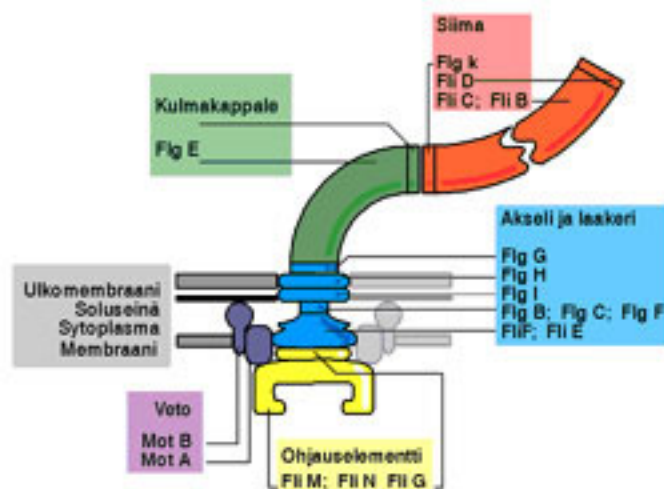


## IV



Kuva 7.37 Kaavakuva bakteerimootorin pääkomponenteista. Siiman, kulmakappaleen, akselin ja laakerin, vetokompleksin sekä ohjauselementin osien nimet on esitetty vastaavien geenien lyhennetyillä nimillä. Gram-negatiivisilla bakteereilla moottori sijaitsee ulkomembraanin, soluseinän ja sytoplasmamembraanin välissä. (Falke et al. 1995, muokattu)

misestä proteiinista. Tämä proteiini taas koostuu yli 400 aminohaposta. Aminohap- ja vastaava geenisekvenssi tunnetaan. Siima liittyy kulmakappaleen avulla rotaatioakseliin, jonka laakeri pitää paikallaan solukalvossa ja bakteerin seinässä. Geenit, jotka koodaavat akselin ja laakerin proteiineja tunnetaan myös. Rotaatioakseli ja sen kautta siima alkaa pyöriä vetoproteiinin avulla. Ei ole vielä varmaa miten se tarkalleen tapahtuu, vaikka vastaavan proteiinin geenisekvenssi tunnetaan.

**Bakteerimootorinmitat**

Solun pituus	n. 2 nm
500 solua = 1 mm	
Siiman pituus	n. 10 nm
Siiman läpimitta	n. 15 nm
Moottoriakselin pituus	n. 30 nm
35 000 moottoria = 1 mm	
Varustus	jopa 15 moottoria /solu tavallisesti 8 moottoria

**Bakteerimootorin teknisiä tietoja**

Jännite	25 - 200 mV lineaarinen välillä 25 - 125 mV
Energiankulutus	n. 1200 protonia/kierto, 0,1% solun energiankäytöstä
Korkein kierros	100 rpm
Vääntömomentti	n. $3 \times 10^{-14}$ newtonia
Teho	n. $10^{-14}$ W kun 20 rpm
Huippunopeus	n. 25 nm/sekunti
Ystävällisyys	Ystävällisyys nopeutta 180 km/h
Tuotantokustannukset	2% solun biosynteesikapasiteetista

Varmaa on vain se, että moottoria pyörittää energia, jonka synnyttää solukalvon yli vaikuttava protonigradietti. Tämä protonigradietti synnyttää ulkopuolelle sytoplasmaan nähden positiivisen varauksen. Jännite-ero (= membraanipotentiaali) on noin 0,2 V. Kuvaannollisesti sanottuna bakteeri on 0,2 V paristo, joka pyörittää super-nano-sähkömoottoria. Moottorin tärkeät mitat ja tekniset tiedot on annettu taulukossa 7.2.

## 7.4.5 Bakteerin rotaatiomoottorin minimivaatimukset

Biologit ovat yksimielisiä siitä, että evoluution aikaisemmassa vaiheessa bakteereilla ei ollut moottoria. Miten oletetun evoluutioprosessin kuluessa syntyi moottori? Ei ole epäilystä myöskään siitä, että moderni bakteerin rotaatiomoottori ei ole voinut syntyä yhdellä makroevoluutiohyppäyksellä. Sama pätee myös paljon yksinkertaisempaan rakenteeseen, kuten esimerkiksi yhteen proteiiniin.

Miltä ensimmäinen, hyvin primitiivinen bakteerimootori on voinut näyttää ja mistä sitä edeltäneistä osista se on voinut syntyä? Ongelman käsittelemiseksi yksinkertaisimmalla tilannella radikaalisti ja teemme tätä varten osittain hyvin epärealistisiä oletuksia makroevoluutiohypoteesin hyväksi:

1. Ensimmäinen moottori tarvitsee jokaisen viidestä mainitusta peruselementistä: siima, kulmakappale, rotaatioakseli, laakeri ja moottori (kuva 7.38). Jos yksikin näistä perusosista puuttuu, ei syntyvä rakenne enää kykene toimimaan moottorina, kuten voi helposti havaita, vaan kuluttaa ainoastaan tarpeettomasti aineenvaihduntaenergiaa. Sellainen bakteeri ei selviä valintaprosessissa, vaan kuolee sukupuuttoon. Se ei siis olisi enää käytettävissä tulevaan evoluutioprosessiin. Molekulaarista perustaa ei ole olemassa oletukselle, että nämä viisi osaa kykenisivät edes epätodellisesti hoitamaan tehtävän, johon nykyisin tarvitaan yli 40 proteiinia.
2. Toimiva moottori on haitallinen, jos sitä ei kyetä ohjamaan. Alusta lähtien on sik-

si täytynyt olla olemassa ohjaussysteemi, joka on vähintään koostunut yhdestä sensoriproteiinista ja yhdestä signaalivälitysproteiinista, vaikka ei olekaan olemassa mitään molekyylibiologista perustetta olettaa, että nämä kaksi proteiinia voisivat hoitaa tehtävän, johon nykyisin tarvitaan noin 8 proteiinia.

3. Tarvittavien proteiinien on täytynyt syntyä toisista hyvin samankaltaisista proteiineista, joilla oli aikaisemmin jokin toinen funktio. Emme tiedä mitä geenejä tähän on ollut käytettävissä.

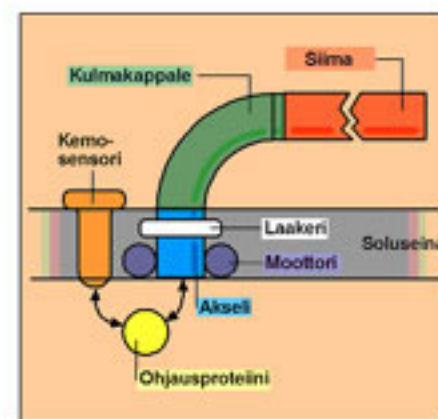
4. Oletamme lisäksi, että nämä edeltäjäproteinit, huolimatta siitä, että niillä olikin toinen funktio aikaisemmin, tarvitsivat vain 3 mutaatiota muuttuakseen moottorin proteiineiksi (esimerkiksi rotaatioakseli). Tämä oli tapahtunut tuntemattoman esiadaptaation kautta. Tällainen on jälleen hyvin epätodennäköistä, koska proteiini, jossa on tapahtunut vain kolme muutosta pysyy lähes aina samana. Vilkaistu moderneihin tietopankkeihin osoittaa, että proteiinit, jotka poikkeavat toisistaan jopa 50%, toimivat lähes identtisesti.

5. Uusin rakenteisiin tarvittava muutos tapahtuu esiadaptaatioiden geenien kopiaissa. Kuten Osche on osuvasti todennut, ei elävä olento voi oletetun evoluutioprosessin vuoksi "väliäikaisesti lopettaa toimintansa".

Nyt olemme määritelleet perustilan. Lähtökohdatilanne on bakteeri ilman moottoria. Siinä on kuitenkin 7 tuntematonta geeniä, jotka tuntemattomasta syystä ovat esisopeutuneet ja jotka voidaan muuttaa kolmella tuntemattomalla muutoksella kyseiseksi moottori-proteiiniksi. Pienimmillä mahdollisilla muutoksilla saavutettava seuraava perustila koskee 7 muutettua proteiinia, joista yhdessä muodostuu ensimmäinen, vielä hyvin primitiivinen mutta kuitenkin toimintakykyinen moottori.

## 7.4.6 Primitiivisen bakteerimootorin synnyn todennäköisyys

Mutaatiotapahtuma on bakteerien tapauksessa hyvin helppo mitata. Bakteerien pis-



Kuva 7.38 Hypoteettinen primitiivisen bakteerin rotaatiomoottorin välttämättömät komponentit. Jokainen komponentti on välttämätön, jotta ensimmäinen valintaketjuinen rakenne voi syntyä. Tarkemmin tarkasteltuna.

Osa	edeltäjägeenin duplikaatio	rakennegeenin mutaatioiden määrä
Siima	1	3
Kulmakappale	1	3
Akseli	1	3
Laakeri	1	3
Moottori	1	3
Ohjaus	1	3
Sensori	1	3
<b>Duplikaatioiden määrä</b>	<b>7</b>	
<b>Mutaatioiden määrä</b>		<b>21</b>

temutaatiotihveys on nukleotidia kohti noin  $10^{-6}$ . Kun seuraavassa puhumme mutaatioista, emme rajoitu pistemutaatioihin. Kaikki muutkin mahdolliset mutaatiolajit otetaan huomioon (IV.7.1). Teemme jälleen yksinkertaistuksen ja oletamme, että kaikki mutaatiot tapahtuvat yhtä suurella todennäköisyydellä kuin pistemutaatiot. Oletamme kuitenkin evoluutiohypoteesin hyväksi, että mutaatiotihveys oli kymmenen kertaa suurempi maapallon varhaisaikoina kuin nykyisin eli  $10^{-5}$ . Jos geeni koostuu 1000 emäsparista, niin minkä tahansa mutaation todennäköisyys tässä geenissä on

$$P_{(1)} = 1000 \times 10^{-5} = 10^{-2}$$

Tämä tarkoittaa sitä, että todennäköisyydellä 0,63 (IV.7.4.2) 100 000 bakteerisolun joukosta löytyy ainakin yksi mutanti, jos- ja juuri tässä geenissä on jossakin kohdassa yksi mutaatio.

Taulukko 7.3 Ensimmäisen yksinkertaisen bakteerimootorin syntyyn tarvittavat hypoteettiset mutaatiotapahtumat (vrt kuva 7.38).