

Esko Mäkelä

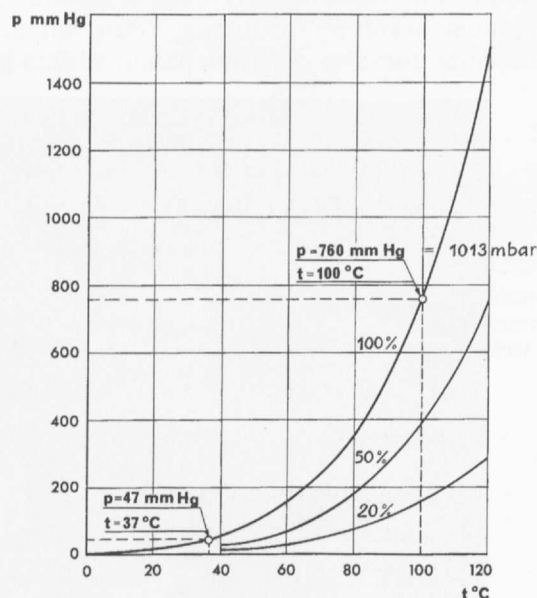
LÖYLY FYSIKAALISENA ILMIÖNÄ

Erityyppisissä saunoissa löyly saattaa maistua ja tuntua erilaiselta, mutta fyysikaalisessa mielessä löyly on aina kuumen kiukaan höyrystämää vesihöyryä, joka leviää saunailmaan lisäten sen kosteuspitoisuutta. Kylpijä kokee kosteuden lisääntymisen löylyaaltoina, jotka saunan ilmanvaihdon ansiosta vähitellen vaimenevat.

Seuraavassa tarkastellaan vesihöyryn ja ilmankosteuden käyttäytymistä yleensä ja saunassa erikoisesti.

Kyllästyskosteus ja höyrystyslämpö

Ilmassa voi olla vain tietty, lämpötilasta riippuva maksimimäärä vesihöyryä. Tätä määrää sanotaan kyllästyskosteudeksi. Oheisessa diagrammissa (kuva 1) kyllästyskosteus on ilmaistu vesihöyryn paineena. Kun vesihöyryn paine 100°C:ssa saavuttaa ilmanpaineen (normaali on 760 mm Hg = 1013 mbar), vesi kiehuu. Suhteelliseksi kosteudeksi sanotaan vesihöyryn osuutta tarkasteltavan lämpötilan kyllästyskosteudesta.



Kuva 1. Paineikäyrät kyllästetyille vesihöyrylle (100%) sekä 50% ja 20% suhteelliselle kosteudelle.

Höyrystyminen sitoo energiaa. Kun muutamme 1 litran 20°C-asteista vettä 100°C-asteiseksi höyryksi, on energian tarve:

Veden lämmitys 20°C → 100°C	80 kcal	0,09 kWh	330 kJ
Veden höyrystys	540 kcal	0,63 kWh	2 260 kJ
Yhteensä	640 kcal	0,72 kWh	2 590 kJ

Kiuaskivien lämpötilasta riippuen höyryn lähtölämpötila voi olla myös yli 100°C (tulistettu höyry), jolloin lämpöenergiaa sitoutuu jonkin verran lisää.

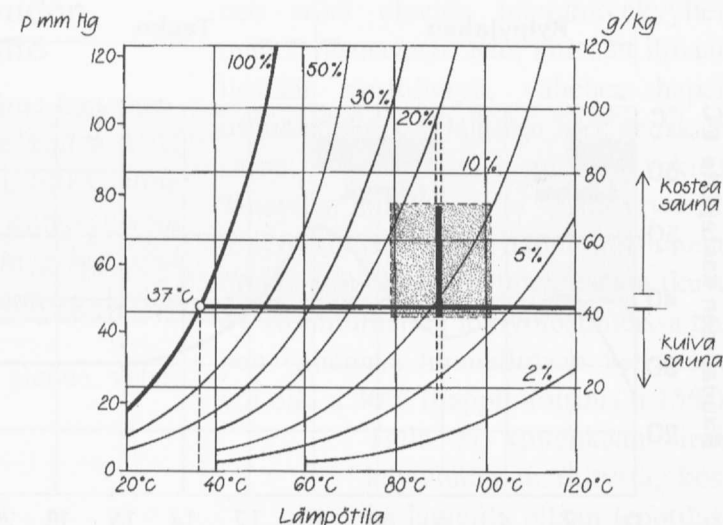
Vettä höyrystyy eli haihtuu myös kiehumapistettä alhaisemmissa lämpötiloissa, kun vesimolekyylejä karkaa ilmaan veden pinnasta tai märästä esineestä tai esimerkiksi hikoilevan ihmisen iholta. Myös tämä hiljainen haihtuminen sitoo höyrystyslämmön. Haihtuminen siis jäädyttää ympäristöä.

Esimerkiksi märkä pyyhe on kylmä verrattuna kuivaan pyyhkeeseen. Tähän ilmiöön perustuu myös hikoilun tarkoituksenmukaisuus. Hikoilu jäädyttää ihon pintaa ja poistaa kehosta lihastyön tai ympäristön aiheuttamaa liiallista lämpöä.

Tiivistyminen ja kastepiste

Kosteuden tiivistyminen on höyrystymiselle vastakkainen ilmiö. Kun kylmä esine tuodaan lämpimään ja riittävän kosteaan tilaan, vesihöyryä tiivistyy pisaroiksi esineen pintaan. Esimerkkinä olkoon olutpullon ottaminen jääkaapista lämpimänä ja kosteana kesäpäivänä. Samalla pinta lämpenee, kun höyryn sisältämä tiivistyslämpö vapautuu. Ilmassan kastepiste on se em. esineen pintalämpötila, josta tiivistyminen alkaa.

Tiivistyminen voi myös olla niin runsasta, että aiheutuu palovamma. Näin käy, jos käsi joutuu liian lähelle kieuvan vesipannun nokasta purkautuvaa vesihöyryä. Vahinkoa ei aiheuta niinkään kuuma höyry, vaan nimenomaan vapautuva höyrystyslämpö.



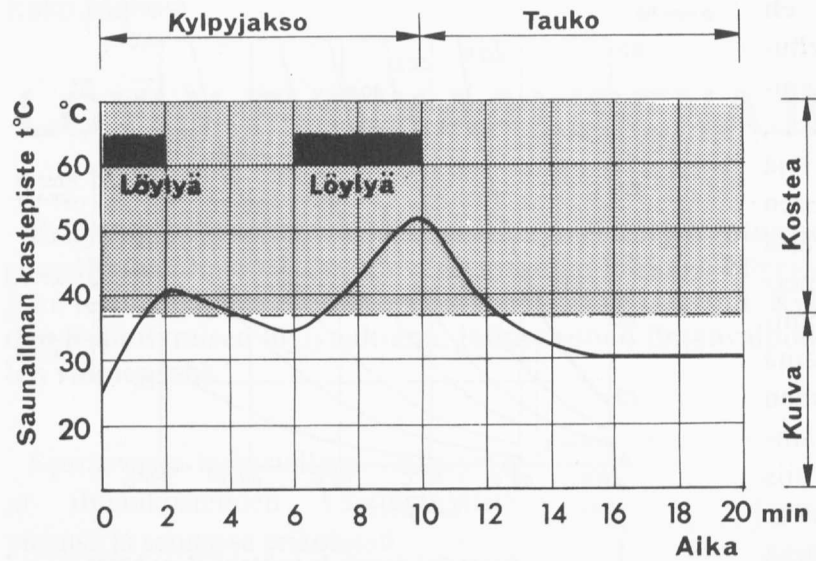
Kuva 2: Lämpö- ja kosteusolosuhteet kylpijän kannalta kuivissa ja kosteissa saunoolosuhteissa. Tummennettu neliö osoittaa Suomen Saunaseuran suositusalueen.

Saunoolosuhteet ja kylpijä

Miten sitten käy saunassa? Voimme kuvitella kylpijän sisuksiltaan 37°C-asteiseksi paketiksi, joka on joutunut itseään lämpimämpään tilaan. Haihtuuko kylpijän pinnasta hikeä, mikä hillitsisi kehoa uhkaavaa lämmön nousua vai tiivistyykö löyly kehoon lisäten lämpöä? Suomalainen sauna on siitä erikoinen ja mielenkiintoinen tila, että molemmat ilmiöt ovat mahdollisia ja esiintyvät käytännössä peräkkäin saman saunomisjakson aikana. Olosuhteen määrää löylyn heittäjä. Kylpijään saunassa kohdistuva energiakuorma on siten

$E = S + K \pm L$, jossa S=pintojen säteilystä, K=konvektiosta ja L=kosteudenvaihdosta muodostuva energia (johtumislämmön merkitys on vähäinen).

Diagrammi kuvassa 2 esittää kosteusolosuhteita saunalämpötiloissa. Absoluuttinen kosteus on vasemmalla



Kuva 3. Saunomisen aikana mitattu löylykäyrä. Lämpötila saunan yläosassa oli n. 100°C. Suhteellisen kosteuden arvo oli alimmillaan n. 3% ja korkeimmillaan n. 13%.

pystyakselilla vesihöyryn paineena, ja oikealla vesihöyryn määränä grammoissa kuivaa ilmakiloa kohti (g/kg).

Paksu vaakaviiva kuvaa kastepistekosteutta kehon 37°C:n lämpötilassa (vesihöyryn määrä ilmassa 41 g/kg). Viiva on samalla kostean ja kuivan saunan raja. Viivan alapuolella olevat olosuhteet ovat kylpijän hikoilevaa pintaa haihduttavia ja viilentäviä. Viivan yläpuolella löylyä tiivistyy ihoon ja hengityselimiin lisäten osaltaan lämpörasitusta. Saunassa tiivistymiskosteutta ei ole niinkään helppo havaita, kun iho kostuu myös hikoilusta. Sen voi kuitenkin tuntea ihollaan lisääntyneenä lämpönä.

Käytännössä raja myös vaihtelee hieman, sillä ihon lämpötila on saunaan tultaessa n 33°C (ihon normaali lämpötila) ja kohoaa saunottaessa n 40°C:een. Yhden saunajakson aikana ihmisen sisäisen lämpötilan on todettu kohoavan vain runsaan yhden asteen verran.

elimä. Jos löylynheittoa jatketaan, alkaa höyryn tiivistymislämpö kipristellä ihon pinnassa. Vielä tästäkin jatkettaessa löyly alkaa useimmista tuntua epämiellyttävän polttavalta.

Suomen Saunaseurassa 1960-luvulla tehtyjen tutkimusten perusteella päädyttiin suosittelemaan fysiologisesti hyvän saunan kosteusalueeksi 40...70 g/kg ja lämpötilaksi pään korkeudella 80°...100°C. Tämä suositusalue näkyy kuvassa tummennettuna neliönä. Jos saunailma on suositusta kuivempaa, se kuivattaa tehokkaasti hengitystiehyteitä, mikä tuntuu epämiellyttävältä.

Suomalaisen saunan tunnusmerkki on se, että kosteus ei ole vakio vaan vaihtelee löylynheiton tahdissa löylyaaltoina. Tätä kuvaa oheisen piirroksen (kuva3) esimerkki, jossa on mitattu kosteuden muutokset eli "löylykäyrä" tyypillisen saunomisjakson aikana.

Pystyviiva kuvaa saunomisolosuhteita 90°C:n saunälämpötilassa. Saunaan tultaessa saunailma on enemmän tai vähemmän kuivaa. Löylyä heitettäessä kosteus lisääntyy ensin ihon kastepisteen vyöhykkeeseen, jossa löyly on leppoisaa eikä rasita esimerkiksi hengitys-

Ilman tiheys, kosteuden määrä ja happisisältö

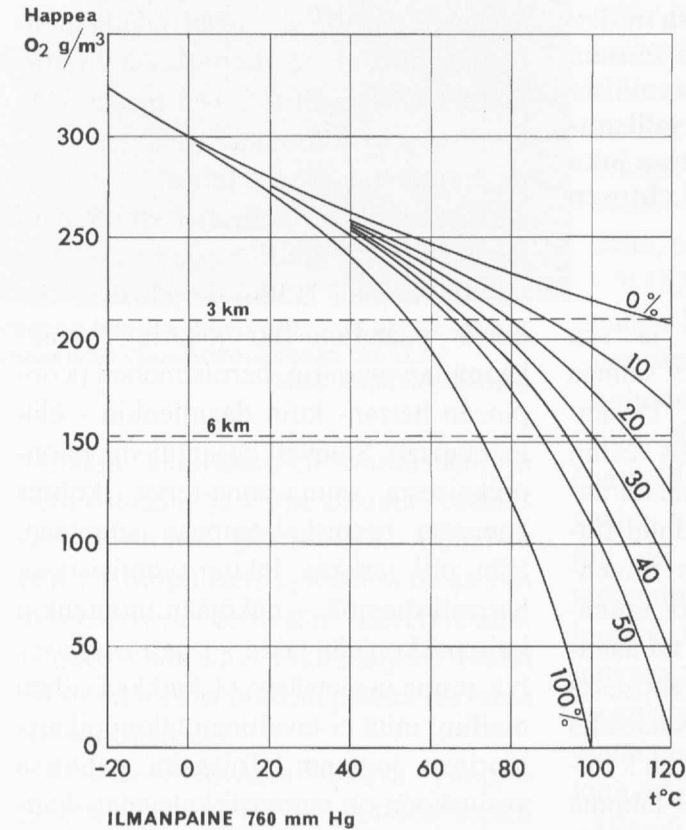
Lämpötilan kohotessa ilma harvenee, jolloin sen tiheys pienenee. Kuiva 20°C ilma painaa 1206 g/m³ ja 100°C ilma 947 g/m³, mutta 100°C vesihöyry vain 589 g/m³. Tiheysero selittää sen, että löyly nousee ensin kattoon ja leviää sieltä saunailmaan.

Kun ilmakehän tiheys alenee, vähe-

nee siinä olevien happimolekyylien määrä vastaavasti. Kun kuivaan ilmaan lisätään vesihöyryä, vähenee hapen osuus edelleen (Daltonin laki: seoskaasujen osapaineiden summa on vakio). Tiheyden muutoksen ja vesihöyrysisällön vaikutusta ilman happipitoisuuteen on kuvattu oheisessa piirroksessa (kuva 4). Kohtuullisissa löylyolosuhteissa hapen vähennys huoneilmaan verrattuna voi olla n 30% (happipitoisuus n 15%).

Tällä ei kuitenkaan liene käytännön merkitystä, koska lauteilla ollaan lepotilassa. Äärimmäisen kovissa löylyissä polttava tiivistymislämpö yhdessä happivähennyksen kanssa ylittää tavallisen ihmisen sietorajan. Löylyillä urheilua onkin pidettävä epäterveenä. Jouduttiinhan viime kesänä Heinolassa järjestetyn löylykilpailun joitakin osanottajia virvoittamaan puolittaisesta tajuuttomuudesta happea antamalla.

Tämänkin tarkastelun perusteella näyttää siis siltä, että hivenen kehon kastepisteen yläpuolella olevat, totut ja tuntemusten perusteella hyviksi havaitut saunaolosuhteet ovat juuri ne parhaat mahdolliset. Löyly lämmitetään mukavasti, mutta liika on liikaa.



Kuva 4. Ilman happisisällön riippuvaisuus lämpötilasta normaalipaineessa erilaisilla suhteellisen kosteuden arvoilla. Piikutetut linjat osoittavat happisisällön ilmakehässä 3 km:n ja 6 km:n korkeuksissa.

Aihetta on käsitelty saman kirjoittajan artikkelissa "Oppitunti saunafysiikassa" Sauna-lehti 2-3/1970.