

jos maidossa on rasvaa, se estää proteiiniverkoston syntymisen ja toimii kuplien seassa voiteluaineena. Niinpä esimerkiksi kevytmaidon, jossa on mukana rasvaa, ei saa vaahdoksi pelkästään vatkaamalla. Riittävän vahvan proteiiniverkoston tuottamiseksi maidon proteiineja täytyy lisäksi denaturoida lämmön avulla. Kevytmaidosta vaahdon saa aikaan esimerkiksi kuumentamalla maitoa kattilassa ja sekoittamalla sen pintaa vaikka sauvavatkaimen avulla. Tällainen vahto ei ole kuitenkaan pysyvää, koska kuuma neste ei pidätä kaasua kovin tehokkaasti. Espressokoneissa vahto tehdään yleensä tehokkaammin. Niissä koneen kuuma höyry kuumentaa maitoa vain paikallisesti ja sekoittaa siihen samalla ilmaa. Koska suurin osa maidosta pysyy kylmänä, syntyvä vahto on niin pysyvää kuin se ylipäänsä maidon proteiineilla voi olla.

Maidosta tehty vahto on parhaimmillaan hyvin heikko. Tämä johtuu sekä maidon proteiinien ominaisuuksista että erityisesti maidon suhteellisen pienestä proteiinipitoisuudesta (4 prosenttia). Kanamunan valkuaiset ovat 10-prosenttisia proteiinihuoksia ja paljon tehokkaampia vaahdonmuodostajia kuin maito. Niistä lisää marengin kohdalla.

**Leivän tarina alkaa** Toinen tapa käyttää proteiiniverkkoa kuplien pyydystämiseen on tehdä leipää, jonka sitkoverkosto syntyy vehnän gluteiini- ja gliadiini-proteiinien avulla. Ne ovat muiden proteiinien tapaan pitkiä aminohappoketjuja, joissa on runsaasti kierteitä. Nämä taitokset tekevät proteiiniKETJUISTA kimmoisia ja joustavia. Gliuteiini- ja gliadiimikeräsiä kasassa pitävät sidokset ovat

kuitenkin heikkoja ja alkavat katkeilla heti leipurin iskiesä rystysensä taikinaan.

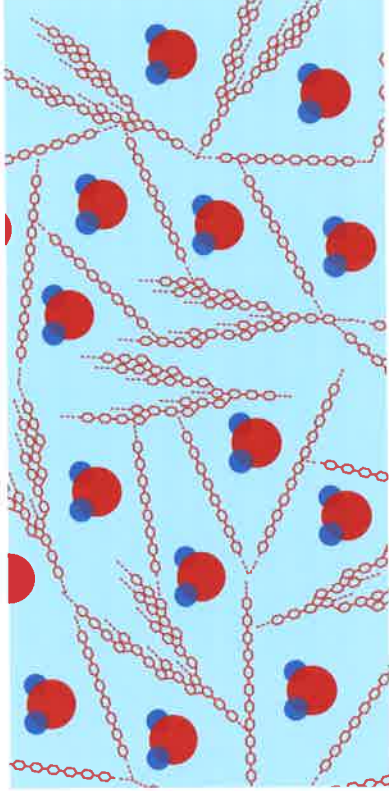
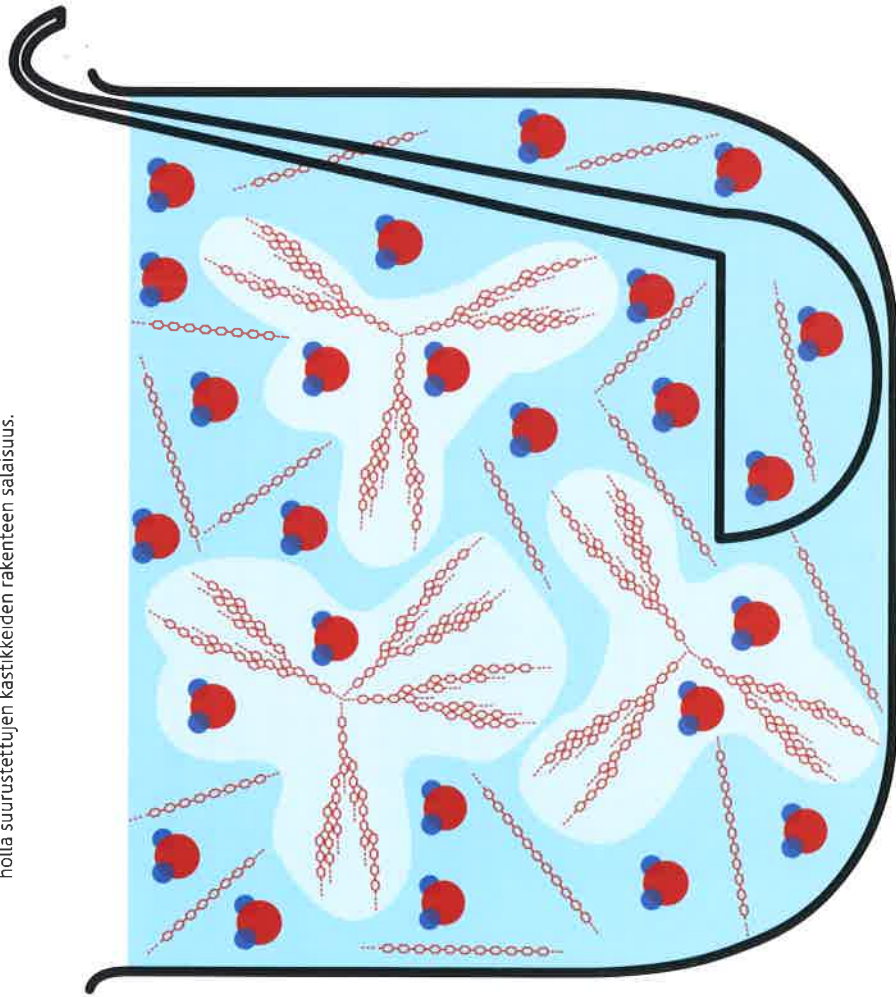
Lyhyen vaivauksen jälkeen siistit keräset alkavat avautua ja muuttua harottaviksi kierteisten molekyylien kimpuiksi. Taikinan molekyyli rakenne muistuttaa nyt edellis-päivänä kammattua afroa. Tässä vaiheessa leipoja tuntee jopakotusta hauiksessaan, mutta taikinaan on alkanut muodostua proteiiniverkkoa, joka pitää taikinaa hiukan kasassa. Se irtoaa jo hieman sormista. Kannattaa jatkaa.

Jatkuva vaivaus pakottaa eri suuntiin sojottavat molekyylimput järjestymään pikkuhiljaa samansuuntaisiksi. Silloin ulospäin sojottavat katkenneiden sidosten päät alkavat reagoida naapurimolekyylien kanssa proteiineille tyypilliseen tapaan. Kun ensimmäiset hikikarpalot tirskahtavat leipurin otsalle, molekyylien välisiä sidoksia muodostuu kovaa vauhtia. Vaivauksen jatkuessa sitkoverkko vahvistuu. Se pysyy kuitenkin joustavana ja venyvä, koska gliadiini- ja gluteiniinimolekyylit säilyttävät mutkansa, taitoksensa ja kierteensä.

Kun taikina vihdoin on jatkuvan sitkoverkon muodostama kokonaisuus, se irtoaa kädestä ja sitä on helppo muotoilla, mutta venytyksen jälkeen se pyrkii vielä alkuperäiseen muotoonsa. Tämän pidemmälle eivät leipojan voimat yleensä riitäkään: hauis on maitohapoilla ja paita liimautunut selkään. Onneksi taikina on nyt valmis – vaivaamisen jatkaminen alkaisi jo rikkoa sitkoverkkoa.

Tämä proteiinien rakenteen muokkautuminen nyrkinkujen vaikutuksesta aloittaa leivän tarinan.

Kun kuumennus jatkuu, tärkkelysyyvien sisältä pääsee karkuun suoraketjuinen amyloosi. Amyloosiketjujen ankkuroimat turvonneet tärkkelysyyväset ovat esimerkiksi kiisselin ja vehnäjuolla suurutettujen kastikkeiden rakenteen salaisuus.



Jos kuumennus jatkuu liian pitkään, tärkkelysyyväset räjähtävät kappaleiksi ja myös haaroittunut amylopektiini pääsee karkuun.

### Leipätaikina leipää

Palataanpa leipään. Taikinaan on tähän mennessä saatu rakennettua vahva sitkoverkosto vehnän proteiinien avulla. Jauhoista suurin osa, noin 70 prosenttia, on kuitenkin tärkkelysyyväsiä. Taikinan muhiessa lämpimässä ne alkavat jo imeä itseensä kosteutta ja paisua kellieessään lämpimässä liemessä. Osa amyloosista karkaa jyväsistä, jolloin hiivan entsyymit pääsevät niihin käsiksi pilkkoen niitä itselleen sopiviksi pikkusokereiksi. Suurin osa tärkkelysyyväisistä päätyy kuitenkin leivän paisutamisen aikana hyytelöitymään korkeassa lämpötilassa samaan tapaan kuin ne tekevät kiisselissäkin. Koska vettä on saatavilla vähemmän, jyväsien rakenne pysyy paremmin kasassa eikä se rypisty rusinaksi kuten kiisselissä. Hyytelöityneet tärkkelysyyväset ovat tärkeä osa leivän, pullan ja kakkujen mehevää, joustavaa rakennetta.

## Uppomuna – Oeufs pochés

- 1 kananmuna
- 1 l vettä
- ½ dl väkiviinaetikkaa
- 1 rkl merisuolaa

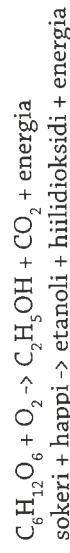
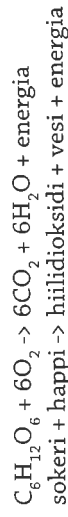
1. Lämmitä vesi kiehumispisteeseen ja lisää joukkoon suola ja etikka.
2. Riko muna esim. kauhalla, ja pyörytä muna veteen niin, että valkuainen peittää keltuaisen. Anna hautua 2–3 minuuttia.
3. Nosta muna reikäkauhalla pyyheliinalle valumaan.

Ohje Jari Hämäläinen,  
Suomen kokkimaajoukkueen joukkueenjohtaja

## Leivän nostatus

Nostatettu leipä on sekin vaahtoa. Vaahtoa ei vatkata leipään, vaan sen annetaan muodostua leivän sisään.

Leipätaikinaamme on jo rakennettu kuplia sieppaava verkko (katso sivua 26). Samaan aikaan sitkon muodostumisen kanssa leipätaikina on käynnistynyt tärkeä tapahtumasarja vehnän tärkkelysosassa. Hiiva on vapauttanut tärkkelyksestä itselleen ruoaksi hiukan sokeria. Kun vesi ja jauho sekoitetaan toisiinsa, tärkkelys imee itseensä hieman vettä, jolloin sitä pilkkovat entsyymit pääsevät toimimaan (katso Entsyymit, sivu 174-176). Hiiva polttaa nyt entsyymien vapauttamaa sokeria hiilidioksidiksi, vedeksi ja energiaksi tai – jos onnea on saatavilla niukasti – hiilidioksidiksi, etanoliksi ja energiaksi:



Osa hiilidioksidista liukenee taikinaan, mutta suurin osa muodostuu kupliksi taikinan sisälle. Nostatuksen aikana hiivasolut lisääntyvät nopeasti ja tuottavat yhä enemmän hiilidioksidia ja etanolia. Vahva sitkoverkko pystyy pidättämään kaasun sisällään, mutta antaa periksi ja venyy sitä mukaa kun kaasua muodostuu. Nostatuksen lopulla taikinaan on muodostunut tuhansia pieniä sitkoproteiinin ympäröimiä kaasukuplia.

Kuten nousseen taikinan tuoksuistakin voi päätellä, muodostunut kaasu ei ole yksinomaan hiilidioksidia, joka on täysin hajutonta, vaan samalla muodostuu myös etanolia ja pieniä määriä muita alkoholeja. Paiston aikana etanoli haihtuu pois tai muodostaa uusia aromiaineita, jotka antavat leivälle osan sen mausta. Hiivakäymisen aikana muodostuu myös vettä, minkä seurauksena taikina on nostatuksen jälkeen hiukan löysempää kuin juuri vaivauksen päätyttyä.

Taikinan ensimmäisen nostatuksen jälkeen sitä vaivataan ja muotoillaan paistoa varten. Kun nostatus tehdään kahdessa vaiheessa, saadaan suuret ilmakuplat vaivattua pois taikinasta ja lopputuloksena on leipä, jossa on paljon pieniä tasakokoisia huokosia. Toisen nostatuksen jälkeen leipä on valmis uuniin.

## Muutakin kuin molekyylejä

Olen tähän mennessä pilkkonut ruoan molekyyliyhymiksi ja lajitellut jokaisen omaan lokeroonsa, mutta näin muodostunut kuva ruoasta on liian yksioikoinen. Laboratoriossa voi vielä rakennella yksinkertaisia malleja emulsioista, vaahdoista, proteiiniverkkoista ja hyyteleistä. Ruoka ei kuitenkaan ole vain molekyyliensä summa, vaan useimmiten kymmenien erilaisten reaktioiden ja fyysikaalisten muutosten tuottama kokonaisuus. Ruokalautasella yksi kastike voi olla liuos, hyytele, suspensio ja emulsio, jonka väri-, aromi- ja makuaineet on tuotettu esimerkiksi uuttaen, konsentroiden ja lukuisten erilaisten reaktioiden avulla. Arkisten ruoka-aineiden luonnontieteellistä olemusta pohitessa voi helposti vierähtää kokonainen iltapäivä.

### Lihaliemen syvin olemus Olin lukenut Hervé

Thisin yleisölle avoimista molekyyliastronomian seminaareista, joita hän on järjestänyt Pariisissa jo usean vuoden ajan aina kuukauden kolmantena torstaina. Jokaisessa seminaarissa pidetään tieteellinen demonstraatio edellisellä kerralla sovitusta aiheesta. Ajoitin vierailun hänen laboratorionsa niin, että saatoin samalla osallistua



**Leipä syntyy unissa**

Leivän pinta alkaa ruskistua unissa vasta paiston loppuvaiheessa, sillä paiston alkuvaiheessa lämpötila leivän kuoressa ei ole vielä Maillard-reaktiolle riittävän korkea. Kuoren lämpötila nousee yli sadan asteen vasta, kun kaikki vesi on haihtunut pois leivän pintakerroksesta. Uunin lämpötila on 200–225 astetta, mutta leivästä ainoastaan pinta saavuttaa tämän lämpötilan. Leivän sisällä lämpötila nousee hitaasti, jolloin tapah-tumat seuraavat toisiaan vaihteittain.

Hiivasolut kuolevat vasta noin 60 asteen lämpötilassa, joten ne ehtivät paiston alkuvaiheessa tuottaa leipään lisää hiilidioksidia. Koska kaasut liukenevat huonommin kuumaan kuin kylmään nesteeseen, taikinaan liuennut hiilidioksiidi kaasuntuu taikinan kaasukuplien joukkoon, jolloin leivän nouseminen jatkuu paiston alkuvaiheessa. Sama ilmiö, eli hiilidioksidin kaasuntuuminen, tapahtuu limsapullossa, joka siirretään jääkaapista auringonpaisteeseen. Myös alkoholi haihtuu paiston aikana leivästä.

Lämpötilan kohotessa yli 60 asteen leivän rakenne alkaa kovettua. Ensimmäisessä vaiheessa tärkeitys muodostaa veden kanssa hyttelömäisen geelin, joka on osa leivän lopullista rakennetta. Hiukan korkeammassa lämpötilassa, noin 71–75 asteessa, alkavat proteiinit denaturoitua, ja esimerkiksi sitkoproteiinit kaasukuplien ympärillä

jäykistyvät. Kuumennuksen aikana proteiinit luovuttavat pois sitomaansa vettä, jonka tärkeitys imee itseensä geeliin edelleen. Kypсэн leivän rakenne muodostuukin jäykistyneestä sitkoproteiinista ja osittain geeliytyneistä tärkeilyksestä, jotka ovat muodostaneet verkon kaasukuplien ympärille.

Koska entsyymitkin ovat proteiineja, ne ovat ehtineet toimia vielä hetken sen jälkeen kun hiivasolut ovat tuhoutuneet. Esimerkiksi alfa-amylaasi, jonka tehtävänä on pilkkoa tärkeilystä sokereiksi (katso Entsyymit, sivut 174–176), on tuottanut leipään hiukan ylimääräistä sokeria. Tämä sokeri sekä antaa leivälle makua että tuottaa siihen paiston aikana ruskean värin proteiinien kanssa reagoidessaan.

Kun leivän pintaosa saavuttaa noin 100 asteen lämpötilan, pinnasta haihtuu vettä, jolloin muodostuu rapaa kuori. Leivän sisus saavuttaa korkeimmillaan tätä pari astetta alemman lämpötilan. Kun vesi on haihtunut pois leivän kuoriosasta, sen lämpötila nousee edelleen ja saavuttaa uunin lämpötilan eli noin 200 astetta. Silloin kuoressa olevat proteiinit ja sokeri reagoivat keskenään. Näiden reaktiotuotteet antavat leivälle sen ruskean värin. Silloin leipä on valmis.

Maillard-reaktio (katso Ruskistuminen, sivu 28) selittää myös sen, miksi ranskanleipä paistuu vaaleammaksi kuin pullapitko, vaikka kumpikin on valmistettu vehnäjauhoista ja niiden paistolämpötila ja -aika on sama. Leipätaikinaan on ehtinyt nostatukseen aikana muodostua vain pieni määrä Maillard-reaktion vaatimaa vapata sokeria, jota hiivasolut ovat pilkkoneet tärkeilyksestä. Sen sijaan pullataikinaan lisätty sokeri reagoi voimakkaasti taikinan

proteiinien kanssa ja tuottaa tumman, joskus punasävyyisen värin pullan pinnalle. Samasta syyistä sokeria ktsaasti käytetään leipurin pulla on väriltään vaaleampaa kuin leipurin, jonka sokerimitta on kukkurainen. Fruktoosi eli hedelmänsokeri reagoi noin kaksi kertaa voimakkaammin Maillard-reaktiossa kuin sakkaroosi eli tavallinen pöytänsokeri. Siksi hedelmänsokerilla makeutetut leivonnaiset paistuvat yleensä tummemmiksi kuin tavallisella sokerilla makeutetut.

Ruskeaa väriä syntyy myös pelkästään sokeria kuumentamalla. Värin aiheuttavat kuumentuksessa muodostuneet sokerien polymeroitumistuotteet, jotka syntyvät karamellisoitumisreaktiossa ilman proteiinejakin. Näin saatuaa väriä käytetään elintarvikkevärinä esimerkiksi karamellien ja virvoitusjuomien värjäykseen.

**Mycös silmänruokaa** Kemiallisissa reaktioissa syntyy hienoja värisävyyjä, mutta parhaat värit tulevat ruokaan suoraan luonnosta. Kasvien keväään ja kesän kasvukauden aikana tuottamat vihreät, punaiset, keltaiset ja siniset värit yhdistelmineen siirtyvät luonnosta lautaselle kesän edetessä.

Ruuan värit eivät ole syöjälle yhdentekeviä, sillä mais-teleemme ruokaa silmillämme yhtä paljon kuin maku- ja hajuaistillamme. Toisinaan näköaisti on jopa makua voimakkaampi. Kun opiskeluaikana Helsingin yliopiston aistinvaraisen tutkimuksen kurssilla yritimme tunnistaa tuntemattomaksi värjätystä mehusta niiden alkuperäistä makua, esimerkiksi siniseksi värjättyä mehua ei tunnistanut mansikkamehuksi juuri kukaan.

Kesä alkaa leskenlehdillä ja sinivuokkoilla. Leskenlehden keltaisuus johtuu karotenoidista ja sinivuokon sinisyys antosyaaneista. Hiukan myöhemmin kesällä nämä kaksi väriaineryhmää löytää esimerkiksi porkkanasta, jonka oranssi on karotenoidihin kuuluvaa beetakaroteenia, ja mansikasta, jonka punainen on antosyaaneihin kuuluvaa pelargonidiiniä.

**Kuinika lohi saa värinsä** Suurin osa luonnon keltaisista ja oransseista väreistä johtuu juuri karotenoidista, kasvien tuottamista rasvaliukoisista väriaineista, joita tunnetaan noin 600 erilaista.

Tunnetuin karotenoidi on porkkanan (lat. *carota*) oranssi beetakaroteeni, josta koko väriaineryhmä on saanut nimensä. Muita karotenoidien sävyjä ovat esimerkiksi tomaatin punainen lykopeeni ja appelsiinimehun keltainen violaksantiini. Useimmiten värit muodostuvat monen karotenoidin yhteisvaikutuksen tuloksena.

Karotenoidit absorboivat eli imevät itseensä näkyvän valon sinivihreät ja siniset aallonpituudet, jolloin silmä näkee jäljelle jäävän valon punaisena, oranssina tai keltaisena.

Karotenoidimolekyylin väri perustuu peräkkäisten atomien välisiin kaksoissidoksiin. Sidoksia on oltava peräkkään vähintään seitsemän, jotta ihmisilmnä näkisi yhdisteen värillisenä. Tällainen karotenoidi on vaaleankeltainen. Mitä pidempi on peräkkäisten kaksoissidosten ketju, sitä oranssimpi ja lopulta punaisempi on molekyyli.

Myös molekyylin muu rakenne vaikuttaa väriin. Vaikka sekä tomaatin lykopenissa että porkkanan beetakaroteenissa on yksitoista peräkkäistä kaksoissidosta, ne ovat eri