

Martin Saar

ORGAANILISED AINED

TÖÖVIHIK
GÜMNAASIUMILE

- 
1. SÜSINIKUÜHENDITE STRUKTUURI KUJUTAMINE 2. ALKAANID JA NENDE NOMENKLATUUR 3. ISOMEERIA 4. ASENDATUD ALKAANID 5. KÜLLASTUMATA JA AROMAATSED SÜSIVESINIKUD
6. LIITUMISPOLÜMERISATSIOON 7. SÜSIVESINIKUD JA NENDE DERIVAADID LOODUSES JA TÖÖSTUSES 8. ALDEHÜÜDID 9. KARBOKSÜÜLHAPPED
10. KARBOKSÜÜLHAPETE FUNKTSIONAALDERIVAADID: ESTRID, AMIIDID 11. POLÜKONDENSATSIOON
12. ORGAANILISED ÜHENDID ORGANISMIDES
- 



– uurige näidet, jätke meelde reegel



– õpilaskatse



– otsige internetist või teatmikest



– video



– arutelu



– lisamaterjal

Töövihik gümnaasiumile ORGAANILISED AINED

Autor: Martin Saar

Retsensendid: Neeme Katt, Katrin Soika

Toimetaja: Andrus Kangro

Keeletoimetaja: Anu Kell

Joonised: Imbi Kromanov, Heiko Unt

Valemid: Kaido Viht

Kujundus: Imbi Kromanov

ISBN 978-9949-559-12-1

Teine juurdetrükk 2018

Esmatrükk 2015

Maurus Kirjastus OÜ, 2016

Tartu mnt 74,

10144, Tallinn,

mobiil 59 19 6117

tellimine@kirjastusmaurus.ee

www.kirjastusmaurus.ee

Kõik õigused käesolevale väljaandele on seadusega kaitstud. Ilma autoriõiguse omaniku kirjaliku loata pole lubatud ühtki selle väljaande osa paljundada ei mehaanilisel, elektroonilisel ega muul viisil.

HEA KASUTAJA!

Suurem osa tänaseks teadaolevast enam kui 80 miljonist aineist on orgaanilised. Veel 19. sajandi alguses eristati orgaanilisi ja anorgaanilisi aineid selle põhjal, kas need moodustasid organismide elutegevuse ja kaasnevate looduslike protsesside käigus või saadi neid mineraalidest (nõ eluta loodusest). Juba 19. sajandi keskpaigaks oli selge, et selline eristamine ei ole võimalik, sest orgaanilisi aineid õnnestus valmistada anorgaanilistest ka laboris. Murranguliseks eksperimendiks loetakse selles põhimõttelises arusaamise muutuses Friedrich Wöhleri 1828. aastal läbi viidud katset, milles tal õnnestus anorgaanilisest aineist ammoniumtsüanaadist saada uriinis leiduvat ureat (kusiainet). Sellele järgnesid peagi teiste orgaaniliste ühendite (nt värvaine aniliini, äädikhappe ja sipelghappe, rasva) laboratoorsed sünteesid. Tänapäeval määratletakse orgaanilisi ühendeid kui süsinikuühendeid, liigitades samas oksiidid ja süsihappe ning tema soolad anorgaanilisteks. Orgaanilise ühendi tunnuseks on tavapäraselt C–H sideme esinemine aineosakeses. Olgu siinkohal rõhutatud, et kõik eelmistes kursustes õpitud loodusseadused kehtivad loomulikult ka orgaanilise keemia „maailmas“. Orgaanilise keemia eripäraks on süsinikuühendite tõeline paljusus, mis on tingitud eelkõige süsiniku aatomite võimest luua omavahel väga erineva pikkuse ja kujuga püsivaid ahelaid. See töövihik käsitlebki orgaanilisi aineid, nende omadusi ja rakendusi.

Töövihik sisaldab põhimaterjali kinnistavaid ülesandeid, mitmete laboratoorsete ja mõningate uurimuslike tööde juhendeid, ülesandeid iseseisvaks tööks ja infootsinguks. Ülesanded on vastavalt märgistatud. Iga peatükk algab konspektiivse raudvaraga, mis aitab enne ülesannete lahendamist süsteemselt vastava teema põhiteadmised üle vaadata. Loodetavasti kompenseerib see vähemalt ajutiselt uuele keemia ainekavale vastava orgaanilise keemia õpiku puudumist Eesti õpikurull. Orgaaniliste ühendite paljususe tõttu ning kehtiva õpikäsitluse kontekstis on oluline märkida, et töövihikus esitatud orgaaniliste ühendite struktuurivalemid ei ole mitte päheõppimiseks, vaid orgaanilise keemia kirjaoskuse omandamiseks, milles on võtmetähtsusega funktsionaalrühmade tundmine ning molekuli ehituses oluliste tunnuste eristamine vähemtähtsatest.

Olgu rõhutatud, et kuigi töövihikus kaetakse ühe 35-tunnise kursuse materjal, on ülesandeid pisut rohkem, kui selle aja jooksul tõenäoliselt on mõistlik lahendada. Niisiis pole töövihik ühe kursuse raames kaanest kaaneni lahendamiseks. Valiku, millised ülesanded esmajoones ette võtta, teeb iga õpetaja koos õpilastega. Eelkõige puudutab see 7. ja 12. peatükki. Loodetavasti lisanduvad töövihiku „Orgaanilised ained“ teise, täiendatud trükki ülesanded, mis käsitlevad kehtiva ainekavaga seostuvat lisamaterjali ning sobivad seega õpilastele, kelle õppesuunad keskenduvad reaal- ja loodusainetele ning kes soovivad valmistada ainevõistlusteks, olümpiaadiks või õpinguteks (välis) kõrgkoolides.

Kõik kirjastus Mauruse keemiatöövihikuid puudutavad üldised ja konkreetsete märkused, parandused ja soovitusel nii õpetajatelt kui ka õpilastelt äärmiselt oodatud. Palun need saata e-posti aadressil martin.saar@gag.ee.

Aitäh kõikidele Gustav Adolfi Gümnaasiumi ja Tallinna Reaalkooli õpilastele, kes on viimaste aastate jooksul mitmeid töövihikus esitatud ülesandeid lahendanud ja juhendeid kasutanud ning selle käigus väärtuslikke soovitusi ja nõuandeid andnud. Südamlik tänu kuulub põhjalikele retsensentidele ja toimetajatele, kelle abi on olnud hindamatu.

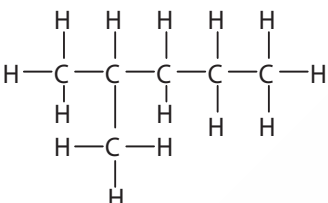
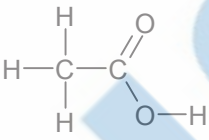
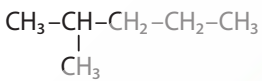
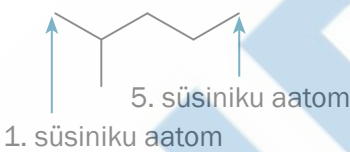
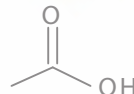
Palju jaksu keemiaõpingutes kui tõelist vaimset naudingut pakkuvas tegevuses!

Autor

1. SÜSINIKUÜHENDITE STRUKTUURI KUJUTAMINE

KUIDAS VÄLJENDATAKSE MOLEKULIDE KOOSTIST JA EHITUST?

Molekulide koostise ja ehituse väljendamiseks kasutatakse erinevaid valemeid. Järgnevalt on kujutatud kahe orgaanilise aine 2-metüülpentaani ning etaanhappe molekulide ehitust.

Väljendusviis	2-metüülpentaan	Etaanhape ehk äädikhape
Tasapinnaline ehk klassikaline struktuurivalem näitab kõiki aatomeid ja nende vahelisi sidemeid.		
Lihtsustatud struktuurivalemis ei kirjutata tavaliselt välja keemilisi sidemeid (v.a mõnikord põhiahela süsinikevahelised sidemed).	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ehk 	CH_3COOH ehk CH_3-COOH
Graafilise kujutise korral tähistab sirgjoon kovalentset sidet ning süsiniku aatomid ja nendega seotud vesiniku aatomid jäetakse märkimata (s.t igas tühjas nurgas ja kriipsu otsas on süsinik tema juurde kuuluvate vesinikega). Teiste elementide (nt O, N...) aatomid märgitakse nendega seotud vesinikega.		

Summaarne (molekuli)valem ehk brutovalem näitab, mitu vastava keemilise elemendi aatomit ühendi molekulis kokku on. Näiteks pentaani summaarne valem on C_5H_{12} ning etaanhappe $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

KUIDAS TÖLGENDADA GRAAFILISE KUJUTISE ABIL MOLEKULI EHITUST?

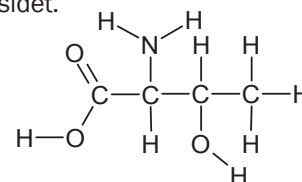
Esitatud on aminohappe treoniini graafiline kujutis:



1. Molekulis on **neli süsiniku aatomit**, mis on omavahel seotud üksiksidemete* abil. Need on märgitud siniste ringikestega.
2. Esimene süsiniku aatom on seotud kaksiksidemega hapniku aatomiga ning üksiksidemega hapniku aatomiga, mis omakorda vesiniku aatomiga. See rühm on põhikoolist tuttav **karboksüülrühm**.
3. Teine süsiniku aatom on seotud üksiksidemega lämmastiku aatomiga, mis omakorda kahe vesiniku aatomiga. (Seda rühma nimetatakse **aminorühmaks**, millega tutvume lähemalt 4. peatükis.)
4. Kolmas süsiniku aatom on seotud hapniku aatomiga, mis omakorda ühe vesiniku aatomiga. See rühm on põhikoolist tuttav **hüdroksüülrühm**.
5. Neljanda süsiniku aatomi juures pole midagi märgitud, järelikult on see seotud vaid vesiniku aatomitega. Ka teiste süsiniku aatomite puhul tuleb mees pidada, et nendega seotud vesinike aatomeid pole märgitud. Nende arvu tuvastamine lähtub teadmisest, et süsinik moodustab neli sidet.

Saame vastavalt tasapinnalisele $\text{HOOC}-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$

ja lihtsustatud struktuurivalemi:

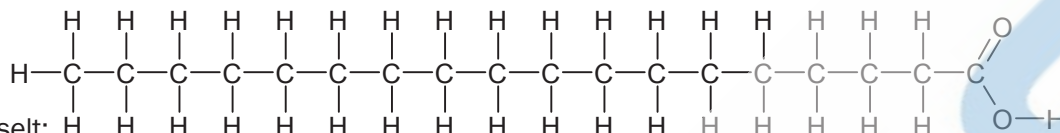


* Üksikside on kahe aatomi vaheline kovalentne side, mille moodustab üks ühine elektronipaar; kaksikside moodustab kaks ühist elektronipaari ning kolmikside kolm elektronipaari.

MIS ON ERINEVAT TÜÜPI STRUKTUURIVALEMITE EELISED JA PUUDUSED?

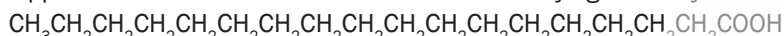
Tasapinnalise struktuurivalemi eeliseks on detailne molekuli ehituse kirjeldamine, ent selle koostamine on aiamahukas, võtab palju ruumi ning ei pruugi olla eriti ülevaatlik.

Lihtsustatud struktuurivalemi eelis võrreldes tasapinnalisega on aja- ja ruumisääst ning kindlasti ülevaatlikus. Näiteks rasvhappe steariinhappe molekuli ehituse kirjeldamiseks on lihtsustatud struktuurivalem sobivam:

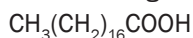


Tasapinnaliselt:

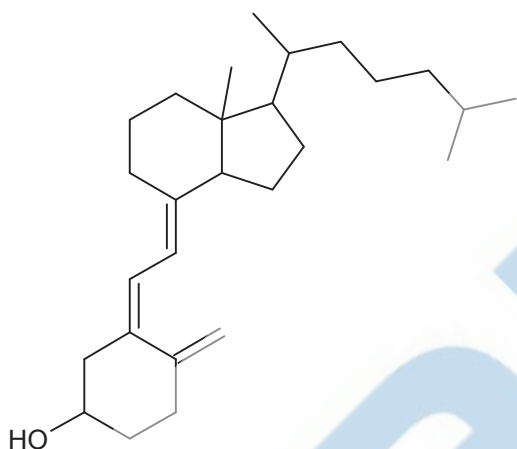
Steariinhappe lihtsustatud struktuurivalemit võib esitada järgmisel kujul:



Veel mõistlikum on aga ühesugused struktuuriühikud (16 korda korduv $-\text{CH}_2-$) „kokku kirjutada“:



Graafilist kujutist võib pidada orgaanilises keemias „kiirkirjaks“ ning see sobib suurte ja keeruliste molekulide ehituse kirjeldamiseks, näiteks vitamiin D₃ struktuuri on mõistlik näidata graafilise kujutise abil:



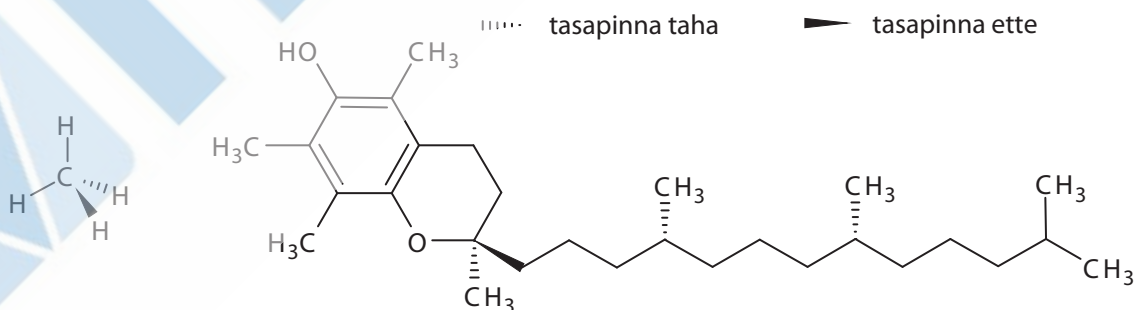
Graafiline kujutis võib küll ülevaatlik olla, kuid reaktsioonimehhanismide kujutamisel on sageli suuremat detailsust vaja. Siis võib vastava osa ühendi struktuurivalemis esitada tasapinnaliselt või lihtsustatult.

KUIDAS MÄRGITAKSE MOLEKULI RUUMILISUST?

Orgaaniliste ühendite ehituses on oluline ka sidemete ruumiline paigutus (oriinteeritus). Seetõttu näidatakse vajadusel, millised sidemed on suunatud tasapinna taha, millised ette. Selle kursuse raames molekulide ruumilisele ehitusele erilist tähelepanu ei pöörata.

Graafilises kujutises näidatakse mõnikord välja ka kõrvalrühmade ning ahela otspunktides asuvad süsinikud koos vastavate vesinikega.

Näiteks metaani CH₄ ja E-vitamiini graafiline kujutis:



1.1. Täitke tabel.

Tasapinnaline struktuurivalem	Lihtsustatud struktuurivalem	Graafiline kujutis
<pre> H H-C-H H H H H H-C-C-C-C-H H H H H </pre>		
	$\text{CH}_3\text{-CH(OH)-C(CH}_3)_2\text{-CH}_3$	
		

1.2. Kujutatud on naftasaaduste töötlemisel saadud ühendite molekulide ehitus.

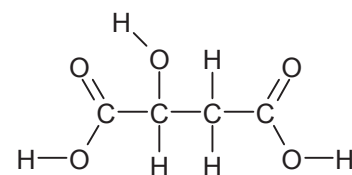
- Kuidas nimetatakse vastavat molekulide ehituse kujutamise viisi?
- Kujutage molekulide a) ja b) ehitus, kasutades orgaanilise keemia „kiirkirja“.
 - $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_3$
 - ```

 CH3
 |
 CH3-CH-CH3

```
  - $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH}_3$
  - $\text{CH}_2\text{=CH}_2$
- Kujutage molekulide c) ja d) ehitus, näidates kõikide aatomite vahelised sidemed.

**1.3.** Kujutatud on õunhappe molekuli ehitus.

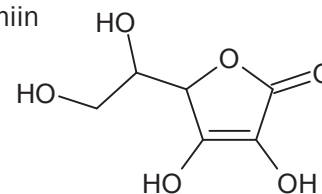
- Kuidas nimetatakse seda molekuli ehituse kujutamise viisi? .....
- Kujutage õunhappe molekuli ehitus kahel alternatiivsel viisil.



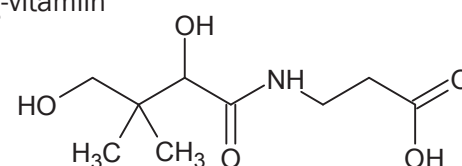
**1.4.** Kujutatud on C-vitamiini ja B<sub>5</sub>-vitamiini molekulide ehitus.

- Kuidas nimetatakse seda molekuli ehituse kujutamise viisi? .....
- Mitu süsiniku aatomit on C-vitamiini molekulis?.....
- Koostage C-vitamiini sumaarne valem. ....
- Kirjutage B<sub>5</sub>-vitamiini summaarsesse valemisse õiged indeksid. C.....H..... N..... O.....

C-vitamiin



B<sub>5</sub>-vitamiin

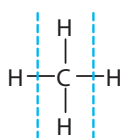


## 2. ALKAANID JA NENDE NOMENKLATUUR

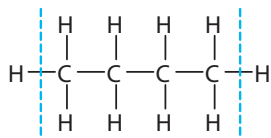
### MIS ON ALKAANID?

Alkaanid on süsivesinikud, mis sisaldavad vaid üksiksidemeid.

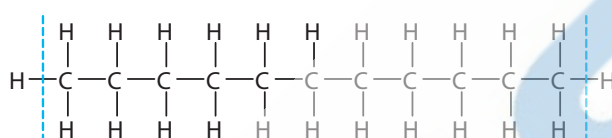
Alkaanide molekulide (summaarne) üldvalem on  $C_nH_{2n+2}$  ( $n$  märgib süsiniku aatomite arvu).



$n = 1$   
 $CH_4$



$n = 4$   
 $C_4H_{10}$



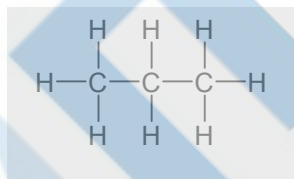
$n = 11$   
 $C_{11}H_{24}$

### KUIDAS NIMETATAKSE HARGNEMATA SÜSINIKAHELAGA ALKAANE?

IUPAC'i\* nomenklatuurireeglistikus vastab igale süsiniku aatomite arvule kindel eesliide. Kui tegemist on alkaaniga, lisatakse sellele nimetuse lõppliide **-aan**. Esimesed kümme alkaani on esitatud tabelis.

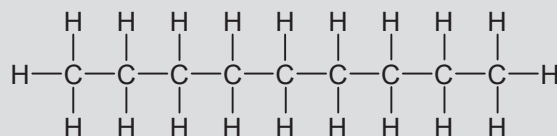
| Süsinike arv | Alkaani valem  | Eesliide | Alkaani nimetus  |
|--------------|----------------|----------|------------------|
| 1            | $CH_4$         | met-     | meta <b>aan</b>  |
| 2            | $C_2H_6$       | et-      | eta <b>aan</b>   |
| 3            | $C_3H_8$       | prop-    | propa <b>aan</b> |
| 4            | $C_4H_{10}$    | but-     | buta <b>aan</b>  |
| 5            | $C_5H_{12}$    | pent-    | penta <b>aan</b> |
| 6            | $C_6H_{14}$    | heks-    | heksa <b>aan</b> |
| 7            | $C_7H_{16}$    | hept-    | hepta <b>aan</b> |
| 8            | $C_8H_{18}$    | okt-     | okta <b>aan</b>  |
| 9            | $C_9H_{20}$    | non-     | nona <b>aan</b>  |
| 10           | $C_{10}H_{22}$ | dek-     | deka <b>aan</b>  |

Järgnevalt on esitatud kaks näidet alkaanide molekulide ehituse analüüsist ja nimetuse koostamise etappidest.



1. Molekul koosneb vaid süsiniku ja vesiniku aatomitest: süsivesinik.
2. Molekulis on aatomid seotud vaid üksiksidemetega: alkaan.
3. Molekulis on kolm süsiniku aatomit. Ühendi nimetus on propaan.

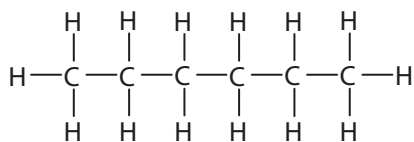
1. Tegemist on alkaaniga: koosneb vaid süsiniku ja vesiniku aatomitest ning sisaldab vaid üksiksidemeid.
2. Molekuli koostises on üheksa süsiniku aatomit: nonaan.



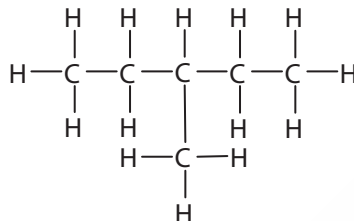
\* IUPAC ehk *International Union of Pure and Applied Chemistry* (Rahvusvaheline Puhta ja Rakenduskeemia Liit) on rahvusvaheline keemikute esindusorganisatsioon.

## KUIDAS NIMETATAKSE HARGNENUD SÜSINIKAHELAGA ALKAANE?

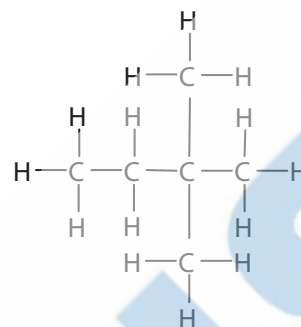
Kuuest süsiniku aatomist saab koostada erineva ehituse ehk struktuuriga alkaane, sh nii hargnemata kui hargnenud ahelaga ühendeid:



ühend 1



ühend 2



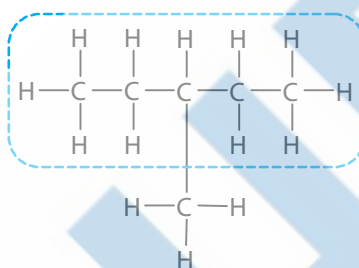
ühend 3

Hargnemata ahelaga ehk ühendi nr 1 nimetus on heksaan.

Järgnevalt õpime, kuidas koostada hargnenud ahelaga alkaanide (ühendid nr 2 ja nr 3) nimetusi.

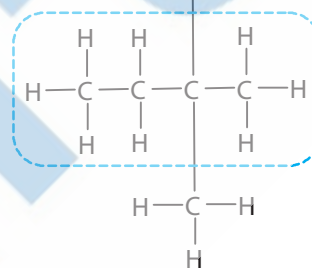
Selleks leitakse pikim süsiniku aatomitest moodustunud hargnemata ahel, mida käsitletakse **peaahelana**. Sellest saab nimetuses **tüviühend**. Ühendis nr 2 on selleks viiest süsiniku aatomist koosnev ahel (vastab pentaanile) ning ühendis nr 3 neljast süsiniku aatomist ahel (butaan).

pentaan



ühend 2

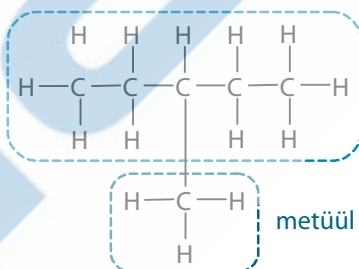
butaan



ühend 3

Sellest peaahelast välja jäävaid aatomirühmitusi käsitletakse **asendus-** ehk **kõrvalrühmadena**. Nii ühendis nr 2 kui ühendis nr 3 on nendeks rühm  $-CH_3$ . Alkaanist tuletatud asendusrühma ehk alküülrühma nimetuse saamiseks lisatakse vastavat süsiniku arvu tähistavale liitele **-üül**. Ühendites nr 2 ja nr 3 on asendusrühmaks seega metüülrühm.

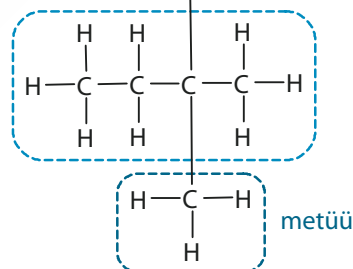
pentaan



ühend 2

metüül

butaan



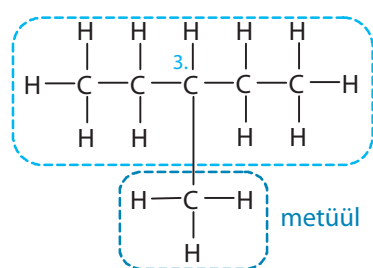
ühend 3

metüül

metüül

**Ühend nr 2** on metüülrühmaga pentaan. Paraku ei sobi selle nimetuseks metüülpentaan, sest sellest ei selgu, millise süsiniku aatomiga metüülrühm seotud on. Seepärast tuleb lisada ka **kohanumber**. Kohanumbrite leidmiseks nummerdatakse peaahela süsiniku aatomid ahela ühest otsast alustades nii, et asendusrühmadega seotud süsiniku aatomid saaksid võimalikult väiksed kohanumbrid. Ühendis nr 2 on nii vasakult kui ka paremalt poolt nummerdades metüülrühmaga seotud 3. süsiniku aatom. Seega on ühendi 2 nimetus 3-metüülpentaan.

pentaan

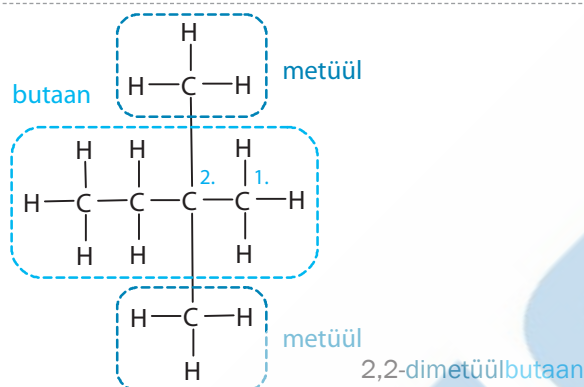


3-metüülpentaan

metüül



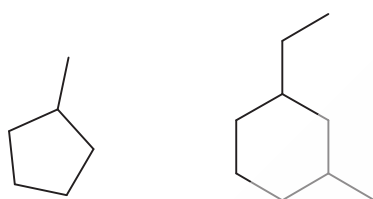
**Ühendi nr 3** puhul tuleb alustada peaahele nummerdamist paremalt poolt: sellisel juhul on kõrvalrühmad seotud teise (ja mitte kolmanda) süsiniku aatomiga. Ühesugused kõrvalrühmad võetakse nimetuses kokku, kasutades mittemetallioksiidide nimetustest tuttavaid eesliiteid (di-, tri-, tetra-...), kuid iga asendusrühma kohanumber märgitakse siiski nimetusse. Nõnda kujuneb ühendi 3 nimetuseks 2,2-dimetüülbutaan.



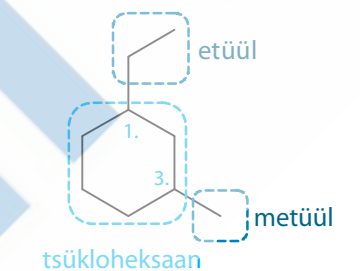
Kui molekulis on mitu erinevat kõrvalrühma, märgitakse need ühendi nimetuses tähestikulises järjekorras. Näiteks 4-etüül-2-metüüloktaan:

### KUIDAS NIMETATAKSE TSÜKLILISE AHELAGA ÜHENEID?

Tsükliliste ühendite nimetamisel võetakse põhiahelaks tsükkel ning tüviühendi nimetamisel lisatakse süsiniku aatomite arvu tähistavalt liitele **tsüklo-**. Nummerdamist alustatakse sellest süsiniku aatomist, mis on seotud kõrvalrühmaga. Kui kõrvalrühmi on mitu, nummerdatakse ahel sellises suunas, et kõigi kõrvalrühmade kohanumbrid oleksid võimalikult väikesed.



1-metüültsüklopentaan  
ehk metüültsüklopentaan



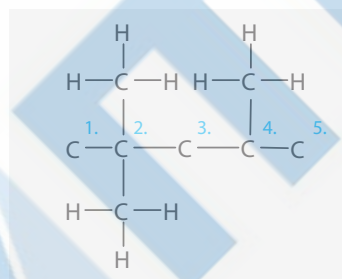
1-etüül-3-metüültsüklopentaan

### KUIDAS KOOSTADA NIMETUSE PÕHJAL STRUKTUURIVALEMIT?

Nimetuse põhjal struktuurivalemi koostamiseks selgitatakse esmalt välja tüviühendi abil peaahele süsiniku aatomite arv. Seejärel lisatakse kõrvalrühmad õige kohanumbriga süsiniku aatomi külge.

Näiteks on 2,2,4-trimetüülpentaani struktuurivalem koostatakse järgmiselt:

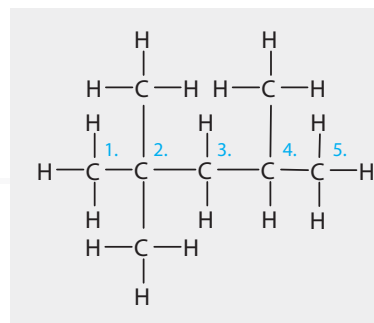
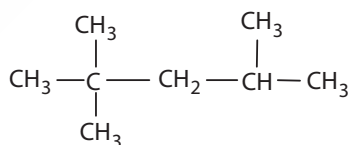
1) tüviühend on pentaan – peaahele on viis süsiniku aatomit,  $\overset{1.}{\text{C}}-\overset{2.}{\text{C}}-\overset{3.}{\text{C}}-\overset{4.}{\text{C}}-\overset{5.}{\text{C}}$



tasapinnaline struktuurivalem:

2) kõrvalrühmadeks on kolm metüülrühma, millest kaks on seotud 2. süsinikuga ja üks 4. süsinikuga.

3) viimasena lisatakse vesiniku aatomid nii, et iga süsiniku aatomil oleks neli sidet.



lihtsustatud struktuurivalem: ehk  $\text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$

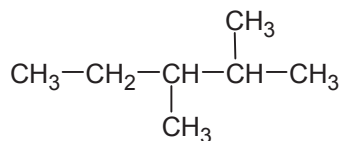
graafiline kujutis:



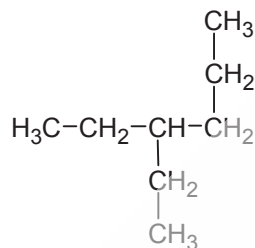
Lihtsustatud struktuurivalemi koostamisel tuleb hoolega jälgida lisatavate vesiniku aatomite arvu, sest iga süsiniku aatom moodustab neli kovalentset sidet. 2,2,4-trimetüülpentaani molekulis ei ole 2. süsiniku aatomiga seotud ühtegi vesiniku aatomit, sest vastav süsinik moodustab kaks kovalentset sidet naabruses asuvate põhiahela süsinikega ning ülejäänud kaks sidet kõrvalrühmadega.

**2.1.** Analüüsige iga alkaani molekuli struktuuri.

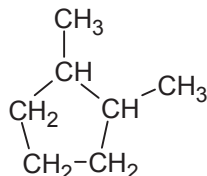
1. Näidake tüviühend (tõmmake joon ümber).
2. Nummerdage pikim süsinikahel.
3. Määrake asendusrühmad.
4. Koostage nimetus.



A. ....



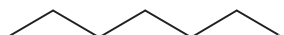
B. ....



C. ....



D. ....



E. ....



F. ....

5. Kujutage ühendid D–F lihtsustatud struktuurivalemiga.

**2.2.** Külmutuses kasutatakse jahutusvedelikuna alkaani, mille molekul sisaldab viit süsiniku aatomit ning on tsüklilise ahelaga. Asendusrühmi selle aine molekulis ei ole.

Nimetage see alkaan ning kujutage selle struktuur kolmel viisil.

Nimetus: .....

tasapinnaline struktuurivalem

lihtsustatud struktuurivalem

graafiline kujutis

**2.3.** Kujutage järgmiste ühendite struktuurivalemid.

- a) 2-metüülpentaan tasapinnaliselt
- b) 3,3-dimetüülheksaan lihtsustatult
- c) 3,4,6-trimetüüloktaan graafiliselt
- d) tsükloheksaan tasapinnaliselt ja graafiliselt