





--- **Sydämen syketehtävyys ja minuutittilavuus**

Lämpö lisää sympaattisen hermoston toimintaa. Tämä nähdään sympaattisen aktiviteetin tasoa kuvaavien hormonien pitoisuuksien kohoamisena, esimerkiksi plasman noradrenaliini- ja adrenaliinipitoisuudet kohoavat<sup>[30, 31, 32]</sup>. On esitetty, että sympaattisen hermoston aktivaation määrä heijastaa lämpöaltistuksen voimakkuutta<sup>[33]</sup>. Kuumassa ympäristössä tapahtuva sympaattisen hermoston aktiviteetin lisääntyminen ja ihon verenvirtauksen progressiivinen kasvu ovat suorassa suhteessa sydämen syketehtävien ja minuutittilavuuden kasvuun. Tavanomainen sydämen minuutittilavuuden nousu on 50-70 %<sup>[11, 33]</sup> eli 7-10 l/min<sup>[43]</sup>. Sydämen minuutittilavuuden kasvu on ensisijaisesti seurausta sydämen syketehtävien lisääntymisestä<sup>[34]</sup>. Kun terveet miehenkilöt altistettiin suureen lämpökuormitukseen vesikiertopukujen avulla, heidän sydämensä syketehtävyys kasvoi 116:sta 163:een lyöntiin minuutissa ruokatorvesta mitaamalla arvioidun ydinlämpötilan noustessa 39,2 °C:sta 41,8 °C:een<sup>[35]</sup>. Sydämen syketehtävien todettiin muuttuvan suoraan suhteisesti suhteessa ydinlämpötilaan vaihteluvälillä 37-38 °C, kun ihon lämpötila pidettiin 38 °C:ssa<sup>[36]</sup>.

--- **Saunomisen on raportoitu aiheuttavan suurempiakin sydämen syketehtävyksiä, noin 145 lyöntiä minuutissa<sup>[14, 36, 37, 38, 39, 40]</sup>, suurimpien arvojen kohotessa 180 lyöntiin minuutissa<sup>[41, 42]</sup>. Korkeimmat lukemat ovat verrattavissa raskaan fyysisen suorituksen aikaisiin syketehtäviin.**

--- **Edellä raportoitu vaihtelu sydämen syketehtävissä voi johtua saunaan totuttamattomien aikuisten epävarmasta tai jopa hieman pelokkaasta suhtautumisesta saunomiseen. Pelokkuuden merkityksestä sydämen syketehtävien saunomisen yhteydessä on saatu epäsuoraa vahvistusta seuraavalla havainnolla: urheilijoiden syke nousi saunassa ainoastaan 110 lyöntiin minuutissa, mutta kun heiltä mitattiin kaksi minuuttia saunasta poistumisen jälkeen sydämen syketehtävyä verinäytteen oton yhteydessä, syke kohosi 130 lyöntiin minuutissa<sup>[43]</sup>. Saunasta poistumisen jälkeen sydämen syketehtävyä palaa muutamassa minuutissa lepotasolle<sup>[39, 40, 44, 45]</sup>.**

--- **Lämpöaltistuksen vaikutus aineenvaihduntaan ja hengitykseen**  
Aineenvaihdunta kiihtyy kuumassa ympäristössä. Aineenvaihdunnan lisääntymisen tiedetään olevan yhteydessä kehon ydinlämpötilan nousuun. Tämän on katsottu perustuvan osittain Van't Hoffin ilmiöön. Kataboliset reaktiot kiihtyvät kaikilla eläimillä kehon lämpötilan noustessa; tämän kiihtymisen yläraja saavutetaan kuitenkin vasta sellaisissa lämpötiloissa, joilla on organismissa vaarantavia vaikutuksia<sup>[46]</sup>. Ainoastaan hyvin pieni osa siitä aineenvaihdunnan muutoksesta, joka ilmenee hypertermiassa, on seurausta lisääntyneestä lämmönpoistomekanismien aiheuttamasta työmäärästä, esimerkiksi hikoilusta<sup>[47]</sup>.

--- **20-30 minuutin pituisen saunomisen jälkeen, kun peräsuolilämpö oli noussut 38,3 °C:een, perusaineenvaihdunnan taso oli noussut 20 %<sup>[48]</sup>. Pitkäkestoinen saunominen, tunnin ajan kaksi kertaa päivässä, kiihdytti aineenvaihduntaa 25-30 %<sup>[49]</sup>. Toisessa tutkimuksessa<sup>[49]</sup> ei puolestaan havaittu mitään muutoksia aineenvaihdunnan nopeudessa koehenkilöillä, jotka olivat kahden tunnin ajan 42,5 °C:n lämpötilassa, mutta peräsuolilämpötilassakaan ei todettu muutoksia.**

**Yhden tunnin oleskelu 71 °C:n lämpötilassa lisää hapenkulutusta 15 %<sup>[11]</sup>. Toisen raportin mukaan<sup>[47]</sup> peräsuolilämpötilan kahden asteen nousu lisäsi hapenkulutusta 19 %. Jos peräsuolilämpötila nousee 2,5 °C, hapenkulutus lisääntyy 34,7 %<sup>[50]</sup>, ja se lisääntyy 44 %**

kahden tunnin mittaisen kuuma-altistuksen (peräsuolilämpötila korkeimmillaan 41,8 °C) aikana<sup>[51]</sup>. Hapenkulutus pysyi koholla vähintään 30 minuuttia koehenkilöiden siirtyttyä huoneenlämpöön. Kuumaa ympäristön aiheuttama kiihtynyt aineenvaihdunta heijastuu siis lisääntyneenä hapenkulutuksena ja hapenkulutuksen lisääntyminen riippuu puolestaan ydinlämpötilassa tapahtuvan nousun suuruudesta.

--- **Tavanomaisen saunomisen yhteydessä hengitystehyys lisääntyy noin 10 %<sup>[52, 53, 54]</sup>. Kuumassa ympäristössä kerta hengitysilmatilavuus yleensä kasvaa<sup>[12, 55]</sup>.**

--- **Suuren lämpöaltistuksen vaikutus hormoneihin ja veren koostumukseen**  
Ne hormonaaliset muutokset, joita on havaittu tapahtuvan saunomisen aikana, edistävät ensisijaisesti verenkierron sopeutumista lämpökuormitukseen ja toissijaisesti ylläpitävät lämpö- sekä nestetasapainoa. Voimakkaan, joskin lyhyen, lämpöaltistuksen aiheuttama lämpökuormitus on tekijä, joka ainakin osittain laukaisee saunomisen yhteydessä tapahtuvat hormonaaliset muutokset.

--- **Seerumin adrenaliinipitoisuuksien muutoksissa esiintyy suuria yksilöiden välisiä eroja saunottaessa. Nämä erot saattavat selittyä saunaan totuttamattomien henkilöiden jännittämällä ja toisaalta säännöllisesti saunovien totuttamisella saunomiseen. Plasman adrenaliinipitoisuus on kohonnut yli kaksinkertaiseksi joissakin saunatutkimuksissa, joissa koehenkilöinä on ollut saunomiseen totuttamattomia koehenkilöitä<sup>[41, 56]</sup>, mutta plasman noradrenaliinipitoisuudessa ei havaittu muutosta saman ajanjakson aikana.**

--- **LASTEN LÄMMÖNSÄÄTELYN ERITYISPIIRTEET**

--- **Verenkierron vasteet**  
Huolimatta siitä, että hikoilu lapsilla on vähäistä, sydän- ja verisuonijärjestelmän rajojen kapasiteetti on katsottu olevan tärkein lasten huonoa lämmönsietokykyä selittävä tekijä<sup>[57]</sup>. Sydämen leposyke on nuoremmilla lapsilla korkeampi<sup>[58, 59, 60]</sup> kuin nuorilla aikuisilla, kun taas maksimaalisen syketehtävien todettiin olevan lähes riippumaton iästä näiden kahden ikäryhmän välillä<sup>[61]</sup>. Tästä on seurauksena se, että submaksimaalisen ja maksimaalisen syketehtävien ero, jonka voidaan katsoa olevan eräänlainen sydämen syketehtävien reservi, on nuoremmilla lapsilla pienempi kuin nuorilla aikuisilla fyysisen suorituksen aikana<sup>[58, 61, 62]</sup>.

--- **Lasten sydämen pienempi iskutilavuus kompensoituu osittain suuremmalla syketehtävällä kaikilla kuormituksen tasoilla<sup>[63]</sup>. Tästä huolimatta sydämen minuutittilavuuden kasvu jää jonkin verran pienemmäksi lapsilla kuin aikuisilla<sup>[64, 65]</sup>. Yhteenvetona voidaan sanoa, että aikuisiin verrattuna lapsilla on pienempi kapasiteetti siirtää kuumassa ympäristössä lämpöä veren mukana kehon sisäosista iholle<sup>[66]</sup>. Tämän perusteella on esitetty, että henkilöillä, joilla on matala sydämen iskutilavuusindeksi levossa ja joiden leposyketehtävien ja maksimaalisen syketehtävien välinen ero on pieni, kestävä lämpökuormitusta huonommin<sup>[67]</sup>.**

palautumisjakso laboratoriohuoneessa (ryhmät A-D). Ryhmän E lapsia tarkkailtiin yhden tunnin ajan saunomisen jälkeen.

### Veren koostumuksen ja hormonien analysointi

Ryhmän E koehenkilöiltä otettiin verinäyte kemiallisia analyyseja ja hormonimäärittäyksiä varten. Lapset olivat olleet vähintään kahden tunnin ajan syömättä ja juomatta ennen tutkimuksen alkamista. Tutkimukset tehtiin klo 13.00-16.00. Kaikki näytteet yhtä lukuun ottamatta saatiin istuvassa asennossa olevilta koehenkilöiltä.

Lasten kädenselkäpuolella olevaan pinnalliseen laskimoon asetettiin tutkimuksen ajaksi 25 mm muovikanyyli. Kaikki verinäytteet otettiin tämän kanyylin kautta. Ensimmäinen verinäyte otettiin 20 minuuttia kanyylin asettamisen jälkeen. Verinäytteet otettiin 10 minuuttia ennen saunaan menemistä, välittömästi saunomisen jälkeen ja yhden tunnin mittaisen palautumisaajan jälkeen. Kolme 12 ml:n suuruista näytettä otettiin hemoglobiinin, hematokriitin, leukosyyttien, plasman natriumin (Na), kaliumin (K), verensokerin, prolaktiinin, tyreotropiinin (TSH), kasvuhormonin, kortisolin, vasopressiinin (ADH), aldosteronin, atriopetiidin, noradrenaliinin, adrenaliinin ja dopamiinin määrittämiseksi.

Vasopressiini analysoitiin (Medix, Kliininen laboratorio, Helsinki) erottamattomasta plasmasta käyttämällä radioimmunoanalyyseja (radioimmunoassay, RIA) menetelmällä, joka oli kehitetty tätä tarkoitusta varten<sup>(67)</sup>.

### Otteita välitöskirjan tulospöytäkirjasta:

(Tulospöytäkirjan tulospöytäkirjasta kuvattua aineistoa mitattuihin tuloksiin ja tehtyihin havainnoihin, jotka on saatua käytännöllä esiteltyjä tutkimusmenetelmiä.)

### Hengitystietä

Hengitystietä oli sitä korkeampi mitä nuorempi lapsi oli. Hengitystietä lisääntyi tilastollisesti merkittävästi ryhmässä A ja B saunomisen aikana, kun taas ryhmässä C ja D se pysyi ennallaan. Saunomisen jälkeen hengitystietä palasi alkuperäiselle tasolle ryhmässä B ja pysyi muuttumattomana ryhmässä C ja D, kun sitä vastoin ryhmässä A se laski 22 % alkutason alapuolelle 10 minuuttia saunomisen jälkeen.

### Kertahengitystietä

Kaikkien koehenkilöiden kertahengitystietä kasvoi saunomisen aikana. Se palasi alkuperäiselle tasolle neljän minuutin kuluessa saunomisen jälkeen.

### Hengityksen minuuttilavuus

Saunomisen yhteydessä hengityksen minuuttilavuus kasvoi tilastollisesti erittäin merkittävästi ryhmässä C ja D sekä tilastollisesti merkittävästi ryhmässä A, mutta ei ryhmässä B (Taulukko 8).

### Saunomiseen liittyvät fysiologiset muutokset lapsilla

Rauhallisesti saunassa istuneiden 8-11 kuukauden ikäisten lasten sydämen sykettä ei muuttunut ensimmäisten 5-7 minuutin aikana. Keskimääräinen sykettä nousi noin 40 lyönnillä minuutissa 15 minuutin pituisen saunomisen aikana. Korkein mitattu sykettä oli 270/min<sup>(68)</sup>. Useat eri tutkimukset osoittavat, että vanhemmilla lapsilla saunomiseen liittyvät sykettäiden muutokset vaihtelevat huomattavasti. Tämä vaihtelu saattaa heijastaa saunassa vallinneiden olosuhteiden erilaisuutta.

### Otteita välitöskirjan koehenkilö- ja menetelmäosasta:

(Välitöskirjan tässä osassa kuvattua tutkimuksen kohteena oleva aineisto, käytetty tutkimusmenetelmä, tutkimuksessa aineistosta mitattavat suuret sekä saatujen tulosten arvioinnissa käytetty tilastolliset menetelmät.)

### Koehenkilöt

Vapaaehtoiset koehenkilöt olivat lapsia ja aikuisia Turun alueelta; lasten osallistumisesta tutkimukseen oli saatu kirjallinen suostumus heidän vanhemmiltaan. Turun yliopiston eettinen toimikunta oli hyväksynyt tutkimuksen.

Koehenkilöiden fyysisiä ominaisuuksia on kirjattu Taulukko 1. Koehenkilöistä 74 oli esipuberteetti-ikäisiä (P1GI Tannerin luokituksen mukaan) ja 27 puberteetti-ikäisiä tai aikuisia.

Taulukko 1. Koehenkilöt

	Ryhmä A 2-5 21		Ryhmä B 5-10 20		Ryhmä C 10-15 20		Ryhmä D 15-40 20		Ryhmä E 5-10 20	
Ikäryhmä (v)										
Lukumäärä										
Sukupuoli	poikia	tyttöjä	poikia	tyttöjä	poikia	tyttöjä	poikia	tyttöjä	poikia	tyttöjä
Lukumäärä	10	11	10	10	10	10	10	10	11	9
Ikä (v)	4,4	4,6	7,7	7,9	12,0	12,8	31,5	31,2	8,4	9,0
Pituus (cm)	107,4	112,3	129,1	132,6	153,3	150,9	179,8	162,8	132,4	129,7
Paino (kg)	18,1	20,1	28,9	27,6	42,8	45,0	79,8	61,6	29,3	27,4
Ihon pinta-ala (m <sup>2</sup> )	0,73	0,79	1,01	1,00	1,34	1,36	2,00	1,68	1,03	0,99

Ikä, pituus, paino ja ihon pinta-ala ilmoitettu keskiarvoina

Jotta mahdollinen pelokkuus ei vaikuttaisi tuloksiin, mitkäin ryhmäin A-D sovelletut menetelmät eivät olleet kajoavia (invasiivisia). Samasta syystä käytettiin iholle levitettävää paikallisuudutetta ryhmälle E tehdyn verinäytteen oton yhteydessä.

Saunassa vallitsevaa ympäristöä vastaavat olosuhteet saatiin aikaan ilmastokammion avulla (3 m x 2 m x 2,5 m). Lämpötila kammiossa oli 70 °C ja suhteellinen kosteus 20 %. Kammiossa vallitsevan lämpötilan mittaus tarkkuus oli ± 1 °C ja kosteuden ± 3 %. Kammion lämmittäminen tapahtui lattian alta 0,1 m/s nopeudella virtaavan lämpimän ilman avulla. Täten koko huoneessa oli tasainen lämpötila. Koehenkilöt olivat pukeutuneet uimapukuun ja he istuivat lämpökuormituksen aikana rauhallisesti kammiossa olevalla penkillä.

Tutkimus koostui kolmesta vaiheesta: 1) 10 minuutin istuminen laboratoriohuoneessa (21-23 °C), 2) 10 minuutin istuminen ilmastokammiossa ja 3) 10 minuutin pituminen



Taulukko 8. Hengityksen keskimääräinen minuuttilavuus (l/min) 71 lapsella ennen saunomista, saunomisen aikana ja saunomisen jälkeen. N = osallistuneiden lukumäärä

	Ryhmä A (2-5-vuotiaat) (N=12)	Ryhmä B (5-10-vuotiaat) (N=20)	Ryhmä C (10-15-vuotiaat) (N=19)	Ryhmä D (yli 15-vuotiaat) (N=20)
Mittaushetki				
1. Ennen saunomista	14,5	7,5	20,9	15,4
2. Saunomisen aikana	30,6	15,8	29,0	20,3
Maksimaalinen minuuttilavuus	15,1*	8,3 NS	8,1*	4,8*
- muutos -	12,9	9,6	23,1	16,0
3. 10 min saunomisen jälkeen				
- muutos - = keskimääräinen yksilökohtainen lepoarvojen (ennen saunomista) ja maksimaalisten arvojen erotus				
* = tilastollisesti merkitsevä muutos minuuttilavuudessa lepoarvoista (ennen saunomista) maksimaalisiin arvoihin				
NS = ei tilastollisesti merkitsevää muutosta				

Diastolinen verenpaine

Keskimääräinen diastolinen verenpaine ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi saunomisen aikana, mutta huomattavaa yksilöiden välistä vaihtelua esiintyi: 6 lapsella 81:stä diastolinen verenpaine nousi (korkein arvo 110 mmHg) ja 13 lapsella laski.

Diastolinen verenpaine laski tilastollisesti merkitsevästi alle 10 vuoden ikäisillä lapsilla (ryhmät A ja B) neljän lämpöalituksen jälkeisen minuutin aikana. Monilla ryhmien A ja B lapsilla esiintyi myös oireita samaan aikaan: 41 lapsesta 2 pyörtöyi ja 7 valitti huimausta. Lisäksi yksi ryhmän E lapsista pyörtöyi.

Otteita välitöskirjan pohdintaosasta:

(Pohdintaosassa arvioidaan omia tutkimustuloksia, niiden luotettavuutta ja niiden merkitystä sekä olemassa oleviin tutkimustuloksiin nähden, niin myös yleisesti.)

Hormonaaliset muutokset

Atriopeptidin vesitasapainoon ja natriumpitoisuuteen kohdistuvat vaikutukset johtuvat atriopeptidin suorista vaikutuksista munuaisiin: lisääntynyt glomerulusfiltraatio, huomattava natriumerityksen lisääntyminen virtsaan ja aldosteronin erityksen väheneminen<sup>(6a, 6b)</sup>.

Atriopeptidin pitoisuus ei muuttunut saunomisen aikana, mutta väheni tilastollisesti merkitsevästi tunnin kuluttua saunomisen jälkeen.

Atriopeptidipitoisuuden väheneminen oli odotettavissa, koska sekä systolinen että diastolinen verenpaine laskivat ja elimistö menetti nestettä saunomisen aikana<sup>(6a, 6b)</sup>. Atriopeptidin erityksen väheneminen on nestetasapainon säilymisen kannalta hyödyllistä, koska erityksen vähenemisen seurauksena vältytään enemmältä veden menetykseltä.

Verenkierroon sopeutuminen

Tutkimuksen tärkein havainto oli se, että lasten verenkierto sopeutuu saunomisen aikaan lyhyeen lämpökuormituksen huomomin kuin aikuisten verenkierto. Yksi mahdollinen selitys tälle löydökselle saattaa olla se, että lapsilla ydinlämpötilan nousun estäminen on ensisijaista ja se tapahtuu jopa riittävää keskeistä verenkiertoa ylläpitävien toimintojen kustannuksella.

Sydämen minuuttilavuuden kasvu johtui lisääntyneestä sydämen syketiheydestä yli 5-vuotiailla lapsilla. Sydämen minuuttilavuus kasvoi näillä koehenkilöillä hieman vähemmän kuin aikuisilla<sup>(6)</sup>. Vaikka sydämen syketiheyden kasvoi tilastollisesti merkitsevästi alle 5-vuotiailla lapsilla, iskuilavuuden pieneneminen oli niin suurta, että sydämen minuuttilavuus ei kasvanut ollenkaan. Tästä syystä epänormaalin suuri verenkierrovasteiden vilkastuminen, joka hipoi kestokeyvyn äärrajaa joillakin lapsilla, oli oleellisen tärkeä tekijä keskeisen verenkierroon ylläpitämiseksi alle 5-vuotiailla lapsilla.

Verenpaineen säätely tapahtuu muuntelemalla sydämen minuuttilavuutta ja ääreisverenkierroon kokonaisvastusta. Mielenkiintoinen havainto oli, että alle 5-vuotiailla lapsilla ääreisverenkierroon kokonaisvastus ei saunottaessa lisääntynyt vakaan verenpaineen ylläpitämiseksi. Näillä lapsilla sydämen iskuilavuus pieneni, ja sydämen minuuttilavuutta voitiin ylläpitää vain lisäämällä syketiheyttä submaksimaaliselle tasolle. Reniini-angiotensiini-aldosteronijärjestelmän avulla tapahtuvan verenpaineen säätelyn sopeutuminen kestää useita tunteja ja sen vuoksi sillä ei todennäköisesti ollut mitään vaikutusta verenpaineen säätelyyn 10 minuuttia kestäneen saunomisen aikana.

Siirtyminen 70 °C:n lämpötilasta huoneenlämpöön (22 °C) aiheutti erittäin nopean sydämen syketiheyden laskun. Tämä saattoi johtua äkillisen ihon lämpötilan alenemisen aiheuttamasta parasympaattisesta ärsytyksestä. Toisaalta kehon ydinlämpötila säätelee ihon verenkiertoa kylmässä ympäristössä<sup>(7a)</sup>. Tässä tutkimuksessa peräsuolilämpö palasi alkuperäiselle tasolle 50 minuutissa saunomisen loppumisesta, ja täten ihon verisuonet pysyivät laajentuneina tuona aikana. Sydämen syketiheyden loppumisesta, ja täten ihon verisuonet pysyivät laajentuneina tuona aikana. Sydämen syketiheyden pieneneminen ja verenvirtauksen ohjautuminen iholle ja alaraajoihin oli ilmeisen vaativa tehtävä lapsen verenpaineen säätelylle mekaniismeille, erityisesti valtimoiden paineresseptoriheijasteille. Alle 10-vuotiailla lapsilla kompensatoriset sydän- ja verenkierrovasteet eivät käynnistyneet välittömästi. Tämä johti systolisen ja diastolisen verenpaineen huomattavaan laskuun. Kolme koehenkilöä 101:sta pyörtöyi, todennäköisesti alentuneen aivoverenvirtauksen vuoksi. Yli 10 vuoden ikäisillä lapsilla ei esiintynyt verenpaineen laskua eikä pyörtymisiä. Tämä viittaa siihen, että siirryttäessä saunan lämmöstä huoneenlämpöön valtimoverenpaine ei pysty ylläpitämään alle 10-vuotiailla lapsilla yhtä tehokkaasti kuin yli 10-vuotiailla lapsilla, koska heidän verenkiertojärjestelmänsä ei ole yhtä herkkä ja heidän verenkiertoheijasteensa ovat hitaampia. Näillä lapsilla tapahtunut pyörtymisen osoittaa verenkierrovasteiden riittämättömyyden tilanteessa, jossa tapahtuu nopea ja huomattava muutos ympäristön lämpötilassa. Pyörtymisen mahdollisuus vilvoittelun alkuvaiheessa on otettava huomioon lasten saunomisen yhteydessä.

# Väitöskirjassa käytetyt kirjallisuusviitteet:

(Väitöskirjan kirjallisuusluetteloon kirjataan kaikki ne julkaisut, joita työssä on siteerattu.)  
[Tähän on kerätty väitöskirjan viitettelosta ainoastaan ne lähteet, joihin valittujen oiteiden tekstissä on viitattu.]

1. Zahorska-Markiewicz B: Thermal and metabolic responses to heat exposure in obesity. Eur J Appl Physiol 48:379-385, 1982.
2. Shoenfeld Y, Odaian R, Shapiro Y, Ohry A and Sohar E: Age and sex difference in response to short exposure to extreme heat. J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol 44(1):1-4, 1978.
3. Hietala J, Nurmi T, Uhari M, Pakarinen A and Kouvalainen K: Acute phase proteins, humoral and cell mediated immunity in environmentally-induced hyperthermia in man. Eur J Applied Physiol 49:271-276, 1982.
4. Leppälähti J, Tuominen M, Väänänen A, Karpakka J and Vuori I: Some cardiovascular and metabolic effects of repeated sauna bathing. Acta Physiol Scand 128:77-81, 1986a.
5. Hasan J and Karvonen MJ: Physiological effects of extreme heat. Special review. Part I. Am J Physiol Med 45(6):296-314, 1966.
6. Eissalo A: Effects of the Finnish sauna on circulation. Studies on healthy and hypertensive subjects. Ann Med Exper Biol Fenniae, 34: Suppl. 4:1-96, 1956.
7. Piironen P and Aikäs E: Hähtuminen ja hikoilu erilaisissa saunoilutilleissa. Sauna 2:1-6, 1961.
8. Hardy JD and Stolwijk JAJ: Partitioned calorimetric studies of man during exposures to thermal transients. J Appl Physiol 21(6):1799-1806, 1966.
9. Benzingen T: Heat regulation: Homeostasis of central temperature in man. Physiol Rev 49:671-752, 1969.
10. Wyss CR, Brengelmann GL, Johansson JM, Powell LB and Niederberger M: Control of skin blood-flow, sweating and heart rate: role of skin vs. core temperature. J Appl Physiol 36(6):726-733, 1974.
11. Gold J: Development of heat pyrexia. JAMA 173:1175-1182, 1960.
12. Gaudio R Jr and Abramson N: Heat induced hyperventilation. J Appl Physiol 25(6):742-746, 1968.
13. Haapanen E: Effects of Finnish sauna bath on the electrolyte excretions and the renal clearances. Ann Med Exper Biol Fenniae 36:suppl 5, 1958.
14. Shoenfeld Y, Sohar E, Ohry A and Shapiro Y: Heat stress: comparison of short exposure to severe dry and wet heat saunas. Arch Phys Med Rehabil 57:126-129, 1976.
15. Sohar E, Shoenfeld Y, Ohry A and Cahili S: Effects of exposure to Finnish sauna. Israel J Med Sci 12(11):1276-1282, 1976.
16. Frye AJ and Kamon E: Responses to dry heat of men and women with similar aerobic capacities. J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol 50(1):65-70, 1981.
17. Shapiro Y, Pandolf KB, Avellini BA, Pimenihai NA and Goldman RF: Heat balance and transfer in men and women exercising in hot-dry and hot-wet conditions. Ergonomics 24(5):375-386, 1981.
18. Wyndham CH, Morrison JF and Williams CG: Heat reactions of male and female Caucasians. J Appl Physiol 20(3):357-364, 1965.
19. Avellini BA, Shapiro Y, Pandolf KB, Pimenihai NA and Goldman RF: Physiological responses of men and women to prolonged dry heat exposure. Aviat Space Environ Med 51(10):1081-1085, 1980.
20. Verde T, Shepard RJ, Coney P and Moore R: Sweat composition in exercise and in heat. J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol 53(6):1540-1545, 1982.
21. Edholm OG, Fox RH and MacPherson RC: The effect of body heating on the circulation in skin and muscle. J Physiol 134:612-619, 1956.
22. Rowell LB: Reflex control of the cutaneous vasculature. J Invest Dermatol 69:154-166, 1977.
23. Vuori I: Sauna bather's circulation. Ann Clin Research 2038/1988b.
24. Wenger CB and Roberts MF: Control of forearm venous volume during exercise and body heating. J Appl Physiol 48(1):114-119, 1980.
25. Brengelmann GL: Circulatory adjustments to exercise and heat stress. Ann Rev Physiol 45:191-212, 1983.
26. Nielsen B, Rowell LB and Bonde-Petersen F: Cardiovascular responses to heat stress and blood volume displacements during exercise on man. Eur J Appl Physiol 52:370-374, 1984.
27. Roberts MF and Wenger CB: Thermal and baroreflex control of skin circulation. Biometeorology 7, Part 2:54-64, 1980.
28. Rowell L: Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. Physiol Rev 54:75-142, 1974.
29. Dretner B: The effect of the sauna bath on the peripheral blood flow. Acta Soc Med Upsalensis 69:279-280, 1964.
30. Huikko M, Jouppila P and Karki NT: Effects of Finnish bath (sauna) on the urinary excretion of noradrenaline, adrenaline and 3-methoxy-4-hydroxymandelic acid. Acta Physiol Scand 68:316-321, 1966.
31. Kosunen KJ, Pakarinen AJ, Kuoppesalmi K and Adlercreutz H: Plasma renin activity, angiotensin II, and aldosterone during intense heat stress. J Appl Physiol 41(3):323-327, 1976.
32. Hussi E, Sonck T, Pökö H, Remes J, Eissalo A and Jänne J: Plasma catecholamines in Finnish sauna. Ann Clin Res 9:301-304, 1977.
33. Korzenidis GT, Shepherd JT and Marshall RJ: Cardiovascular response to acute heat stress. J Appl Physiol 16(5):869-872, 1961.
34. Rowell LB, Brengelmann GL and Murray JA: Cardiovascular responses to sustained high skin temperature in resting man. J Appl Physiol 27(5):673-689, 1969.
35. Bynum GD, Pandolf KB, Schuette WH, Goldman RF, Lees DE, Whang-Ping J, Atkinson ER and Bull JM: Induced hyperthermia in sedated humans and the concept of critical thermal maximum. Am J Physiol 235(5):R228-R236, 1978.
36. Eggers P and Goll W: Die Wirkung des Saunabades auf Herz und Kreislauf. Dtsch med Wschr 77:863-866, 1952.
37. Kaderavek F: Innerer Temperaturgradient als Indikator der Kreislaufkapazität in der heißen Umgebung des Saunabades. Sauna-Archiv 3:29-33, 1980.
38. Laurila OJ: Arrhythmias and other cardiovascular responses during Finnish sauna and exercise testing in healthy men and postmyocardial infarction patients. Acta Medica Scand Suppl 641: 1-60, 1980.
39. Holtz J and Bassenge E: Der Blutdruck in der Abkühlphase des Saunabades: Untersuchungen mit einer phasentrennen, nichtinvasiven, neuen Messtechnik. Z Phys Med 4:247-255, 1981.
40. Bachmann K, Hoffmann H, Günther W and Zeraawy R: Ergebnisse telemetrischer Kreislaufuntersuchungen beim Saunabadevorgang. Sauna-Archiv 9: 17, 1971.
41. Taggart P, Parkinson P and Caruthers M: Cardiac responses to thermal, physical and emotional stress. Br Med J 3:71-76, 1972.
42. Davies H: Cardiovascular effects of the sauna. Am J Phys Med 54(4):178-185, 1975.
43. Kosiek J-P, Vogler G and Klaus EJ: Kontinuierliche Herzschlagfrequenzregistrierung bei SportlerInnen während eines Saunabades. Sportarzt und Sportmedizin 1:7-16, 1969.
44. Hüllemann K-D and Matthies D: Comparative telemetric measurements on heat attack patients and normal persons in the sauna, taking an ergometer test, at sports and at an interview. In H Teir, Y Collan and Pirkko Valtakari (editors): Sauna-Studies, pp 181-188, Vammalan Kirjapaino 1976.
45. Sanghelle JK and Hansen HJ: Kan hypertensienter ta bustubad? Tidsskr Nor Laegeforen 101(23):1273-1275, 1981.
46. Donhofer SZ, Mestyan GY, Obrinská E and Tóth I: The thermoregulatory significance of the increase in O<sub>2</sub> - consumption elicited by high environmental temperature. Acta Physiol Acad Sci Hungar 4:291-299, 1953.
47. Saxton C: Effects of severe heat on respiration and metabolic rate in resting man. Aviat Space Environ Med 52(5):281-286, 1981.
48. Hasan J and Niemelä M: Metabolic responses of human subjects to severe acute thermal stress. Acta Physiol Scand 51:137-146, 1954.
49. Hardy JD and Stolwijk JAJ: Responses of man to thermal transients. In Thermal problems in Aerospace Medicine, pp. 105-127. Technivision Sciences, Maidenhead, England 1968.
50. Sherif NE, Shahwan L and Sorour AH: The effect of acute thermal stress on general and pulmonary hemodynamics in the cardiac patient. Am Heart J 79:305-317, 1970.
51. Faithfull NS, Van Den Berg AD and Van Rhoon GC: Cardiovascular and oxygenation changes during whole body hyperthermia. Adv Exp Med Biol 157:57-70, 1982.
52. Conradi E: The behaviour of selected parameters of the heart-circulatory and respiratory systems of patients accustomed to the sauna in the course of nine sauna baths at weekly intervals. Sauna Studies 189-205, 1976a.
53. Conradi E and Schneider CH: Untersuchungen zum Verhalten des Kreislaufs im Verlauf einer Serie Saunabader. Zehr Physiother 28:335-341, 1976b.
54. Zegveld C: Physical changes caused by taking a sauna bath. Sauna Studies 1976.



55. Saxton C: Respiration during heat stress. *Aviat Space Environ Med* 46(1):41-46, 1975.
56. Britton BJ, Hawkey C, Wood WG, Perle M, Kaye J and Irving MH: Adrenergic, coagulation and fibrinolytic responses to heat. *Br Med J* 4:139-141, 1974.
57. Drinkwater BL and Horvath SM: Heat tolerance and ageing. *Med Sci Sports* 11(1):49-55, 1979.
58. Máček M and Vávra J: Cardiopulmonary and metabolic changes during exercise in children 6-14 years old. *J Appl Physiol* 30(2):202-204, 1971.
59. Bouchard C, Malina RM, Hallmann Wand Leblanc C: Submaximal working capacity, heart size and body size in boys 8-18 years. *Eur J Appl Physiol* 36:115-126, 1977.
60. Eur J Appl Physiol 36:115-126, 1977.
61. Piekarski C, Morfeld P, Kampmann B, Ilmarinen R and Wenzel AG: Heart-stress reactions of the growing child. In: Rutenfranz J, Moeslin R and Klimt F (editors): *Children and exercise* XII. pp. 403-412, Human Kinetics Publishers Inc, Champaign, Illinois, 1986.
62. Andersen KJ, Selinger V, Rutenfranz J and Berndt I: Physical performance capacity of children in Norway. Part II. Heart rate and oxygen pulse in submaximal and maximal exercises - Population parameters in a rural community. *Eur J Appl Physiol* 33:197-206, 1974.
63. Bar-Or O: Physiologic responses to exercise of the healthy child. In: *Oded Bar-Or: Pediatric Sports Medicine for the Practitioner from Physiologic Principles to Clinical Applications*, pp. 1-65. Springer-Verlag, New York, 1983b.
64. Bar-Or O, Shephard RJ and Allen CL: Cardiac output of 10- to 13-year-old boys and girls during submaximal exercise. *J Appl Physiol* 30(2):219-223, 1971.
65. Eriksson BO: Cardiac output during exercise in pubertal boys. *Acta Paediatr Scand Suppl* 217:53-55, 1971.
66. American Academy of Pediatrics, Committee on Sports Medicine: Climatic heat stress and the exercising child. *Pediatrics* 69(4):808-809, 1982.
67. Venho V: Untersuchungen und Beobachtungen an Säuglingen in der Finnischen Sauna. *Sauna-Archiv* 1:77-82, 1958.
68. Fyhrquist F, Wallenius M and Hollemans HJG: Radioimmunoassay of vasopressin in unextracted plasma. *Scand J Clin Lab Invest* 36:841-847, 1976.
69. Needleman P and Greenwald JE: Atrial natriuretic factor: a cardiac hormone intimately involved in fluid, electrolyte, and blood pressure homeostasis. *New Engl J Med* 13:828-834, 1986.
70. Garcia R, Thibault G, Cantin M and Genest J: Effect of purified atrial natriuretic factor on rat and rabbit vascular strips and vascular beds. *Am J Physiol* 247:234-239, 1984.
71. Rowell LB, Brengelmann GL, Detry JM and Wyss C: Venomotor responses to rapid changes in skin temperature in exercising man. *J Appl Physiol* 30(1):64-71, 1971.

(Väitöskirjaan kuuluu myös muita osia, joiden sisältöä ole otettu mukaan edellä valittuihin otteisiin:

- Johdanto-osa väitöskirjan alussa, jossa selvitetään, minkä vuoksi valittu aiheen, ilmiön tai ongelman tutkiminen olisi perusteltua
- Tutkimuksen tavoitteet johdannon jälkeen, jossa lyhyesti kuvataan mihin kysymyksiin tutkimuksen avulla haetaan vastauksia
- Tiivistelmä pohdintaosan jälkeen, jossa tiivistetään esiteltävän tutkimuksen keskeiset tulokset
- Johtopäätelmät -osa edellisen jälkeen, jossa arvioidaan saavutettujen tulosten merkitystä tulevan tutkimuksen tai sovellusten kannalta
- Lisätiivistelmä -osa, jossa käsitellään väitöskirjatyön eri vaiheisiin osallistuneita henkilöitä ja tahoja sekä muita työstä suoritukseen vaikuttaneita henkilöitä.)

## TEHTÄVÄT:

### Tehtävä 1

**20 pistettä**  
Kirjoita ohjeisten aineistotekstioitteiden perusteella yhteenveto, jossa vertailet aikuisilla ja lapsilla tapahtuvia muutoksia verenkiertoelimestön toiminnassa saunomisen aikana ja lyhytaikaisesti saunomisen jälkeen.

### Tehtävä 2

**9 pistettä**  
a) Mitkä ihon ja ihonalaiskudosten rakenteet osallistuvat tasalämpöisyyden ylläpitoon aikuisella ihmisellä? (4 p)

b) Millä tavoin nämä rakenteet edistävät tasalämpöisyyden säilymistä? (5 p)

### Tehtävä 3

**17 15 pistettä**

Henkilö, jonka massa on 77 kg, ihon lämpötila 39 °C, ihon pinta-ala 1,9 m<sup>2</sup> ja perusaineenvaihdunnan teho 83 W, on saunassa 100,0 °C:n lämpötilassa. Saunan lämpötila on kaikkialla sama ja saunojan kontaktia lauteisiin ei huomioida laskuissa. Lämpösiirteilyn emissio- ja absorptiokertoimille voit käyttää samaa (tarkkaa) arvoa k=1 kuin mustalle kappaleelle. Veden höyrystymislämpö on 2260 kJ/kg.

a) Mikäli saunojan ihon lämpötila ei muutu, niin kuinka paljon henkilöstä siirtyy lämpöenergiaa säteilemällä 12 minuutin aikana? (4 p)

b) Entä kuinka paljon henkilöön siirtyy lämpöenergiaa säteilemällä samassa ajassa? (3 p)

c) Mikä on säteilemällä siirtyvän tehon nettomäärä ja suunta? (2 p) **POISTETTU**  
**ARVOSTELUSTA**

d) Laske lämpöenergian kuljetusteho ilmasta saunojaan käyttäen konvektiivihäilöä ja luonnollisen kuljettumisen laskukaavaa. (4 p)

e) Kuinka suuri henkilön hikoilunopeuden (kg/h) tulee saunassa olla, jotta kehon lämpötila ei nouse, kun oletetaan, että hiki haihtuu kokonaisuudessaan? Oleta hien olevan termodynaamisesti täysin veden veden kaltaista ja termodynaamisen prosessin saman kuin kiehumisessa. (4 p)

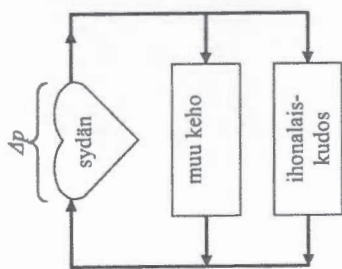
### Tehtävä 4

**18 pistettä**

Aineistossa mainittu tutkimuksessa mukana olleilla suomalaisilla aikuisilla sydämen keskimääräinen minuuttilavuus ennen saunomista on 5,3 l/min ja saunomisen aikana 9,16 l/min. Käytä tehtävässä näitä arvoja. Lisäksi voidaan olettaa aortan poikkileikkauksen pinta-alaksi 3,0 cm<sup>2</sup> sekä keskimääräiseksi aorttapaineeksi ennen saunomista ja saunomisen aikana 101 mmHg.

a) Laske sydämen iskutilavuus ennen saunomista (syke 75 lyöntiä minuutissa) ja saunomisen aikana (syke 120 lyöntiä minuutissa). (4 p)

b) Laske prosentteina, paljonko sydämen keskimääräinen teho muuttuu suhteessa tilanteeseen ennen saunomista. Käytä laskussa SI-yksiköitä. (6 p)



c) Ihonalaiskudoksen ja muun kehon verenkierron jakaantumista voidaan tarkastella kuvassa 1 olevalla yksinkertaistetulla mallilla. Laske mallin avulla, paljonko ihonalaiskudoksen virtausvastus muuttuu PRU-yksiköissä (perifeerinen vastusyksikkö) tilanteissa ennen saunomista ja saunomisen aikana.

Saunomisen aikana perifeerinen kokonaisvirtausvastus laskee 42 % ja ennen saunomista verenvirtauksesta 6,0 % kulkee ihonalaiskudoksen kautta. Saunomisen aikana muun kehon perifeerinen vastus = 1,1 PRU. Molemmassa tapauksissa keskimääräinen aortta- ja laskimopaineen ero  $\Delta p = 98 \text{ mmHg}$ . Huomioi miten PRU-yksikkö on määritelty. (8 p)

Kuva 1

### Tehtävä 5

10 pistettä  
Typpioksidin eli typpimonoksidin kemiallinen kaava on NO. Typpioksidin on tärkeä signaaliaine nisäkkäillä, myös ihmisellä. Typpioksidia muodostuu elimistössä arginiinista ja hapesta typpioksidisyntaasientsyymien vaikutuksesta. Joidenkin tutkimusten mukaan näiden entsyymien aktiivisuus lisääntyy lämpöaltistuksessa. Tällöin typpioksidin määrä verenkierrossa kasvaa.

Arginiiniin eri funktionaalisia ryhmiä vastaavat  $pK_a$ -arvot

- Karboksyyliryhmä 1,82
- $\alpha$ -aminoryhmä protonoituneena 8,99
- Sivuketju protonoituneena kaksoissidokselliseen tyypeen 12,48

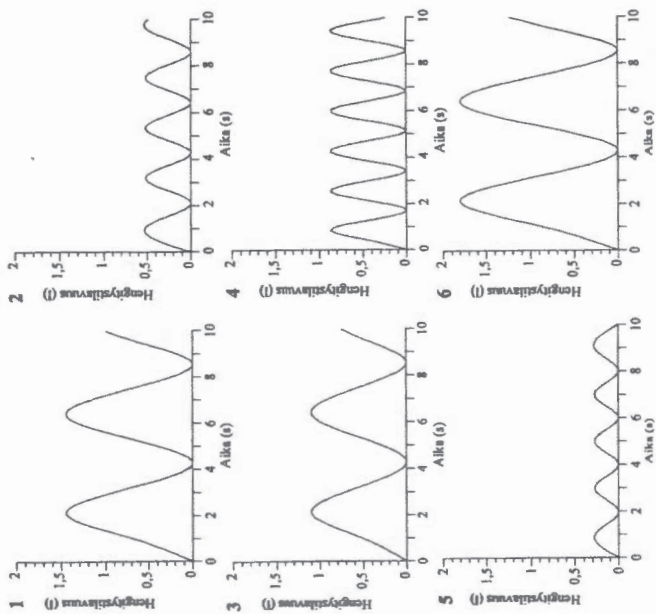
a) Pohdi mitä fysiologisia vaikutuksia sydämen toiminnan kannalta typpioksidilla voi olla saunomisen aikana. (4 p)

b) Piirrä täydellinen rakennekaava arginiiniin siitä muodosta, joka on vallitseva vesiliuoksessa pH:n arvolla A) 1, B) 7 ja C) 13,5. Vihje: Arginiiniin sivuketjun protonoituminen tapahtuu kaksoissidokselliseen tyypeen. (6 p)

### Tehtävä 6

12 pistettä  
a) Mitkä kuvan 2 spirogrammeista 1-6 (ryhmien keskiarvokäyriä) kuvaavat aineistotekstissä mainittujen 2-5-vuotiaiden lasten hengitystä ennen saunomista ja maksimaalista hengitystä saunomisen aikana? Mitkä ovat vastaavat kuvaajat yli 15-vuotiaiden ryhmälle? Perustele vastauksesi. (6 p)

b) Mistä syystä saunominen lisää hengitystaajuutta ja/tai kertahengitysilmatilavuutta ja siten keuhkotuotusta? (6 p)



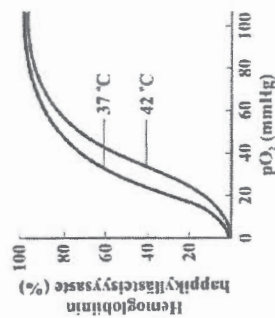
Kuva 2

### Tehtävä 7

16 pistettä  
Kudoksissa aineenvaihdunnan tuloksena muodostuva hiilioksidin kulkeutuu veren mukana keuhkoihin poistettavaksi uloshengityksen mukana. Kvantitatiivisesti tärkein hiilioksidin kuljetusmuoto veressä on veriplasmaan liuenut vetykarbonaatti-ioni, jonka muodostumiseen myös punasolut osallistuvat.

a) Kuvaa reaktioyhtälöiden ja kaavioiden avulla kudoksissa muodostuneen  $\text{CO}_2$ :n muuntuminen veriplasman vetykarbonaatti-ioniksi. Nimeä reaktiosarjan osareaktioita mahdollisesti katalysoivat entsyymit. Kuvaa myös, mitkä reaktiosarjan aineet siirtyvät solukalvon läpi ja millä tavoilla nämä siirtymiset tapahtuvat. (10 p)

b) Kuvassa 3 on esitetty oksihemoglobiinin dissosiaatiokäyrät kehon lämpötiloissa 37 °C ja 42 °C. Koska saunomisen aikana kehon lämpötila kohoaa, niin mitä dissosiaatiokäyrien perusteella voidaan päätellä saunomisen vaikutuksesta hapen sitoutumiseen keuhkoissa ja siirtymiseen kudoksiin verrattuna tilanteeseen, jossa kehon lämpötila on normaali? (6 p)



Kuva 3



## Tehtävä 8

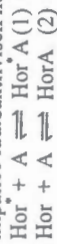
Normaalisti valtimoveren hiiliidioksidipaine ( $p\text{CO}_2$ ) on 5,33 kPa, pH 7,40 ja vetykarbonaatti-ionin konsentraatio 26,6 mmol/l. Saunomisen aikana hiiliidioksidin osapaine voi kohota kapillaariveren plasmassa arvoon 7,15 kPa ja veren pH laskea arvoon 7,26. Mitkä ovat tällöin kapillaariveren plasman liuenneen hiiliidioksidin ja vetykarbonaatti-ionin konsentraatit (mmol/l)? Muita mahdollisia veren pH-arvoon vaikuttavia tekijöitä ei oteta huomioon.

## Tehtävä 9

Millä mekanismeilla elimistö pyrkii kompensoimaan saunomisen yhteydessä tapahtuvaa suolanmenetystä?

## Tehtävä 10

RIA on eräs klassinen tapa määrittää esim. veren hormonipitoisuus. RIA:aan tarvitaan hormonia spesifisesti sitova vasta-aine (A), radioaktiivisesti merkitty hormoni ( $\text{Hor}^*$ ) sekä näyte, jonka sisältämän hormonin (Hor) pitoisuus mitataan. Näytteen sisältämä hormoni kilpaillee radioaktiivisen hormonin kanssa sitoutumisesta vasta-aineeseen.



Voimassa ovat siis tasapainot  $K_1 = \frac{[\text{Hor}^*\text{A}]}{[\text{Hor}^*][\text{A}]}$  ja  $K_2 = \frac{[\text{HorA}]}{[\text{Hor}][\text{A}]}$ .

Yksinkertaistuksen vuoksi oletamme, että jokainen vasta-ainemolekyyli sitoo vain yhden hormoni-molekyylin.

Kun reaktiot ovat saavuttaneet tasapainon,  $\text{Hor}^*\text{A}$  eristään ja sen pitoisuus ( $[\text{Hor}^*\text{A}]$ ) määritetään radioaktiivisuuden mittauksen avulla.  $[\text{Hor}^*\text{A}]$  on em. reaktioiden pohjalta kääntäen verrannollinen näytteen sisältämän hormonin pitoisuuteen (mitä pienempi radioaktiivisuus, sitä suurempi näytteen hormonipitoisuus; ks. kuva 4). Hormonipitoisuus näytteessä voidaan laskea, koska A:n ja  $\text{Hor}^*$ :n pitoisuudet ja reaktioiden tasapainovakiot tunnetaan.

Eräs koetilanne, jossa näytteen hormonikonsentraatio määritettiin:

Reaktioseokset (kokonaistilavuus =  $V = 1,000$  ml)

- verrokkeisot (ei näytetty): 0,800 ml puskuriliuosta, 0,100 ml vasta-ainetta sisältävää liuosta (A-liuos) ja 0,100 ml radioaktiivista hormonia sisältävää liuosta ( $\text{Hor}^*$ -liuos)
- näytteen sisältävä seos: 0,600 ml puskuriliuosta, 0,200 ml näytettyä, 0,100 ml A-liuosta ja 0,100 ml  $\text{Hor}^*$ -liuosta
- vasta-aineen kokonaiskonsentraatio (kummassakin seoksessa)  
 $= C_A = [A] + [\text{Hor}^*\text{A}] + [\text{HorA}] = 1,00 \cdot 10^{-16} \text{ mol/l}$
- radioaktiivisen hormonin kokonaiskonsentraatio (kummassakin seoksessa)  
 $= C_{\text{Hor}^*} = 3,00 \cdot 10^{-10} \text{ mol/l}$

$$K_1 = K_2 = 3,00 \cdot 10^9 \text{ l/mol}$$

## 11 pistettä

Verrokkeisoseksessa (ei näytetty),  $C_{\text{Hor}^*} = 0$   $[\text{Hor}^*\text{A}] = 4,74 \cdot 10^{-17} \text{ mol/l}$  (tasapainotila). Näytettyä sisältävässä seoksessa  $[\text{Hor}^*\text{A}] = 3,74 \cdot 10^{-17} \text{ mol/l}$  (tasapainotila).

Laske edellä mainitussa koetilanteessa olevien vakioiden ja mittaustulosten perusteella alkuperäisen näytteen hormonikonsentraatio. Oleta, että vapaiden hormonien ( $\text{Hor}$  ja  $\text{Hor}^*$ ) konsentraatio reaktioseksessa ei muutu merkittävästi niiden sitoutuessa A:han (ylimäärä  $\text{Hor}^*$ :a ja  $\text{Hor}$ :a suhteessa A:han) eli  $C_{\text{Hor}^*} \approx [\text{Hor}^*]$  ja  $C_{\text{Hor}} \approx [\text{Hor}]$ . Vihje: ratkaisu saadaan  $C_A$ :n lausekkeesta.

## Tehtävä 11

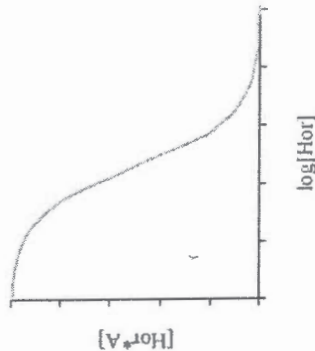
Kun erästä saunaa, jonka tilavuus on 7,28 m<sup>3</sup>, lämmitetään koivuhaloilla, kestää saunan lämpötilan nousu huoneenlämmöstä (22 °C) saunomislämpötilaan (85 °C) 65 min ja energiaa saunan lämmittämiseen kuluu 22 MJ.

## 18 pistettä

a) Kuinas korvataan sähkökiukaalla, jossa kolme identtistä vastusta on kukin erikseen kytketty 230 V teholliseen jännitteeseen. Kuinka suuri pitää kunkin vastuksen resistanssin olla, jotta lämmitysaika pysyisi samana? (5 p)

b) Jos saunan ilma on täysin kuivaa ja ilmanpaine saunassa on 105 kPa kun saunomislämpötila saavutetaan, niin kuinka suuri osuus lämmitykseen käytetystä energiasta on kulunut sillä hetkellä saunassa olevan ilman lämmittämiseen? Tässä oletetaan, että ilman lämpötila on kaikkialla saunassa sama.  $c_{p,\text{ilma}} = 1,0 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ ,  $\rho_{\text{ilma}}(85 \text{ °C}) = 1,02 \text{ kg/m}^3$  (5 p)

c) Mikäli kiukaalle heitetään 2,5 dl vettä (22 °C), joka höyrystyy kokonaan, ja oletetaan, ettei ilma (helkellisesti) pääse poistumaan saunasta sekä odotetaan, kunnes lämpötila ja ilmankosteus saunan sisällä ovat tasaantuneet, niin kuinka paljon ilmanpaine saunassa on noussut löylynheittoa edeltävään hetkeen verrattuna? Voit käsitellä sekä ilmaa että vesihöyryä ideaalikaasuina ja voit olettaa niiden olevan kaikkialla saunassa 85 °C lämpötilassa. (8 p)



Kuva 4



Maan painovoiman aiheuttama putoamiskiihtyvyyden  $9,81 \text{ m/s}^2$   
 Äänen nopeus ilmassa  $334 \text{ m/s}$   
 Veden tiheys  $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  ( $0^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$ )  
 Veron tiheys  $1050 \text{ kg/m}^3$   
 Elohopean tiheys  $13600 \text{ kg/m}^3$   
 Planckin vakio  $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$   
 Veden höyrystymislämpö  $2620 \text{ kJ/kg}$   
 Veden ominaislämpökapasiteetti  $4,19 \text{ kJ/(K} \cdot \text{kg)}$   
 Elektronin varaus  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
 Avogadron luku  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} / \text{mol}$   
 $0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$   
 Yleinen kaasuvakio  $R = 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$   
 Faradayn luku  $F = 96,5 \cdot 10^3 \text{ C/mol}$   
 Ideaalikaasun moolitilavuus  $V_m = 22,41 \text{ l/mol (NTP)}$   
 Kuivun ilman tiheys  $1,29 \text{ kg/m}^3$  (NTP)  
 Valon nopeus  $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$   
 Stefan-Boltzmannin vakio  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$   
 $k = 1$  mustalle kappaleelle  
 $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$   
 $1 \text{ curie} = 1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$   
 $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$   
 $m_p = 1,6726586 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m_0 = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m_p = 1,0072825 \text{ } m_0$   
 $m_n = 1,0086650 \text{ } m_0$

protoni:  
 neutroni:  
 atomimassayksikkö:  
 $m_p = 1,6726586 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m_0 = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m_p = 1,0072825 \text{ } m_0$   
 $m_n = 1,0086650 \text{ } m_0$

$$K = \frac{[A^-][HB^+]}{[HA][B]}$$

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$$

$$K_a = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$\frac{[A^-]}{[HA] + [A^-]} = \frac{1}{1 + 10^{(pH - pK_a)}}$$

$$\frac{[HA]}{[HA] + [A^-]} = \frac{1}{1 + 10^{(pH - pK_a)}}$$

$$[H_3O^+] = \sqrt{K_a \cdot C_{tot}}$$

$$V_0 / V_{max} = \frac{[S]}{K_m + [S]}$$

$$c = Hp_0$$

$$J_d = -D \frac{dc}{dx}$$

$$D^0 = \sqrt{\frac{\rho N_A}{162\pi^2}} \frac{kT}{M^{1/3}} \frac{1}{\eta}$$

$$\frac{J_d}{\Delta c} = P = \frac{KD}{\Delta x}$$

$$P = \phi D / \Delta x$$

$$\Pi = RTc$$

$$\Pi = nRT / V$$

$$\Pi = \phi RTc$$

$$\Pi = \sum \Pi_i = \sum \frac{n_i RT}{V}$$

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln c_i + Z_i FV$$

$$J_i = - \frac{c}{N_A f} \frac{d\mu_i}{dx} = - \frac{RT}{N_A f} \frac{dc_i}{dx} - \frac{c Z_i F}{N_A f} \frac{dV}{dx}$$

$$\mu^{0x} + RT \ln c^x + Z_i FV^x = \mu^{0u} + RT \ln c^u + Z_i FV^u$$

$$\Delta V = - \frac{RT}{ZF} \ln \frac{c^x}{c^u}$$

$$J = -D \left( \frac{dc}{dx} + Zc \frac{dV}{dx} \right)$$

$$\Delta V = V_x - V_u = - \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{Na} c_{Na}^u + P_K c_K^u + P_{Cl} c_{Cl}^u}{P_{Na} c_{Na}^x + P_K c_K^x + P_{Cl} c_{Cl}^x}$$

$$\frac{c_K^x}{c_K^u} = \frac{c_{Cl}^x}{c_{Cl}^u}$$

$$(c_{Cl}^u + \frac{1}{Z} [c_p^u] c_{Cl}^u) = c_K^x c_{Cl}^x$$

$$\Delta \Pi = RT \Delta c = RT (c_K^x + c_{Cl}^x + c_p^x - c_K^u - c_{Cl}^u)$$

$$I = C_m \frac{dE}{dt} + g_{Na} (E - E_{Na}) + g_K (E - E_K) + g_L (E - E_L)$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$r = k(\lambda / NA)$$

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

$$\lambda = 12,26 \cdot 10^{-10} \sqrt{U(1 + 0,978 \cdot 10^{-6} U)}$$

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}); \quad F = qvB \sin \alpha$$

$$F = m\omega^2 r = V(\rho_m - \rho_n)\omega^2 r$$

$$v = F / f = V(\rho_m - \rho_n)\omega^2 r / f$$

$$W = \frac{1}{2} J \omega^2$$

$$v = \frac{QE}{6\pi\eta}$$

$$U = Kdq / \epsilon_i$$

$$L = U_f / I$$

$$I / I_0 = 10^{-\epsilon cd}$$

$$A = \log_{10}(I_0 / I)$$

$$A = \epsilon cd$$

$$E_s = [Zm_p + Nm_n - m_r] c^2$$

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lg A = \lg A_0 - (\lg e) \lambda t$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$\lambda_e = \lambda_f + \lambda_b$$

$$T_e = \frac{T_f T_b}{T_f + T_b}, T_0 = \frac{T_f T_e}{T_f - T_e}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda_1 t} + A_2 e^{-\lambda_2 t}$$

$$E_\gamma = E_\gamma \left[ 1 + \frac{1}{m_e c^2} (1 - \cos \theta) \right]^{-1}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$H = w_r D; \quad H_r = w_r D_r$$

$$E = \sum_R \sum_r w_R w_r D_r; \quad \sum w_r = 1$$

$$E = hf = hc / \lambda; \quad E(eV) = 1240 / \lambda(\text{nm})$$

$$f = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$$

$$v = \sqrt{fRT / M}$$

$$v = \sqrt{E / \rho}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W / m}^2$$

$$\beta = 10 \lg(I / I_0)$$

$$R = 10 \lg(P_1 / P_2) = 10 \lg(1 / \tau)$$

$$\tau = \frac{\tau_1 A_1 + \tau_2 A_2 + \dots}{A}$$

$$f = f_0 \frac{c}{c \pm v}; \quad f = f_0 \frac{c \pm v}{c}$$

$$F = mv^2 / r$$

$$T = \sqrt{4\pi^2 (r / a)}$$

$$F = m\omega^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} mr$$

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

$$\phi = \frac{\lambda A \theta}{d}$$

$$q = \frac{\lambda \theta}{d}$$

$$\phi = h \cdot A \cdot \theta$$

$$\theta = T_1 - T_2$$

$$h = h_{ik} = C[T_{ho} - T_{lma}]^{0,25}, C = 2,38 \text{ W/(K}^{0,25} \cdot \text{m}^2)$$

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4; \quad \frac{P}{A} = k\sigma T^4$$

$$\phi_A = h_{ik} \frac{A_k}{A} (p_{lma} - p_{hma})$$

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

$$v = v_0 + gt$$

$$h = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$T = 2\pi / \omega$$

$$n = 1 / t$$

$$a = v^2 / r$$

$$F = mv^2 / r = m\omega^2 r = (4\pi^2 / T^2) mr$$

$$y(x, t) = y_{\max} \sin(\omega t - kx)$$

$$p(x, t) = p_{\max} \cos(\omega t - kx)$$

$$\beta = (10 \text{ dB}) \lg(I / I_0)$$

$$I = \Phi / \omega = \Phi_{\text{tot}} / 4\pi$$

$$E = \Phi / A$$

$$L = I / A; \quad [L] = \text{cd / m}^2 = 1 \text{ Nit} = 1 \text{ nitil}$$

$$L = I_s / (A \cos \epsilon)$$

$$(n_1 / a) + (n_2 / b) = (n_2 - n_1) / r$$

$$f_2 = [(n_2 - n_1)r + n_1 r] / (n_2 - n_1) = f_1 + r$$

$$(f_1 / f_2) = (n_1 / n_2)$$

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

$$pV = nRT$$

$$\frac{pV_1}{T_1} = \frac{pV_2}{T_2}$$

$$V = V_0 (1 + \alpha_V \Delta T)$$

$$p = p_0 (1 + \alpha_p \Delta T)$$

$$Q = c_p m \Delta T$$

$$W = \gamma \Delta A$$

$$W = F \Delta l$$

$$P_1 = \frac{W_1}{\Delta t} = pA \frac{\Delta s}{\Delta t} = pA v$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \rho A \frac{\Delta s}{\Delta t} v^2 = \frac{1}{2} \rho v^3 A$$

$$P = P_1 + P_2 = (p + \frac{1}{2} \rho v^2) q_v$$

$$\langle p \rangle = \frac{1}{2} \rho \langle v^2 \rangle + \langle v^2 \rangle \langle q \rangle + \langle p_1 \rangle + \langle p_2 \rangle \langle q \rangle$$

$$\langle v^2 \rangle \approx \langle v^2 \rangle \approx 3.5 \langle v \rangle^2$$

$$\langle p \rangle = \frac{3.5 \rho \langle q \rangle^3}{A^2} + \frac{7}{6} \langle p \rangle \langle q \rangle$$

$$q_v = \frac{V}{t}$$

$$q_v = \frac{A l}{t} = A v_k$$

$$q_m = \frac{m}{t} = \rho \frac{V}{t} = \rho q_v = \rho A v_k$$

$$q_v = A_1 v_1 = A_2 v_2 = q_v$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{vakio}$$

$$\frac{E_k}{V} = \frac{\frac{1}{2} \rho v^2}{V} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\frac{E_p}{V} = \frac{m g h}{V} = \rho g h$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F_s}{A_s} = \frac{W}{V}$$

$$c = \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta V} \left( \frac{V}{l} \right)}$$

$$F = (E A / l) (\Delta l)$$

$$R = \Delta p / q_v = 8 \eta l / (\pi r^4)$$

$$PRU = \Delta p (mmHg) / q_v (ml / s)$$

$$PIR = 80 (P_{A_m} - L_{A_m}) / V_p$$

$$SVR = 80 (A O_m - R A_m) / V_p$$

$$q_v = \frac{\pi \Delta p R^4}{8 \eta L}$$

$$Re = \frac{\rho v R}{\eta}$$

$$v' = \frac{2 (\rho - \rho_0) g r^2}{9 \eta}$$

$$W = F s$$

$$E_p = m g h$$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_r = \frac{1}{2} J \omega^2$$

$$P = W / t$$

$$\eta = W_a / W_o$$

$$\eta = (W_o / t) / (W_a / t) = P_o / P_a$$

$$TT - luku = 1000 \frac{\mu(x, y, z) - \mu_{wei}}{\mu_{wei}}$$

$$R = \left( \frac{v_1 \rho_1 - v_2 \rho_2}{v_1 \rho_1 + v_2 \rho_2} \right)^2$$

$$\Delta f = 2 f v \cos \alpha / c$$

$$M = F \cdot r$$

$$I = A^2$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III	IV	V	VI	VII	VIII
1H	2He	3Li	4Be	5B	6C	7N	8O	9F	10Ne	11Na	12Mg	13Al	14Si	15P	16S	17Cl	18Ar
19K	20Ca	21Sc	22Ti	23V	24Cr	25Mn	26Fe	27Co	28Ni	29Cu	30Zn	31Ga	32Ge	33As	34Se	35Br	36Kr
37Rb	38Sr	39Y	40Zr	41Nb	42Mo	43Tc	44Ru	45Rh	46Pd	47Ag	48Cd	49In	50Sn	51Sb	52Te	53I	54Xe
55Cs	56Ba	57La	58Ce	59Pr	60Nd	61Pm	62Sm	63Eu	64Gd	65Tb	66Dy	67Ho	68Er	69Tm	70Yb	71Lu	72Hf
73Ta	74W	75Re	76Os	77Ir	78Pt	79Au	80Hg	81Tl	82Pb	83Bi	84Po	85At	86Rn	87Fr	88Ra	89Ac	90Th
91Pa	92U	93Np	94Pu	95Am	96Cm	97Bk	98Cf	99Es	100Fm	101Md	102No	103Lr	104Rf	105Db	106Sg	107Bh	108Hs
109Mt	110Ds	111Rg	112Uub	113Uut	114Uuq	115Uup	116Uuh	117Uus	118Uuo	119Uut	120Uuq	121Uup	122Uuh	123Uus	124Uuo	125Uut	126Uuq
127Uup	128Uuh	129Uus	130Uuo	131Uut	132Uuq	133Uup	134Uuh	135Uus	136Uuo	137Uut	138Uuq	139Uup	140Uuh	141Uus	142Uuo	143Uut	144Uuq
145Uup	146Uuh	147Uus	148Uuo	149Uut	150Uuq	151Uup	152Uuh	153Uus	154Uuo	155Uut	156Uuq	157Uup	158Uuh	159Uus	160Uuo	161Uut	162Uuq
163Uup	164Uuh	165Uus	166Uuo	167Uut	168Uuq	169Uup	170Uuh	171Uus	172Uuo	173Uut	174Uuq	175Uup	176Uuh	177Uus	178Uuo	179Uut	180Uuq
181Uup	182Uuh	183Uus	184Uuo	185Uut	186Uuq	187Uup	188Uuh	189Uus	190Uuo	191Uut	192Uuq	193Uup	194Uuh	195Uus	196Uuo	197Uut	198Uuq
199Uup	200Uuh	201Uus	202Uuo	203Uut	204Uuq	205Uup	206Uuh	207Uus	208Uuo	209Uut	210Uuq	211Uup	212Uuh	213Uus	214Uuo	215Uut	216Uuq
217Uup	218Uuh	219Uus	220Uuo	221Uut	222Uuq	223Uup	224Uuh	225Uus	226Uuo	227Uut	228Uuq	229Uup	230Uuh	231Uus	232Uuo	233Uut	234Uuq
235Uup	236Uuh	237Uus	238Uuo	239Uut	240Uuq	241Uup	242Uuh	243Uus	244Uuo	245Uut	246Uuq	247Uup	248Uuh	249Uus	250Uuo	251Uut	252Uuq
253Uup	254Uuh	255Uus	256Uuo	257Uut	258Uuq	259Uup	260Uuh	261Uus	262Uuo	263Uut	264Uuq	265Uup	266Uuh	267Uus	268Uuo	269Uut	270Uuq
271Uup	272Uuh	273Uus	274Uuo	275Uut	276Uuq	277Uup	278Uuh	279Uus	280Uuo	281Uut	282Uuq	283Uup	284Uuh	285Uus	286Uuo	287Uut	288Uuq
289Uup	290Uuh	291Uus	292Uuo	293Uut	294Uuq	295Uup	296Uuh	297Uus	298Uuo	299Uut	300Uuq	301Uup	302Uuh	303Uus	304Uuo	305Uut	306Uuq
307Uup	308Uuh	309Uus	310Uuo	311Uut	312Uuq	313Uup	314Uuh	315Uus	316Uuo	317Uut	318Uuq	319Uup	320Uuh	321Uus	322Uuo	323Uut	324Uuq
325Uup	326Uuh	327Uus	328Uuo	329Uut	330Uuq	331Uup	332Uuh	333Uus	334Uuo	335Uut	336Uuq	337Uup	338Uuh	339Uus	340Uuo	341Uut	342Uuq
345Uup	346Uuh	347Uus	348Uuo	349Uut	350Uuq	351Uup	352Uuh	353Uus	354Uuo	355Uut	356Uuq	357Uup	358Uuh	359Uus	360Uuo	361Uut	362Uuq
365Uup	366Uuh	367Uus	368Uuo	369Uut	370Uuq	371Uup	372Uuh	373Uus	374Uuo	375Uut	376Uuq	377Uup	378Uuh	379Uus	380Uuo	381Uut	382Uuq
385Uup	386Uuh	387Uus	388Uuo	389Uut	390Uuq	391Uup	392Uuh	393Uus	394Uuo	395Uut	396Uuq	397Uup	398Uuh	399Uus	400Uuo	401Uut	402Uuq
405Uup	406Uuh	407Uus	408Uuo	409Uut	410Uuq	411Uup	412Uuh	413Uus	414Uuo	415Uut	416Uuq	417Uup	418Uuh	419Uus	420Uuo	421Uut	422Uuq
425Uup	426Uuh	427Uus	428Uuo	429Uut	430Uuq	431Uup	432Uuh	433Uus	434Uuo	435Uut	436Uuq	437Uup	438Uuh	439Uus	440Uuo	441Uut	442Uuq
445Uup	446Uuh	447Uus	448Uuo	449Uut	450Uuq	451Uup	452Uuh	453Uus	454Uuo	455Uut	456Uuq	457Uup	458Uuh	459Uus	460Uuo	461Uut	462Uuq
465Uup	466Uuh	467Uus	468Uuo	469Uut	470Uuq	471Uup	472Uuh	473Uus	474Uuo	475Uut	476Uuq	477Uup	478Uuh	479Uus	480Uuo	481Uut	482Uuq
485Uup	486Uuh	487Uus	488Uuo	489Uut	490Uuq	491Uup	492Uuh	493Uus	494Uuo	495Uut	496Uuq	497Uup	498Uuh	499Uus	500Uuo	501Uut	502Uuq
505Uup	506Uuh	507Uus	508Uuo	509Uut	510Uuq	511Uup	512Uuh	513Uus	514Uuo	515Uut	516Uuq	517Uup	518Uuh	519Uus	520Uuo	521Uut	522Uuq
525Uup	526Uuh	527Uus	528Uuo	529Uut	530Uuq	531Uup	532Uuh	533Uus	534Uuo	535Uut	536Uuq	537Uup	538Uuh	539Uus	540Uuo	541Uut	542Uuq
545Uup	546Uuh	547Uus	548Uuo	549Uut	550Uuq	551Uup	552Uuh	553Uus	554Uuo	555Uut	556Uuq	557Uup	558Uuh	559Uus	560Uuo	561Uut	562Uuq
565Uup	566Uuh	567Uus	568Uuo	569Uut	570Uuq	571Uup	572Uuh	573Uus	574Uuo	575Uut	576Uuq	577Uup	578Uuh	579Uus	580Uuo	581Uut	582Uuq
585Uup	586Uuh	587Uus	588Uuo	589Uut	590Uuq	591Uup	592Uuh	593Uus	594Uuo	595Uut	596Uuq	597Uup	598Uuh	599Uus	600Uuo	601Uut	602Uuq
605Uup	606Uuh	607Uus	608Uuo	609Uut	610Uuq	611Uup	612Uuh	613Uus	614Uuo	615Uut	616Uuq	617Uup	618Uuh	619Uus	620Uuo	621Uut	622Uuq
625Uup	626Uuh	627Uus	628Uuo	629Uut	630Uuq	631Uup	632Uuh	633Uus	634Uuo	635Uut	636Uuq	637Uup	638Uuh	639Uus	640Uuo	641Uut	642Uuq
645Uup	646Uuh	647Uus	648Uuo	649Uut	650Uuq	651Uup	652Uuh	653Uus	654Uuo	655Uut	656Uuq	657Uup	658Uuh	659Uus	660Uuo	661Uut	662Uuq
665Uup	666Uuh	667Uus	668Uuo	669Uut	670Uuq	671Uup	672Uuh	673Uus	674Uuo	675Uut	676Uuq	677Uup	678Uuh	679Uus	680Uuo	681Uut	682Uuq
685Uup	686Uuh	687Uus	688Uuo	689Uut	690Uuq	691Uup	692Uuh	693Uus	694Uuo	695Uut	696Uuq	697Uup	698Uuh	699Uus	700Uuo	701Uut	702Uuq
705Uup	706Uuh	707Uus	708Uuo	709Uut	710Uuq	711Uup	712Uuh	713Uus	714Uuo	715Uut	716Uuq	717Uup	718Uuh	719Uus	720Uuo	721Uut	722Uuq
725Uup	726Uuh	727Uus	728Uuo	729Uut	730Uuq	731Uup	732Uuh	733Uus	734Uuo	735Uut	736Uuq	737Uup	738Uuh	739Uus	740Uuo	741Uut	742Uuq
745Uup	746Uuh	747Uus	748Uuo	749Uut	750Uuq	751Uup	752Uuh	753Uus	754Uuo	755Uut	756Uuq	757Uup	758Uuh	759Uus	760Uuo	761Uut	762Uuq
765Uup	766Uuh	767Uus	768Uuo	769Uut	770Uuq	771Uup	772Uuh	773Uus	774Uuo	775Uut	776Uuq	777Uup	778Uuh	779Uus	780Uuo	781Uut	782Uuq
785Uup	786Uuh	787Uus	788Uuo	789Uut	790Uuq	791Uup	792Uuh	793Uus	794Uuo	795Uut	796Uuq	797Uup	798Uuh	799Uus	800Uuo	801Uut	802Uuq
805Uup	806Uuh	807Uus	808Uuo	809Uut	810Uuq	811Uup	812Uuh	813Uus	814Uuo	815Uut	816Uuq	817Uup	818Uuh	819Uus	820Uuo	821Uut	822Uuq
825Uup	826Uuh	827Uus	828Uuo	829Uut	830Uuq	831Uup	832Uuh	833Uus	834Uuo	835Uut	836Uuq	837Uup	838Uuh	839Uus	840Uuo	841Uut	842Uuq
845Uup	846Uuh	847Uus	848Uuo	849Uut	850Uuq	851Uup	852Uuh	853Uus	854Uuo	855Uut	856Uuq	857Uup	858Uuh	859Uus	860Uuo	861Uut	862Uuq
865Uup	866Uuh	867Uus	868Uuo	869Uut	870Uuq	871Uup	872Uuh	873Uus	874Uuo	875Uut	876Uuq	877Uup	878Uuh	879Uus	880Uuo	881Uut	882Uuq
885Uup	886Uuh	887Uus	888Uuo	889Uut	890Uuq	891Uup	892Uuh	893Uus	894Uuo	895Uut	896Uuq	897Uup	898Uuh	899Uus	900Uuo	901Uut	902Uuq
905Uup	906Uuh	907Uus	908Uuo	909Uut	910Uuq	911Uup	912Uuh	913Uus	914Uuo	915Uut	916Uuq	917Uup	918Uuh	919Uus	920Uuo	921Uut	922Uuq
925Uup	926Uuh	927Uus	928Uuo	929Uut	930Uuq	931Uup	932Uuh	933Uus	934Uuo	935Uut	936Uuq	937Uup	938Uuh	939Uus	940Uuo	941Uut	942Uuq
945Uup	946Uuh	947Uus	948Uuo	949Uut	950Uuq	951Uup	952Uuh	953Uus	954Uuo	955Uut	956Uuq	957Uup	958Uuh	959Uus	960Uuo	961Uut	962Uuq
965Uup	966Uuh	967Uus	968Uuo	969Uut	970Uuq	971Uup	972Uuh	973Uus	974Uuo	975Uut	976Uuq	977Uup	978Uuh	979Uus	980Uuo	981Uut	982Uuq
985Uup	986Uuh	987Uus	988Uuo	989Uut	990Uuq	991Uup	992Uuh	993Uus	994Uuo	995Uut	996Uuq	997Uup	998Uuh	999Uus	1000Uuo	1001Uut	1002Uuq

typpi	0,0054
happi	0,011
hiiliidioksidi	0,250

Henryn vakion arvoja eri kaasuille 37 °C:ssa, μmol/(l · Pa)

