nastalo pri zgorevanju glukoze. Podatke za les prikazujeva samo informativno in niso zajeti v analizi

2.2 Diskusija

Zmesi OKSIDANT + GORIVO → RAZSTRELIVO so znane po svoji burni reakciji, pri kateri se v trenutku sprosti veliko energije, toplote in svetlobe, zanje je tudi značilna velika hitrost kemijske reakcije. Primer takšne zmesi je črni smodnik. Veliko se uporablja kot potisno eksplozivno v pirotehnični industriji. Vsako gorivo potrebuje za svoje izgorevanje velike množine kisika, če temu v pravilnem razmerju dodamo močan oksidant, ki ob segrevanju oddaja kisik, bo reakcija burna in hitra. (Lozinšek, 2008)⁵

V najini raziskovalni nalogi sva ugotavljala, kako na hitrost reakcije zgorevanja določenih ogljikovih hidratov vplivajo nekateri najbolj pogosto uporabljeni oksidanti. Kot primer goriv sva uporabila glukozo, saharozo, škrob in lesni prah, za oksidante pa kalijev permanganat, kalijev nitrat in kalijev klorat. Na začetku sva postavila tri hipoteze.

V prvi hipotezi trdimo, da ima nek določen oksidant podoben vpliv na čas zgorevanja različnih vrst ogljikovih hidratov. To hipotezo lahko potrdimo. Kot je razvidno iz grafikonov 1, 2 in 3 je bilo zgorevanje najbolj burno in je najhitreje poteklo ob uporabi kalijevega klorata. Zgorevanje ob uporabi kalijevega permanganata je bilo počasnejše, najbolj počasi pa so ogljikovi hidrati goreli ob uporabi kalijevega nitrata. To velja za glukozo, saharozo in škrob, ne pa tudi za lesni prah, ki ni čisti ogljikov hidrat in zato rezultati zgorevanja le-tega odstopajo od prej navedenih. Razloga za take rezultate sta verjetno dva in sicer:

- v množini nastalega kisika pri termičnem razpadu oksidanta. Pri razpadu enega mola kalijevega klorata nastanejo 3 moli kisika, medtem, ko pri razpadu enega mola kalijevega permanganata oz. kalijevega nitrata nastane 1 mol kisika. Zaradi tega reakcija s kalijevim kloratom poteka hitreje kot s kalijevim permanganatom oz. kalijevim nitratom.
- zaradi »jakosti« oksidanta. Kot sva zapisala v uvodu, je organizacija NFPA oksidante razvrstila v štiri razrede⁸ in kalijev nitrat razvrstila v 1. razred, kalijev permanganat v 2. razred, kalijev klorat pa v 3. razred. Tudi zaradi tega so snovi gorele različno hitro.

Menimo, da na hitrost zgorevanja vpliva tudi temperatura, pri kateri oksidanti termično razpadejo. Ta po podatkih iz varnostnih listov za kalijev permanganat znaša 240°C ¹⁰, kalijev nitrat pa razpada pri temperaturah višjih od 400°C ⁹. Tudi zaradi tega zgorevanje verjetno poteka hitreje ob uporabi kalijevega permanganata, kot pa ob uporabi kalijevega nitrata. A ta razlaga ne velja za zgorevanje ob uporabi kalijevega klorata, saj le-ta začne razpadati pri temperaturah, višjih od 500°C ¹¹, pa je zgorevanje kljub temu poteklo najhitreje.

V drugi hipotezi sva napovedala, da je čas zgorevanja bolj odvisen od vrste oksidanta, kot pa od vrste ogljikovega hidrata. Tudi to hipotezo lahko potrdimo, saj sva ob primerjavi eksperimentalnih podatkov zaznala jasno zvezo med vrsto oksidanta in časom zgorevanja, neodvisno od vrste goriva. Ko pa sva primerjala čas zgorevanja v odvisnosti od vrste goriva, neodvisno od vrste oksidanta, pa nisva zaznala neke logične povezave. To je razvidno tudi iz grafikonov 5, 6 in 7.

⁵ <http://www.kemija.org> (27. 2. 2008)

⁸ http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/oxidizing/oxidizing_hazards.html (27. 2. 2008)

¹⁰ http://www.lex.si/uploads/media/Kalii_permanganas_04.pdf (27. 2. 2008)

⁹ http://www.lex.si/uploads/media/Kalii_nitras_04.pdf (27. 2. 2008)

¹¹ http://darkstar.frikz.org/vodik_kisik.html (27. 2. 2008)

Tretja hipoteza pravi, da je masa preostanka bolj odvisna od vrste ogljikovega hidrata, kot od vrste oksidanta. To hipotezo lahko ovrževa, saj sva zaznala zvezo med maso preostanka in vrsto oksidanta, kar je razvidno iz grafikonov 8, 9, 10 in 11, prav tako pa se je logična povezava pokazala ob primerjavi podatkov o masi trdnega preostanka v odvisnosti od vrste ogljikovega hidrata, kar je razvidno iz grafikonov 12, 13 in 14. Ob primerjavi podatkov o masi trdnega preostanka v odvisnosti od vrste oksidanta, sva pri vseh gorivih zaznala, da je najmanj trdnega preostanka nastalo pri zgorevanju goriv ob uporabi kalijevega klorata, največ pa pri zgorevanju ob uporabi kalijevega permanganata. To pripisujemo dejstvu, da pri zgorevanju ob uporabi kalijevega klorata nastaja več plinastih produktov kot uporabi ostalih dveh oksidantov. Po stehiometričnih izračunih sva nato ugotovila, da pri termičnem razpadu 1 g kalijevega klorata nastane 0,6 g trdnega produkta (KCl), pri razpadu 1 g kalijevega nitrata nastane 0,841 g trdnega produkta (KNO_2), pri razpadu 1 g kalijevega permanganata pa nastane kar 0,899 g trdnega produkta (K_2MnO_4 in MnO_2). Upoštevati morava tudi, da je bil del trdnih produktov v dimu in jih zato nisva mogla stehtati, a meniva, da lahko te mase zanemariva. Ti izračuni pa se skladajo tudi z najinimi eksperimentalnimi podatki, kjer sva pri vseh gorivih ugotovila, da je najmanj trdnega preostanka nastalo pri zgorevanju ob uporabi kalijevega klorata kot oksidanta, največ pa ob uporabi kalijevega permanganata kot oksidanta.

Ob primerjavi podatkov o masi trdnega preostanka v odvisnosti od vrste ogljikovega hidrata pa sva ugotovila, da je največ trdnega preostanka nastalo pri zgorevanju glukoze, nato saharoze, najmanj pa pri zgorevanju škroba. V grafikonih sicer prikazujeva tudi podatke za zgorevanje lesnega prahu, a jih v analizi ne zajemava, saj ne poznavata natančne kemijske sestave lesnega prahu. Vodik in kisik iz ogljikovih hidratov zgorita v vodo, ogljik pa se spaja s kisikom, ki ga odda oksidant, v ogljikov dioksid. Če predpostavljamo, da je ogljikov hidrat v prebitku, potem sklepava, da je masa trdnega preostanka odvisna od masnega deleža ogljika v gorivu. Po izračunih glukoza ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) vsebuje 40% ogljika, saharoza ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) 42%, škrob ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) pa 44% ogljika. Potemtakem bi moralo največ trdnega preostanka nastati pri škrobu, najmanj pa pri glukozi. Najini eksperimentalni podatki pa kažejo ravno obratno, zaradi česar predpostavljamo, da je v prebitku oksidant. Ta pa termično razpada samo tako dolgo, dokler je na razpolago gorivo. Ko goriva zmanjka, v trdnem preostanku ostane nerazpadli oksidant. Ker škrob vsebuje največ ogljika, zaradi tega razpade tudi največ oksidanta, kar ima za posledico manjšo končno maso trdnega preostanka, pri glukozi pa je ravno obratno. Tudi sicer sva že v metodah zapisala, da sva vedno uporabljala zmesi, kjer sta bila gorivo in oksidant v razmerju 40% : 60%.

3 ZAKLJUČEK

V najini raziskovalni nalogi sva ugotavljala vpliv oksidantov na proces zgorevanja nekaterih ogljikovih hidratov. Veliko sva načrtovala, eksperimentirala, prvič pa sva se srečala tudi s kemijskim računstvom pri računanju masnih deležev elementov v ogljikovih hidratih ter stehiometrijo. Vsebina naloge se nama je zdela zelo zanimiva, predvsem pa sva spoznala, da se navidezno nedolžne snovi, kot so sta sladkor ali škrob, v zmesi z oksidantom obnašajo popolnoma drugače, pravzaprav se spremenijo v prave male »bombice«.

Pri delu nisva imela večjih težav, saj sva izkušnje pridobivala že v lanski raziskovalni nalogi, zato sva se znala izogniti problemom pri izvedbi eksperimentov.

4 VIRI IN LITERATURA

4.1 Literatura

1. Gallagher, R. M., Ingram, P.: Naravoslovje, Kemija, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 1992, str. 71, 72.
2. Holman, J.: Svet snovi, Založba Obzorja, Maribor 1998, str. 170, 171.
3. Kobal, E.: Kemija za vedoželjne, DZS, Ljubljana 1994, str. 30, 31.
4. Ryan, L.: Kemija, preproste razlage kemijskih pojavov, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 2000, str. 183.

4.2 Spletni naslovi

5. <http://www.kemija.org> (27. 2. 2008)
6. http://www.gimvic.org/projekti/projektno_delo/2004/2b/ognjemeti/sites/zgradba/oksidanti/oksidanti.html (27. 2. 2008)
7. http://www.minet.si/kemija/clanki.php?c=3&ofs=70&select=&iskalnik=&id=&mod_count=&n= (27. 2. 2008)
8. http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/oxidizing/oxiziding_hazards.html (27. 2. 2008)
9. http://www.lex.si/uploads/media/Kalii_nitras_04.pdf (27. 2. 2008)
10. http://www.lex.si/uploads/media/Kalii_permanganas_04.pdf (27. 2. 2008)
11. http://darkstar.frikz.org/vodik_kisik.html (27. 2. 2008)

4.3 Viri slik

Vse slike in grafikoni so avtorsko delo.