

# JOSEPH VON FRAUNHOFERI ELU JA TÖÖ

## Lapsepõlv

Joseph Fraunhofer sündis 6. märtsil 1787.a. kella 8 ja 9 vahel õhtul Kaalude märgi all Straubingi linnas Baieris. Ta oli noorim 11-lapselises peres, kellest ainult neli said täisealisteks.

Tema isa oli klaasimeister Franz Xavier Fraunhofer, pärit Miesbachist Ülem-Baieris, kus tema esivanemad juba 1612.a. olid elanud. Kuidas nad omal ajal Straubingi olid tulnud, see pole selge. Teada on, et 1681.a. elas ja töötas Straubingis apteeker Bartholomäus Fraunhofer. Tema perekonnavapp oli sama, mis hiljem kõrtsmik Caspar Fraunhoferil Miesbachis - ju nad siis samast tüvest pärit olid. Kõrtsmiku poeg Johann Michael ja tema onu läksid Straubingisse ja hakkasid seal klaasimeistriteks. Johann Michaelil sündis 1743.a. poeg, kellele anti nimeks Franz Xavier ja kellest sai isa ameti järgi samuti klaasimeister.

Ema Maria Anna Fröhlich oli isal teine naine ja pärines riigiteenistujast klaasimeistri perekonnast.

Lapsepõlves oli Joseph Fraunhofer (edaspidi Fraunhofer) kehva tervisega, mistõttu pole imelik, et ta üldse koolis ei käinud, seda enam, et üldist koolikohustust polnud veel kehtestatudki. Kuid klaasimeistri ametit pidi ta ometi lapsest saadik õppima. Ega see amet mingi kullaauk polnud, kuid äraelamise siiski kuidagi kindlustas.

Fraunhofer kaotas oma ema 11-aastaselt, kui ema kukkus keldritrepist alla. Ema kohta pidi täitma hakkama tema kõige vanem tütar Maria Anna Viktoria, kes siis juba 20-aastane oli.

Järgmisel aastal suri ka Fraunhoferi isa oma 56. eluaastal ja poisile määrati eestkostjad: kaupmees ja linnavalitsuse nõunik Josef Gründberg ja viiulimeister Thumbardt, kes peatselt suri ja uueks määratud eestkostjaks sai treial Josef Beck. Straubingi ajaleht 1811. aastast kirjeldab eestkostjaid kui valjusid ja tooreid mehi, kuigi Joseph ise mõni kuu hiljem teatas, et ta nendele meestele oma kasvatuse eest tänu võlgneb. Treiali ameti

õppimise pidi Fraunhofer siiski pooleli jätma oma nõrga tervise pärast. Siis leidsid eestkostjad talle koha, kuhu poiss õppima suunata - õukonna peeglimeistri ja klaasilihvija Philipp Anton Weichselbergeri juurde. Kuna õpperaha maksta polnud, siis lepiti kokku, et õppeaeg oli kuus aastat (ilma palgata), millest siiski kolmveerand aastat maha arvati, kuna poiss oli seda ametit juba isa juures õppinud. 20. augustil 1799 alustas Fraunhofer sõitu Straubingist Müncheni poole, taskus eestkostjate antud kaks teemanti, üks kulden reisirahaks ja kiri meister Weichselbergerile, kus eestkostjad olid soovinud, et uus peremees poisile nõuandjaks, isaks ja sõbraks oleks. Kahjuks koges Fraunhofer varsti, et Weichselberger seda soovi ei kavatsenudki täita: kõikides allikates räägitakse meistrit kui valjust ja ihnsast laste töö kasutajast.

### **Baierimaa XVIII sajandi lõpul ja XIX sajandi alguses**

Prantsuse 1789.a. revolutsioon oli Euroopa valitsejates hirmu esile kutsunud, kuid paljudes riikides poldud ikka veel aru saadud, et lihtrahvas kuningate võimu iseenesestmõistetavaks enam sugugi ei pea. Kuigi isegi Pariisis läks võim pärast revolutsiooni ja terrorit ikkagi end imperaatoriks kuulutanud Napoleon Bonaparte kätte, kes tahtis revolutsiooni ideid ka mujale Euroopasse viia. See tähendas sõda, sest ega Euroopa monarhid ei kavatsenud oma võimu vabatahtlikult käest anda.

Ka Baierimaal toimusid suured muutused – 1799.a. alguses suri kuurvürst Karl Theodor ja uueks valitsejaks sai Maximilian IV Joseph. Temaga koos tuli Münchenisse Maximilian von Montgelas, kes pidi saama tulevaste muutuste eestvedajaks. Ta oli küll juba Karl Theodori ajal Baieri riigiteenistuses olnud, kuid kuna tuli välja, et ta illuminaatide hulka kuulus, siis tuli tal oma ametiga hüvasti jätta ja maalt lahkuda. Illuminaate peeti siis riigivastasteks ja kiusati taga kuidas jõuti.

Uus kuurvürst leidis Münchenis ees katastroofilise olukorra, sest Reini vasaku kalda alad olid kaotatud ja paremat kallast ähvardas Prantsusmaa. Rahaline olukord oli äärmiselt kehv.

Baieris oli 109 000 austria sõdurit ja kõik kartsid, et Austria keiser maa varsti annekteerib. Seda siiski ei juhtunud, sest Austria sai 3. detsembril 1800 Hohenlindeni lahingus Napoleoni käest hävitavalt lüüa. Tegelikult oli Austria Baierimaa juba mõni kuu varem Prantsusmaale loovutanud, mis muidugi rahva hulgas suure vihavaenu Austria vastu tekitas. Ning imelikul kombel suure poolehoiu prantslaste vastu.

Kui Montgelas pärast Luneville'i rahu 1801.a. veebruaris Napoleoniga kontakti otsis, siis toetas Baierimaa rahvas teda. Nende kontaktide tulemusena suurendas Maximilian IV Joseph Baierimaad tunduvalt ja sai 1806.a. Baieri kuningaks.

## Õpiaastad

Fraunhoferil oli juba lapsena soov õppida, kuid selle soovi täitmine ei osutunud lihtsaks, sest meister keelas igasuguse õppimise kus aga sai. Isegi pühapäeval ei lasknud meister poissi Feiertagschule'sse ja ei lubanud Fraunhoferil lugemiseks küünalt süüdata. Ta pidi päikesetõusust loojanguni töötama küll jooksupoisi, küll käskjalana. Ametiõppimine oli hoopis kõrvaline asi. Kuid siis täiesti ootamatult muutus Fraunhoferi elu täielikult.

1801.a. kukkusid Weichselbergeri kaks maja Tiereckgäschen'il kokku. Ühes neist elas meister koos naise ja õpipoisiga. Paar päeva varem oli hakatud maju remontima, aga ei pandud tähele, et praod seintes aina laiemaks muutusid. Enne kokkukukkumist olid majad ragisema hakanud ja nii pääses meister ise koos teiste elanikega majast välja, kuid meistri naine ja Fraunhofer jäid sisse. Naine sai surma, kuid Fraunhofer kaevas ennast teiste abiga rusude alt välja, sest allalangenud lagi oli jäänud millegi taha kinni ning ei kukkunud Fraunhoferile päris peale. Päästeaktsiooni juhatas Müncheneri politseidirektor von Baumgartner isiklikult ja päästetöid oli vaatama tulnud kuurvürst Maximilian IV Joseph, kes oli sellest päästeaktsioonist nii vaimustatud, et kinkis päästemeeskonnale 300 kuldnat. Weichselbergerile organiseeriti korjandus, mis 202 kuldnat 46 kreutzerit sisse tõi. Lisaks sellele kutsus kuurvürst Fraunhoferi suveresidentsi Nymphenburgis, ning kinkis talle 18 tukatit ning lubas poissi veelgi aidata.

Õnnetuse ajal tutvus Fraunhofer eduka ettevõtja Joseph von Utzschneideriga, kes päästmist jälgis ja Fraunhoferi elus nii suurt rolli mängima hakkas, et temast tuleks lausa eraldi kirjutada. Utzschneider sündis 1763.a. vaeses perekonnas kohakeses nimega Rieden am Staffelsee. Tänu oma onule sai ta hariduse Müncheneri kadetikoolis, mille nime oli hertsoginna Maria Anna von der Pfalz Neuburg muutnud 1777.a. Marianische Landes-Akademie'ks. Kuna Utzschneider oli aidanud Illuminaatide ordu agaralt paljastada, siis sai ta 1784.a. õuenõuniku koha, kus ta tegeles Ülem-Baieri soode kuivendamise ja metsakorraldusega. Tal oli oluline roll Berchtesgadeni liitmisel Baieriga ja see andis talle Baieri kaubandusesindaja ameti Berchtesgadenis. Ta oli

kahtlemata võimekas mees, kuid kaunis kannatamatu, mis talle rohkesti vaenlasi tõi ja 1799.a. pidi ta Berchtesgadenist lahkuma. Kui aga uus kuurvürst ametisse sai, siis tõusis Utzschneider ametiredelil kiiresti. Veel siis, kui keegi ei uskunud, et Maximilian Joseph uueks kuurvürstiks saab, laenas Utzschneider alalises rahahädas olevale Maximilianile suuri summasid. Juba 1800.a. oli Utzschneider rahandusministeeriumi salareferent, mis tänapäeval tähendaks riigisekretäri ametit. Kuid ega ta iseloom ei paranenud, nii et 1801 oli ta jälle ametist prii. Fraunhoferi päästmise ajal plaanis ta asutada mitut manufaktuuri nii Münchenis kui selle ümbruses. Pärast õnnetust külastas ta Fraunhoferit mõnel korral, kusjuures Utzschneiderile meeldis poisi tohutu teadmishimu, sest oli ta ju ise samal viisil ühiskonnas tõusnud.

Fraunhofer proovis ise klaasimeistri ametit ja lihvis vabadel päevadel klaasi. Utzschneider viis ta kokku optik Joseph Niggel'iga, kes prilliklaase tegi ja seda ka Fraunhoferile õpetas. Ka tutvustas ta Fraunhoferit astronoom Ulrich Schiegg'ile, kes soovitas poisil palju lugeda ja eriti optikat õppida.

Sel ajal oli Utzschneider see, kes Fraunhoferi õpihimu igati toetas ning talle vajalikku kirjandust soovitas. Kuna Weichselberger Fraunhoferile igasuguseid takistusi seadis, siis pidi Fraunhofer otsima võimalusi õppimiseks. Ta põgenes vabadel päevadel Karli värava lähedal asunud aasale, kus luges heki taga (praegu on see piirkond botaanikaaed). See oligi Fraunhoferi gümnaasium!

1793.a. oli Münchени sõjakooli professor Franz Xaver Kefer asutanud õpipoistele ja sellidele pühapäevakooli, mis Baieri riigile hakkas kuuluma ja kuhu meistrid pidid oma õpilased saatma. Seal sai Fraunhofer oma alghariduse. 1804.a. ostis ta ikka veel osaliselt alles olnud kuurvürsti rahadega ennast vabaks alandavast poolest õpiaastast meistri juures.

Ta rajas oma ettevõtte ja hakkas seal nimekaarte trükkima, kuid ajad olid väga halvad ja inimesed ei tahtnud sellist asja osta, mis ilmingimata polnud vajalik. Ettevõtte läks pankrotti ja Fraunhofer pidi tagasi pöörduma Weichselbergeri juurde, seekord siiski juba sellina. 19. mail 1806 sai ta oma sellipaberid kätte, neis oli kirjas, et ta väga osav oma töös on ja et ta ilma erandita on end väga korralikult üleval pidanud.

Vahepeal oli Utzschneider Fraunhoferi silmist kaotanud, sest tal endal oli palju tegemist manufaktuuridega, mis kuidagi nii suurt sissetulekut ei tahtnud anda, kui Utzschneider soovis. Ka oli ta end sidunud mehaanika-matemaatika instituudi asutamisega.

## Töö algus

1800.a. marssisid Prantsusmaa väed Münchenisse ja kohe asutasid nad Topograafia Büroo, mille ülesandeks oli ümbruskonna täpsete topograafiliste kaartide koostamine. Tegelikult siis kahel eesmärgil, mis olid militaarne ja maksureformi läbiviimine täpsustatud kaartide alusel. Tööle võeti palju inimesi, nende hulgas ka Utzschneider. Kuid suur puudus oli täpsetest instrumentidest. Kuni 1806. aastani saadi neid John Dollondi käest Inglismaal, kes oskas väga puhast klaasi sulatada ja täpseid läätsi lihvida. Kuid siis kehtestas Napoleon kontinentaalblokaadi ja kaubavahetus Inglismaa ning kontinendi vahel katkes. Salakaubandus Inglismaa ja eriti Põhja-Saksamaa vahel puhkes õitsele, kuid kaubad läksid ülemäära kalliks.

Üks nendest, kes taipasid, kui hädasti kontinendil optilisi täppisriistu vajati, oli Georg Friedrich von Reichenbach. Ta oli meistermehaaniku ja kahuritorude puurija poeg, kes 19-aastaselt sai 500-kuldnase grandu Inglismaale praktikale sõiduks James Watti ja Matthew Boultoni juurde. Ta kopeeris seal Watt'i aurumasina joonised, kuigi Watt neid saladuses hoida püüdis, ning õppis tundma raua töötlemist ning masinaehitust. Pärast kaheaastast Inglismaal viibimist asus ta elama ja töötama Münchenis, kus valmistas nn jagamismasina, mis oli võimeline jagama ringi äärmise täpsusega võrdseteks osadeks. Kuna Maximilian Joseph soovis Ambergisse relvavabriku asutada, siis nägi Reichenbach siin võimalust oma ettevõtte rajada. Abiliseks leidis ta Joseph Liebherri, kes oli kellassepp, mehaaniku ja tornikellade meistri poeg.

Reichenbachil õnnestus oma ettevõtte jaoks saada toetust – Baieri Teaduste Akadeemialt 600 kuldnat ja Baieri topograafilisest büroost 1000 kuldnat ning 1802.a. loodi Reichenbachi ning Liebherri mehaanika-matemaatika instituut. Põhiline seadeldis seal oli suur jagamismasin. Äri ei tahtnud aga hästi minna ning Reichenbach pöördus Utzschneideri poole abi saamiseks.

Utzschneider oli ärimehena ammu silma peal hoidnud Saksamaa optikameistritel ja leidnud, et need vähesed oskasid vaid prille ja kehva kvaliteediga mikroskoope teha. Utzschneider soovis aga arendada täppisoptikat, ning nüüd avanes selleks suurepärane võimalus – 20. augustil 1804 sõlmiti leping Utzschneideri, Reichenbachi ja Liebherri vahel, kus defineeriti täpselt igatüüpi ülesanded. Kahurväe kapten Reichenbach juhtis nii instituudi tehnilist kui teaduslikku suunda, Liebherr oli instituudi esimene meister ja töötas käsikäes Reichenbachiga ning Utzschneider hoolitses vajaliku raha olemasolu eest ning juhatas instituudi kommertsipoolt. Tähelepanuväärne on, et valmistatud

instrumentidel vaid Reichenbachi ja Liebherri nimed seisid. Kuigi instituudi käsi tundus hästi käivat, andis ennast tunda hea flint- ja kroonklaasi puudus. Utzschneider ei tahtnud end lepingujärgselt vaid ärimeheks taandada ja võttis ette mitu reisi Lõuna-Saksamaale, Austriasse ja Šveitsi, kus Neuchâтели krahvkonnas Les Brenets's sai tuttavaks Pierre Louis Guinand'iga. See mees oli leidnud viisi hea flintklaasi valmistamiseks ja Utzschneider kutsus Guinand'i tööle Baierisse, Müncheni lähedale Benediktbeuerni kloostriisse, mille ta 1805.a. oli ostnud. See oli hea koht, sest klooster oli ruumikas ja ümberringi oli palju metsa, kust sai lihtsalt puid klaasisulatamiseks ja lähedal paiknes ka kvartsliaa kaevandus. Utzschneider ehitas sinna klaasiahju, mis 1806.a. märtsis käiku läks. Kaks kuud hiljem kirjutati alla ka leping Guinand'iga, milles seisis, et meister vaid üksi ahju juures töötab. Lepingu järgi pidi Guinand saama 500 kuldnat aastas ja 20% tuludest ning klaasisulatamisretsepti eest 5000 kuldnat kümne aasta jooksul. Ka pidi ta ühe oma poegadest välja õpetama, et salajane retsept kaotsi ei läheks, kui Guinand juhtuks järsku surema. Aasta hiljem muudeti lepingut, sest Utzschneider tahtis kogu Benediktbeuerni toodangut ainult oma Münchenis paikneva mehaanikainstituudi tarbeks. Uues lepingus oli punkt, mis kohustas Guinandi välja õpetama inimest, kelle Utzschneider on välja valinud. Samas kasvas Guinand'i aastapalk 1600 kuldnani, kuid retsepti eest ja müügituludest saadavast rahast juttu enam polnud.

1807. aastast oli Fraunhofer Utzschneideri, Reichenbachi ja Liebherri optikainstituuti tööle arvatud. Milline pidi olema mulje, mille 19-aastane üheski koolis käimata noormees neile jättis, kui nad ta oma soliidsesse firmasse tööle võtsid! Kuid Müncheni ülikooli astronoomiaprofessor Schiegg'i mitmepäevase eksami tulemused ei jätnud kahtlemisvõimalust. Ning juba samal aastal koostas Fraunhofer traktaadi paraboolsete, elliptiliste ja hüperboolsete peeglite valmistamisest teleskoopide tarvis.

Kuid firma omanikud polnud peeglitest huvitatud ja Fraunhoferil tuli läätsede juurde tagasi pöörduda.

### **Tõus karjääriredelil**

Töö Benediktbeuernis käis nii, et Guinand sulatas klaasi ja Fraunhofer lihvis ja poleeris seda vajalikku kujju. Lihvimine toimus Reichenbachi leiutatud pendel-  
lihvimismasinaga ja poleerimine Fraunhoferi leiutatud masinaga, kus kasutati vaikalusel niisket rauaoksiidi. See poleerimisviis oli küll juba üle viiekümne aasta vana,

kuid Fraunhofer märkas, et poleerida ei tohi liiga kiiresti, sest siis läätse kuju võib muutuda ja Fraunhofer laskis poleerida metronoomi taktis. Poleeritud läätsi tuli veel tsentreerida ja selleks konstrueeris Fraunhofer spetsiaalse kahekordse kangi põhimõttel töötava riista. Fraunhofer seadis sisse ka läätsede karmi kvaliteedikontrolli, alguses sfärimeetriga ja hiljem Newtoni interferentsrõngaid kasutades, saavutades nii täpsuse umbes 1/10 000 mm. Seda meetodit laskis Utzschneider kiivalt varjata.

Kõik see aitas Benediktbeuerni toodangu kvaliteeti tõsta, kuid Fraunhofer polnud sugugi rahul klaasi kvaliteediga ja kontrollis seda pidevalt. See aga viivitas Utzschneideri arvates liigselt klientide tellimuste täitmist.

Muidu oli Utzschneider Fraunhoferiga ülimalt rahul. Niggel'i äraminekust saati oli Fraunhoferist saanud optikainstituudi juht, kes Utzschneiderile teatas, millist klaasi millises koguses vaja läks ja kui palju toorlihviidaid veel vaja läks. Ainult klaasisulatamise üle tal kontrolli polnud.

28. jaanuaril 1809 kirjutas Utzschneider Fraunhoferile, et tema ja Reichenbach tahavad tulla Benediktbeuernisse, et Fraunhofer firma osanikuks kutsuda ja selleks leping sõlmida ning alates 7. veebruarist selline leping ka jõustus. Lepingus oli eraldi ära märgitud, et Fraunhofer peeglitega tegelda ei tohi ja et osanikuna saab ta kolmandiku kasumist.

Kohe suurendas Fraunhofer töötajate arvu – aprillist hakkasid seitse uut poissi toorlihvimisega tegelema, kes said töö eest vaid süüa ja magamiskoha, aga mitte palka. Ja mis veel tähtsam, Utzschneider andis Guinand'ile käsu Fraunhofer klaasisulatamise saladustesse pühendada.

### **Fraunhofer hakkab klaasi sulatama**

Sisuliselt tähendas see, et Fraunhoferist oli saanud *de facto* optikainstituudi juhataja nii Benediktbeuernis kui Münchenis.

See aga tähendas, et Guinand'i ja Fraunhoferi suhted halvenesid veelgi, sest nüüd pidi Guinand oma klaasisulatamise saladused Fraunhoferile avaldama. Küsimus polnudki mitte niivõrd ainetes ja nende kogustes, mis klaasimassi saamiseks kokku tuli segada, vaid sulatamisprotsessis endas. Sula klaas sulatas ka ahju seinu ja nii lisandus ebasoovitavaid aineid klaasimassi. Lisaks vajus flintklaasi saamiseks massi lisatav pliioksiid ahju põhja, muutes nii saadud klaasi triibuliseks. Guinand oli osanud selle probleemi lahendada, sest ta oli kirikukellade valamisel näinud, kuidas sula

metallimassi segati. Selle võttis Guinand ka klaasisulatamisel kasutusele. Raskusi valmistas aga segava varda materjali leidmine. Lõpuks hakkas ta kasutama puust varrast, mille peal oli savikiht ärapõlemise vastu. Teine Guinandi leiutis seisnes selles, et korruga sulatati ahjus kaugelt suurem hulk klaasi, kui senini oli tehtud - kuni 100 kilo korruga. Saadud tükid saagis ta pooleks ja võttis kasutusele vaid homogeenised osad.

Fraunhofer töötas kaks aastat Guinand'i käe all, kuni lõpuks Utzschneider kogu töö ülevaatamise Fraunhoferile andis. Ja juba teisel Fraunhoferi juhatusel tehtud 100-kilosele flintklaasi sulatisele oli klaasi murdumisnäitaja ploki allpool sama suur kui üleval.

Kroonklaasiga oli lugu palju halvem, sest kuidagi ei saadud värvitut klaasi, ikka oli ta alguses kollakas ja hiljem jahtudes lausa läbipaistmatult rohekas-kollane. Ei aidanud suurem ahi ega pikem korsten paremaks äratõmbeks. Lõpuks taipas Fraunhofer, et põhjus on kokkusulatavate ainete puhtuses. Ta hakkas puhastama kaltsiumkarbonaati ja kvartsi tooma Pillertalist Tiroolis, ning ka seda puhastama lisanditest. Seejärel uuris Fraunhofer sulatamisele minevate ainete koguseid, ning avastas, et kui ta vähendab kaltsiumkarbonaadi kogust ja suurendab lubja hulka, siis jääb klaas läbipaistvaks. Ka avastas ta, et ahju ei tohi korruga täita, vaid uus portsjon segu tuleb lisada alles siis, kui eelmine on täiesti sulanud.

Lisaks leidis ta, et väikesete õhumullide esinemine läätses ei halvenda kuidagi vaatlusteks kasutatavate läätsede omadusi.

Klaasi omaduste paranemine tähendas seda, et Fraunhofer sai suuremaid läätsi valmistada: 1811 – läbimõõduga 77 mm, 1812 – 61 kuni 83 mm, ning sama aasta lõpul akromaatilisi läätsi läbimõõduga 176 mm. Sellise läbimõõduga läätsi sai Napoli observatoorium. See oli juba väga kõva sõna.

Kuid sellel oli oma hind, sest Fraunhoferi ja Guinand'i suhted halvenesid niivõrd, et Guinand 1813.a. asjad kokku pakkis ning koos oma naise Rosaliega tagasi Les Brenet'sse läks. Kuigi ta ei tohtinud lepingujärgselt kellelegi klaasisulatamise detaile avaldada, rajas ta Les Brenet'sse oma optikatöökoha, mis aga edu ei toonud. 1816.a. tahtis ta tulla Benediktbeuernisse tagasi tingimusel, et ei Fraunhoferil ega tema assistendil Blochmannil selle kohta midagi öelda oleks. Utzschneider isegi ei vastanud sellele kirjale.

Kuni selle ajani, kui Benediktbeuernis head optilist klaasi saadi Guinand'i retsepti järgi suhteliselt ebakindlalt, siis püüdis Utzschneider optikainstituuti vee peal hoida prillide ja ooperibinoklitega kaubitsedes. See aga polnud eriti tulutoov, sest Saksamaal valitses



sel alal väga tugev konkurents. Pealegi oli Utzschneideri soov olnud kogu aeg valmistada kõrgekvaliteedilisi optilisi instrumente.

Ent Fraunhoferi uuendustega olukord muutus ja firma hakkas avaldama oma toodete hinnakirju kogu Euroopas. Pakuti kokku 56 erinevat toodet, mille hulgas oli kuus akromaatilist objektiivi. Uute toodete hulgas olid mikroskoobid – ainult 529 kuldna eest, millel olid Fraunhoferi idee kohaselt igas suunas liigutatavad peeglid vaadeldava objekti valgustamiseks ning ka mikromeetrid mõõtmiste tegemiseks. Uued tooted olid ka heliomeeter, millega sai ülitäpselt Päikese diameetrit mõõta, samuti komeediotsija 175 mm objektiiviga, kiire ja aeglasema liigutamise võimalusega ning tsentrifugaalpendliga varustatud kellaga, mis võimaldas teleskoopi kogu aeg tähele suunatuna hoida.

### **Fraunhoferi teadustöö**

Fraunhofer oli iseõppija ja ka tema teaduslik tegevus oli enamasti suunatud rakendustele.

Läätsoptika üheks valupunktiks on kromaatiline aberratsioon, st erineva lainepikkusega kiired ei koonu pärast kumerläätseläbimist ühte ja samasse fookusesse. Juba Euler oli pakkunud välja, et üheks võimaluseks kromaatilise aberratsiooni vähendamiseks võib olla erineva murdumisnäitajaga läätsede kombinatsioon. John Dollond tõestas oma katsetega, et kui kombineerida kroon- ja flintklaasist läätsi saab tõesti kromaatilist aberratsiooni vähendada. Kuid teaduslik põhjendus ikkagi puudus ja Fraunhofer hakkas selle probleemiga tegelema. Esimese asjana hakkas ta mõõtma erinevate klaasisortide murdumisnäitajaid, kasutades prismaid. Siis otsis ta aineid, mis ainult ühevärvilist valgust läbi laseksid. Neid ta ei leidnud, kuid märkas, et erinevatest valgusallikatest lähtunud valgust prismast läbi lastes tekivad “värvipildis” ehk siis spektris teravad tumedad jooned. Praegu me ütleme, et need olid naatriumi D neeldumisjooned.

Ta konstrueeris ka spetsiaalse kuue-lambi-seadeldise, millega sai mõõta ainete murdumisnäitajaid.

Seejärel laskis ta päikesevalgust pimedasse tuppale prismale läbi kitsa pilu ja nägi “värvipildis” tumedaid jooni. Neid oli varem ka Wollaston näinud (1802), kuid ei pööranud neile mingit tähelepanu. Kuid Fraunhofer taipas, millist kasu tõuseb neist ainete dispersiooni määramisel. Ta tähistas need jooned suurte tähtedega Ast kuni Zni. Mõned jooned olid nii tihedasti koos, et Fraunhofer jagas need gruppidesse ja tähistas

need väikeste tähtedega. Selle D-joone, mis oli olnud kunstliku valguse lahutamisel, leidis ta ka Päikese spektris. Nende tumedate neeldumisjoonte abil hakkas Fraunhofer ainete murdumisnäitajaid määrama. Kui neid tulemusi võrrelda tänapäevastega, siis leiame erinevused alles neljandas kohas pärast koma!

Ta tegi kindlaks ka värvide suhtelise heleduse Päikese spektris, näidates, et kollane värvus on kõige intensiivsem, aga samuti ka selle, et need avastatud tumedad jooned on seotud valgusallikaga, so siis Päikesega.

Fraunhofer tegi katseid ka elektrivalgusega. Elektrilampe siis veel polnud, kuid ta asetaskahale paralleelsele juhtmele klaaskiu ja laskis neist voolu läbi. Kiud hakkas helendama ja selle valguse lahutamisel prisma tekkinis mitu heledat joont ehk siis emissioonjoont.

Nii sündiski spektraalanalüüs ja leiutati spektroskoop.

1814.aastal lahkus Reichenbach firmast, et asutada koos Traugotti ja Erteliga uus optikafirma. Ta polnud rahul sellega, et hoolimata optikaäri heast käekäigust oli Utzschneider firma võlgadesse tüürinud. Seega sai Fraunhoferi valitsuse alla ka metalli- ja puutöökoda Münchenis – kuigi seda nominaalselt juhataks Rudolph Sigismund Blochmann, kes 1818 lahkus paremini makstud töökohale Dresdenis - ning ta hakkas tõsiselt tegelema teleskoopide mehaaniliste probleemidega, eriti just parallaktilise monteeringuga.

1819.aastal esitles Fraunhofer Münchени tööstusnäitusel 9-tollise objektiiviga teleskoopi, mille eest hõbemedali sai.

Mis Fraunhoferil oli kaua puudunud, oli tunnustus ja sellega hakkas tegelema Baieri Teaduste Akadeemia liige Johann Georg Soldner, kes oli trigonomeeter Baierimaa haldusaparaadis. Tema eesmärgiks sai Fraunhoferi akadeemia liikmeks valimine. See polnud kerge, sest vanad akadeemikud ei tahtnud näha akadeemias meest, kelle pole mitte mingisuguse kooli lõputunnistust ette näidata. Kuid Fraunhoferi edusamme optikas ei saanud nad ka eitada. Nii sündis kompromiss – 15. veebruaril 1817 valiti Fraunhofer Baieri Teaduste Akadeemia korrespondentliikmeks.

Kuid talle jäi meelde akadeemikute öeldu, et ta pole teadlane ja ta otsustas neile tõestada, et neil pole õigus. Ja Fraunhofer asus uurima valguse difraktsiooni ning aastatel 1821-1823 ilmus tal kaks nn Baieri akadeemia memorandumites avaldatud olulist tööd. Esimene neist käsitles valguse difraktsiooni ja teine valguse leviku seaduspärasusi. Need tööd põhinesid Fraunhoferi katsetel – ta laskis päikesevalgust läbi pilu, mille laiust sai reguleerida, ja jälgis läbitulnud valgust teodoliidiga, et

valguskiire kõrvalekaldumist saaks registreerida. Ta jõudis tulemusele, et see kaldumisnurga suurus on pöördvõrdeline pilu laiusega. Fraunhofer tegi kindlaks ka selle, et kui päikesevalgust lasta läbi ümmarguse ava, siis tekivad värvilised rõngad, mis seda suurema diameetriga on, mida väiksema diameetriga on ava. Selleks, et kontrollida, kas need kaldunud kiired ka omavahel interakteeruvad, tegi ta neljakandilise raami ja kinnitas raami kahele vastasküljele peened kruvid (169 keerdu ühel pariisi tollil, ehk siis iga keerdu oli teisest 0.16 mm kaugusel) ja mässis peenikese traadi ümber mõlema kruvi, nii et Fraunhofer sai tegelikult paralleelsetest traatidest koosneva võre. Oma üllatuseks sai ta sellest päikesevalguse läbilaskmisel samasuguse spektri kui pilust läbilaskmiselgi, ainult et joontevaheline kaugus hoopis teistsuguse seaduse järgi käitus kui prisma spektris.

Seejärel kattis ta tasase klaasplaadi ühe külje õhukese kullakihi ja tegi sellesse väikese vahemaa tagant paralleelsed vaod. Kui ta sellele päikesevalguse suunas, tekkis taas tuttav spekter. Edasi taipas ta, et kuld pole üldse vajalik ja ta graveeris teemantotsikuga jooni otse klaasile. Ta saavutas uskumatuid tulemusi, graveerides võre, kus oli 3601 joont vahekaugusega 0.0033 mm (praegu Tõraveres kasutataval parimal võrel on 2400 joont millimeetrile, st joonte vahekaugus on 0.00042 mm). Ta määras ka mitmete, nüüdseks Fraunhoferi spektrijoonte lainepikkused väga suure täpsusega. Toome siin näitena tabeli (lainepikkused on millimeetrites):

Fraunhoferi jooned	Fraunhoferi tulemus	Tänapäevane väärtus
C	0.0006556	0.0006563
D	0.0005888	0.0005893
E	0.0005265	0.0005270
F	0.0004856	0.0004862
G	0.0004296	0.0004308
H	0.0003963	0.0003969

Kõikide nende katsete tulemusena kirjutas ta, et need aitavad kinnitada valguse lainelist loomust.

## Elu kõrghetked

1817. ja 1818. aasta näljahäda oli pankrotti ajanud selle panga Münchenis, kellega Utzschneider tihedalt seotud oli ja mistõttu ka Utzschneider kitsikusse sattus. Teda päästis kuurvürsti lesk, kes oma osa eest linavabrikus 35 000 kuldnat sisse nõudma ei hakanud. Aga Benediktbeuerni kloostrihooned pidi ta maha müüma, ainult klaasiahjud, puusepatöökoda ja lihvimisvahendite ladu jäid paika. Optikainstituut kolis Münchenisse ja selle esindajaks Benediktbeuernisse jäi Jungwirth.

Kuna Fraunhofer nüüd Münchenis elas, siis oleks tal lihtne olnud Baieri akadeemia istungitel käia, aga seda talle ei lubatud, sest ta oli vaid korrespondentliige. Mitmed akadeemikud, nagu botaanik Frank von Schenk, toetasid igati Fraunhoferi soovi saada täisakadeemikuks, kuid paljud olid vastu, sageli oma tegelikke vastuseisu põhjusi varjates selle taha, et Fraunhofer polnud koolis käinud. Vaidlused käisid mitu kuud, kuni lõpuks kompromissile jõuti – Fraunhofer valiti erakorraliseks akadeemikuks, istungitest osavõtu õigusega.

Tolle aja kohta suurima tähtsusega töö oli heliomeetri tegemine C.F. Gaussile, mis valmis 1814. aastal ja saadeti Göttingeni. Gauss oli ammu sellist instrumenti soovinud ja uurinud ka inglaste pakkumisi, kuid inglise meistrite hinnad olid palju kõrgemad kui Fraunhoferil. See oli suur läbimurre, sest Gauss oli ülemaailmselt tunnustatud matemaatik ja astronoom ning Fraunhoferi kuulsus kasvas tunduvalt. Pealegi ostis Gauss Benediktbeuernist veel mitu instrumenti, selleks 1816.a. isiklikult kohale sõites. Järgmine suur töö oli Königsbergi 6.2 tollise heliomeetri valmistamine F. Besselile, kuid Fraunhofer selle jõudmist Königsbergi enam ei näinud.

Gaussi 12-päevane külaskäik Münchenisse ja Benediktbeuernisse avas nagu väravad ja külalisi hakkas saabuma lähedalt ja kaugelt. Fraunhoferile huvitav külaline kohe Gaussi järel oli Jena matemaatikaprofessor (hiljem Bonnisis) Karl Dietrich von Münchow, kes oli läbi rehkendanud akromaatilise objektiivi. Külaskäigul saatis teda Jena füüsikaprofessor Johan Heinrich Voigt.

Ka Taani füüsik Hans Christian Ørsted veetis 1822.a. jõulud kuni järgmise aasta 10. jaanuarini Benediktbeuernis.

Kindlasti tuleb mainida kuulsa astronoomi Wilhelm Herscheli poja John Frederick William Herscheli külaskäiku 1824. aastal, kes tuli kontinendile eesmärgiga koguda informatsiooni klaasisulatamise kohta. Kohtumisel kirjeldas Fraunhofer talle

neeldumisjooni Päikese spektris ja Herschel rõhutas selle avastuse suurt tähtsust maailmapildi kujunemisel.

Mitte ainult teadlased polnud külastajateks, vaid ka avaliku elu tegelased, nagu näiteks Baieri kuningas Maximilian IV Joseph, kes 1822.a. oma kaitsealust vaatama tuli. Temaga koos oli peaminister krahv Maximilian von Montgelas, kellega Fraunhofer mägedes matkamas käis.

Ka vene tsaar Aleksander I külastas optikainstituuti Münchenis, kui oli tagasiteel Viini rahukongressilt 1815.a. Vähemalt on nii kirjas Utzschneideri päevikus. Veel on tähtsate külaliste hulgas kirjas Prantsuse saadik Lagarde, vene saadik krahv Friedrich von der Pahlen, täievoliline Prantsuse minister Viini rahukongressil hertsog Emmerich Joseph von Dalberg, Šveitsi ülemmetsa- ja mäenõunik Johann Heinrich Daniel Zschokke, kes Fraunhoferi isiklik sober oli.

Juba varem oli Fraunhoferil valmis saanud senini suurim akromaatiline objektiiv läbimõõduga 243.6 mm. See sai teleskoobile, mille oli tellinud F.G.W. Struve ja mis enne ärasaatmist Tartusse oli välja pandud vaatamiseks Müncheni Salvatori kirikusse. Ja vaatajaid jätkus, sest avalikkusele oli see teleskoop otsekui Baieri riigi suurteos. Tartusse jõudis teleskoop 10. novembril 1824 pakituna 21 kasti. Maksma läks see 13440 kuldnat ja tänutäheks kinkis tsaar Aleksander I Fraunhoferile briljantsõrmuse ja samasuguse sõrmuse sai ka Struve. Struve kasutas seda teleskoopi ennekõike  $\alpha$  Lyrae kauguse ning tuhandete kaksiktähtede mõõtmiseks, unustamata kiitmast selle ekvatoriaalmonteeringuga teleskoobi omadusi, selle teleskoobi juurde kuuluvat mikromeetrit ja kogu instrumendi valmistajat.

Võib öelda, et Tartu refraktori valmistamine oli Fraunhoferi elu kõrgpunktiks. Pärast seda ta tegeles palju optiliste nähtuste, nagu halod ja vale-päikesed, seletamisega.

1823.a. nimetati ta Baieri akadeemia füüsikakogude konservaatoriks, mis Fraunhoferilt küllalt palju aega võttis, kuid aastas 800 kuldnat sisse tõi. Ka pidi ta akadeemias optika loenguid pidama, saades selle eest professori kutse ja ka palka.

### **Elu ja töö lõpevad**

Fraunhoferi töövõime oli legendaarne. Ta suutis võtta enda kätte suure firma juhtimise, olles ise ilma süstemaatilise hariduseta, ja viia see firma majanduslikule õitsengule.

Kuigi teda kirjeldati tagasihoidliku ja vaikse inimesena, siiski vaatas läätsede tootmist alati ise üle, haamer käes. Kui läätsel oli kas või imetilluke viga, lõi ta selle puruks - firmast pidi välja minema vaid parim toodang.

Ta kaebas oma kirjades, et ei saa teha firmajuhtimise tõttu nii palju teaduslikku uurimistööd kui ta tahaks, ja pealegi peab ta paljusid oma avastusi salajas hoidma.

Vastuolud olid tal ka Utzschneideriga, kuigi kaugeltki mitte nii tugevad, nagu mitmed eluloo kirjutajad on arvanud. Loomulikult soovis Utzschneider ärimehena, et firma toodangut annaks, seejuures kvaliteetset ja õigeaks ajaks. Fraunhofer soovis aga asju paremaks teha, kuid see võttis palju aega.

Kuigi Fraunhoferi päritolu oli tolle aja standardite kohaselt madal, siiski sai ta palju ametlikke tunnustusi oma töö eest.

Pärast Tartu refraktori valmimist sai ta Baieri võimudelt Müncheni aukodaniku tiitli, mis muuseas tähendas ka seda, et ta tulumaks kaotati. Kuningas Maximilian IV Joseph tõstis Fraunhoferi pärast Tartu teleskoobi näitamist Salvatori kirikus Münchenis "zum Ritter des Civildienstordens der Bayerischen Krone", millega käis kaasas pärandatav aadlitiitel.

Erlangeni ülikool valis ta filosoofia doktoriks.

Oktoobris 1825 jäi ta kopsudega tõsiselt haigeks - ilmselt tuberkuloosi. Jaanuaris kirjutab see alistumatu mees oma sõbrale H. C. Schumacherile: "... oma rinnavea tõttu olen ma nüüd juba neli kuud olnud arstide käes. Kuigi haigus pole ohtlik, võin ma ikkagi sellesse surra, kui haigus pole tagasi andnud enne kui tulevad pehmemad ilmad või kui ma pole saanud korralikku ravi. Kaks arsti arvavad, et ma peaksin veetma talve Lõuna-Itaalias. Kuid ma pole sellega nõus, sest see takistaks mul täitmast oma ülesandeid ja sellest võiksid sündida suured kahjud, mis võtaksid mult mitu aastat nende taastamiseks, nii et ma ei saa ette võtta sellist kallist sõitu. Pealegi poleks see mul niisuguse külma ilmaga sugugi ohutu, kuna näiteks jäin ma hiljuti palavikku kui korrigeerisin teleskoopi avatud akna all. Ma pean nüüd veetma aega süngis ja tegema oma tööd seal, mis pole mitte kergem, sest niipalju kui võimalik, pean ma hoiduma rääkimisest."

Fraunhofer suri 7. juunil 1826, olles paar päeva enne seda saanud teate, et talle on annetatud Taani Dannebroggi orden. Utzschneiderile lubati oma soovi kohaselt valida hauaplats Fraunhoferile. Utzschneider valis platsi vaid mõni päev varem surnud Georg von Reichenbachi kõrvale Müncheni Südfriedhofi kalmistul.

Fraunhoferi hauakivil seisab "Sidera approximavit".

## Kasutatud kirjandus

1. Hans-Peter Sang, *Joseph von Fraunhofer. Forscher. Erfinder. Unternehmer.* Verlag Dr. Peter Glas, München, 1987.
2. *The historic Fraunhofer glass-works in Benediktbeuern*, Fraunhofer Gesellschaft and the Haus der Bayerischen Geschichte, Ed. Josef Kirmeier and Evamaria Brockhoff, 1990.
3. J.Fraunhofer, *Ueber die Construction des so eben vollendeten grossen Refractors.* Astronomische Nachrichten, vol. 4, No 74, s. 17 - 24, 1826.
4. W. Struve, *Nachricht von der Ankunft und Aufstellung des Refractors von Fraunhofer auf der Sternwarte der Kaiserlichen Universität zu Dorpat,* vol. 4, No 75, s. 37 - 44, 1826.
5. P.L. Pease, *Joseph Fraunhofer (1787 - 1826) and heterochromatic photometry,* Nature, vol. 326, No 6108, pp.17 - 18, 1987.
6. A. H. Batten, *Joseph von Fraunhofer,* J. Roy. Soc. Can., vol. 81, No 3, pp. 106 - 107, 1987.
7. Letter from J.F.W. Herschel, Esq., F.R.S. to M. Schumacher, Slough, August 15, 1825.
8. J. v. Utzschneider, *Kurzer Umriss der Lebens-Geschichte des Herrn Dr. Joseph von Fraunhofer,* München, 1826.
9. M. Schramm, *Der Beitrag J. v. Fraunhofers zur Astronomie [1],* Lehrstuhl für Geschichte der Naturwissenschaften, Universität Tübingen.
10. G. L'E Turner, *Technologist of genius: Joseph von Fraunhofer (1787 - 1826),* Physics Bulletin, October 1976.
11. P.-E. Andersen, *En redegørelse for spektralanalysens oprindelse,* Institut for de Eksakte Naturvidenskabers Historie, Aarhus Universitet, 1969.
12. K. Nielsen, *Joseph Fraunhofer,* Astronomisk Tidsskrift, No 3, pp. 97 - 107, 1988.