

Tuuli Kujala, Josefina Lukkarila ja Oona Voutilainen

## Haluatko optiikan mestariksi?

Oppimateriaali optiikan ja silmälasiteknologian perusteista

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Optometrismi (AMK)

Optometrian koulutusohjelma

Opinnäytetyö

31.3.2018

Tekijät Otsikko	Tuuli Kujala, Josefina Lukkarila ja Oona Voutilainen Haluatko optiikan mestariksi? Oppimateriaali optiikan ja silmälasiteknologian perusteista
Sivumäärä Aika	26 sivua + 3 liitettä 31.3.2018
Tutkinto	Optometrismi (AMK)
Koulutusohjelma	Optometrian koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Optometria
Ohjaajat	Yliopettaja Kaarina Pirilä Lehtori Johanna Valtanen
<p>Opinnäytetyön päämääränä oli tuottaa suomenkielinen oppimateriaali optiikan ja silmälasiteknologian perusteista. Tarkoituksena on koota yhteen optometristin osaamisen kannalta tärkeimmät optiikan ja silmälasiteknologian laskukaavat ja teoria-asiat. Oppimateriaali on suunnattu ensisijaisesti optometristiopiskelijoille opiskelun tueksi, ja työ on toteutettu yhteistyössä Metropolia Ammattikorkeakoulun kanssa.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään oppimateriaalin kokoamiseen liittyvää teoriaa sekä käydään läpi projektin etenemistä. Tarvetta oppimateriaalille kartoitettiin kyselylomakkeella, joka jaettiin syksyllä 2017 optometrian opintonsa aloittaneille opiskelijoille. Kyselyn perusteella opiskelijoilla oli tarve suomenkieliselle optometristeille suunnatulle optiikan oppimateriaalille. Myös lähes valmista oppimateriaalia testattiin opiskelijoilla. Opiskelijoiden näkemyksen mukaan kokonaisuus oli selkeä ja johdonmukainen. Kuvat ja esimerkit auttoivat paremmin ymmärtämään teoria-asioita. Oppimateriaalia muokattiin lopulliseen muotoonsa saatujen kehitysehdotusten perusteella.</p> <p>Valmis oppimateriaali on jaettu kolmeen osioon: silmälasiteknologiaan, optiikkaan ja piilolinssi-optiikkaan. Kukin osio käsittelee asioita aihealueittain havainnollistavien kuvien ja esimerkkien avulla. Asiat on pyritty selittämään yksinkertaisesti ja ymmärrettävästi, mutta riittävän laajasti. Teoriaosuuden jälkeen oppimateriaalissa on kaavakokoelma, johon on kerätty kaikki oppimateriaalissa käytetyt laskukaavat. Tämän jälkeen omaa osaamista voi vielä testata eri aihealueiden tehtävillä, joiden vastaukset löytyvät tehtäväosion jälkeen. Monipuolisen sisältönsä takia oppimateriaali tukee erilaisia oppimistyyliä. Oppimateriaali on liitteenä työn lopussa ja se on nähtävissä myös Issuu-julkaisualustalla.</p> <p>Työn tavoite oli selkeyttää optiikan opiskelua, tuomalla monen eri opintojakson asiat yhteen johdonmukaiseen kokonaisuuteen. Opiskelun lisäksi oppimateriaalia voidaan hyödyntää työelämässä, sillä sen avulla optiikan asioihin on helppo palata. Nettijulkaisuna oppimateriaali on helposti kaikkien nähtävillä, ja sen voi halutessaan myös tulostaa itselleen.</p>	
Avainsanat	oppimateriaali, optiikka, linssit

Authors Title	Tuuli Kujala, Josefina Lukkarila, Oona Voutilainen Do you Want to become a Master of Optics? Study Material of Basics of Optics and Spectacle Technology
Number of Pages Date	26 pages + 3 appendices March 2018
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Optometry
Specialisation option	Optometry
Instructors	Kaarina Pirilä, Principal Lecturer Johanna Valtanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to create a study material in Finnish on basics of optics and spectacle technology. The aim is to combine all the important formulas and theoretical aspects of optics and spectacle technology relevant to optometrist's expertise. The study material is primarily meant for optometry students who can use the material in their studies. The thesis was made in partnership with Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>The theoretical part of the thesis deals with the theory of creating a study material and goes over the progress of the project. The need for the study material was mapped out through a questionnaire that was distributed to students who had started their optometry studies in the fall of 2017. According to the questionnaire, students had a need for study material of optics directed to optometrists in Finnish. In addition, the nearly finished study material was tested on students. According to the students, the material was clear and logical. The images and examples were considered helpful in the understanding of the theory. The study material was modified into its final form based on the received development suggestions.</p> <p>The finished learning material is divided into three sections: spectacle technology, optics and contact lens optics. Each section uses illustrative images and examples as a support for theory. The attempt was to explain things simply and understandably. At the end of the study material there is a collection of all the formulas used in the study material. After that, the reader can test his/her skills with exercises on different topics. The answers for the exercises are also included. The study material is attached at the end of the thesis and is available at <a href="https://www.issuu.com">Issuu.com</a>.</p> <p>The aim of the thesis was to clarify studies of optics. The learning material can also be used in working life as well as part of the optometry studies. Through a web release, the study material is easily accessible to anyone and it can be printed out as well.</p>	
Keywords	study material, optics, lenses

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Toiminnallinen opinnäytetyö	2
3	Optiikan ja silmälasiteknologian opetus Metropolia	4
4	Oppimateriaalin kokoaminen	6
4.1	Tarvekartoitus	6
4.2	Oppimateriaalin sisältö	9
4.3	Oppimateriaalin testaaminen	12
5	Oppimateriaalin ulkoasu	14
5.1	Erilaiset oppimistyyli	14
5.2	Oppimateriaalin rakenne	15
5.3	Issuu julkaisualustana	19
6	Projektin eteneminen	21
7	Pohdinta	24
8	Lähteet	26
Liitteet		
Liite 1. Tarvekartoitus-lomake		
Liite 2. Kysely oppimateriaalin toimivuudesta		
Liite 3. Oppimateriaali		



## 1 Johdanto

Optiikan ja silmälasiteknologian opiskelu on oleellinen osa optometristin koulutusta. Optiikka eli valo-oppi käsittelee valon luonnetta ja sen käyttäytymistä eri väliaineissa (Pedrotti 2008: 1). Silmälasiteknologia puolestaan käsittelee silmälasilinssien ja -kehysten ominaisuuksia (Metropolia 2017). Optometristin on ymmärrettävä linssien toimintaperiaatteet sekä niihin vaikuttavat tekijät ymmärtääkseen silmälasilinssien toimintaa käytännössä. Optiikasta on kuitenkin olemassa hyvin vähän suomenkielistä oppimateriaalia, joka selittäisi asioita yksinkertaisesti ja selkeästi.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa suomenkielinen oppimateriaali optiikasta ja silmälasiteknologiasta. Työ on suunnattu optometristiopiskelijoille ja se on toteutettu yhdessä Metropolia Ammattikorkeakoulun kanssa. Idean työlle saimme keväällä 2017, sillä halusimme saada aikaan tuotoksen, josta on konkreettista hyötyä. Idean taustalla oli myös oma mielenkiinto optiikkaa kohtaan. Tarkoituksena on kerätä oppimateriaaliin optiikan ja silmälasiteknologian teoriaa ja laskukaavoja yhteen selkeään kokonaisuuteen. Työn tavoitteena on selkeyttää optiikan opiskelua, sillä eri opintojaksojen asiat tuodaan yhteen kokonaisuuteen. Näin myös jo opittuihin asioihin voi helposti palata.

Työ toteutetaan toiminnallisena opinnäytetyönä, jonka tuotoksia ovat oppimateriaali, projektin etenemisestä kertova kirjallinen osuus sekä erillinen tiedosto oppimateriaalin laskutehtävien ratkaisuksista. Tehtävien ratkaisut luovutetaan opettajien käyttöön ja ne eivät tule työhön esille. Projektin aikana suoritetaan kaksi optometristiopiskelijoille suunnattua kyselyä, joissa kartoitetaan ensin oppimateriaalin tarvetta sekä lopuksi testataan sen toimivuutta.

Opinnäytetyön kirjallinen osuus käsittelee aluksi toiminnallisen opinnäytetyön toteutusta. Tämän jälkeen käydään läpi optiikan ja silmälasiteknologian opetusta Metropolia Ammattikorkeakoulussa. Seuraavaksi kerrotaan oppimateriaalin kokoamiseen liittyvää teoriaa ja perustellaan työn toteuttamistapoja. Lopun pohdinnassa käsitellään projektin onnistumista ja esitellään jatkotutkimusehdotuksia. Liitteenä työn lopussa ovat tarvekartoituslomake, kysely oppimateriaalin toimivuudesta sekä valmis oppimateriaali. Oppimateriaali on nähtävissä myös Issuu-julkaisualustalla.

## 2 Toiminnallinen opinnäytetyö

Toiminnallinen opinnäytetyö on yksi tapa toteuttaa ammattikorkeakoulun opinnäytetyö. Se on vaihtoehto tutkimukselliselle opinnäytetyölle. Sen tavoitteena on ohjeistaa, opastaa, järjeistää tai järjestää käytännön toimintaa. Opinnäytetyön tuotoksena voi olla jonkin tapahtuman järjestäminen tai tuotteen, kuten kirjan, kotisivujen, portfolion tai oppaan luominen. (Vilkkä – Airaksinen 2003: 9.)

Vaikka tuotoksena on aina jotain konkreettista, opinnäytetyöhön tulee yhdistää käytännön toteutuksen lisäksi prosessin raportointi tutkimusviestinnän näkökulmasta. Opinnäytetyö sisältää siis kaksi osaa, joista tuotos eli produkti suunnataan kohderyhmälle ja raportti prosessin kuvaamiseksi. Raportti on teoriaan nojautuva, johdonmukainen ja yhtenevä kirjallinen tuotos koko työskentelyajalta. Se pohjautuu läpikäydyn prosessin kirjautamiseen ja esittelyyn. Opinnäytetyön vaiheista on tämän vuoksi hyvä pitää tietynlaista itselle sopivaa päiväkirjamuotoa, jotta ajatukset ja tehdyt valinnat saadaan kirjattua ylös työn eri vaiheissa. Lisäksi on hyvä laatia toimintasuunnitelma sekä aiheen että tulevan työskentelyn jäsentämiseksi. (Vilkkä – Airaksinen 2003: 19–38, 65–69.)

Toteutustapa määräytyy aina kohderyhmän mukaan niin, että kohderyhmän ja tekijän tavoitteet kohtaavat. Jotta tuotoksen sisältö vastaisi mahdollisimman hyvin kohderyhmän tarvetta, sisällön suunnittelussa kaivataan tyypillisesti tutkimuksellista selvitystyötä. Näin voidaan kartoittaa idean tarpeellisuutta. Työssä vaaditaan siis tutkimuksellista otetta, vaikka tutkimusmenetelmien hyödyntäminen ei olekaan toiminnallisessa opinnäytetyöprosessissa välttämätöntä. Selvityksessä voidaan käyttää sekä määrällisiä että laadullisia tutkimusmenetelmiä. Saadun tiedon analysoinnin ei tarvitse olla yhtä järjestelmällistä kuin tutkimuksellisissa opinnäytetyöissä. Pääasia on, että tutkimustiedolla saadaan työhön syvyyttä ja voidaan perustella tehtyjä valintoja. (Vilkkä – Airaksinen 2003: 51–58, 82.)

Opinnäytetyön tulee osoittaa ammatillista osaamista ja sen on tuotava jotain uutta alalle. Sen avulla yhdistetään teoreettinen tieto ammatilliseen käytäntöön. (Vilkkä – Airaksinen 2003: 27, 65.) Optiikasta on tehty aikaisemmin hyvin vähän opinnäytetyitä. Halusimme tämän vuoksi tuoda jotakin uutta alalle käsittelemällä teoreettista optiikkaa opinnäytetyössämme. Toiminnallinen opinnäytetyö valikoitui työmme toteutustavaksi, sillä heti ideointivaiheessa esille nousi halu saada aikaan jotakin konkreettista. Projektin toteutustapa oli näin vapaampi ja pääsimme käyttämään omaa luovuuttamme. Koska

oppimateriaali tukee ammattiin opiskelua, se vahvistaa samalla työelämän osaamista. Näin sillä on myös työelämää edistävä vaikutus. Tutkimuksellista otetta projektiin haettiin laadullisin menetelmin.

### 3 Optiikan ja silmälasiteknologian opetus Metropoliaassa

Nykyisen opetussuunnitelman mukaan optiikan opetus koostuu kahdesta erillisestä opintojaksosta. *Geometrinen optiikka* on suunniteltu suoritettavan heti ensimmäisellä lukukaudella ja *Visuaalinen optiikka* toisella lukukaudella. *Geometrisessa optiikassa* käydään läpi valon käyttäytymistä erilaisilla rajapinnoilla. Tavoitteena on, että opiskelija osaa sekä laskemalla että piirtämällä esittää valon kulun erilaisilla pinnoilla ja eri väliaineissa. *Visuaalisessa optiikassa* keskitytään pohtimaan silmää optisena järjestelmänä ja käydään läpi valon luonnetta. Opintojaksolla opiskellaan myös valaistustekniikkaa. Tavoitteena on, että opiskelija osaa esittää kuvan muodostumisen ihmissilmällä laskemalla sekä piirtämällä. Myös verkkokalvokuvan laatuun vaikuttavat optiset tekijät on ymmärrettävä. (Metropolia 2017.)

Silmälasiteknologiaa opetetaan myös kahdella eri opintojaksolla. Opintojakso nimeltä *Silmälasiteknologian perusteet* on suunniteltu suoritettavan heti ensimmäisellä lukukaudella. Opintojaksolla käydään läpi erilaiset linssityypit, prisman toiminta sekä opetellaan kehysten taivuttelua. Lisäksi tutuksi tulevat muun muassa reseptimerkinnät ja linssikoon määrittäminen. Tavoitteena on, että opiskelija käsittää, miten linssimateriaalin ominaisuudet ja rakenne vaikuttavat kuvautumiseen. Opiskelija tietää, miten linsseillä voidaan korjata erilaisia taittovirheitä ja miten lasketaan prismavaikutuksen määrä. Silmälasiteknologian opinnot jatkuvat toisella lukukaudella opintojaksolla *Optikkoliikkeessä toimiminen*. Opintojaksolla syvennetään tietoutta erilaisista linsseistä. Tavoitteena on, että opiskelija tietää eri linsien ominaisuuksista monipuolisesti ja osaa laskea pintavälimuutoksen ja silmälasisuurennoksen. (Metropolia 2017.)

Piilolinssiopiiikkaan perehdytään kahdella piilolinssihin keskittyvällä opintojaksolla. Ensimmäinen opintojakso, *Piilolasien sovittamisen perusteet*, suoritetaan viidennellä lukukaudella. Opintojaksolla käydään läpi, mitä vaikutuksia linssin muotoilulla on optiikkaan. Tavoitteena on, että opiskelija osaa laskea pintavälin vaikutuksen ja silmälasien voimakkuuden suhteessa piilolinssihin. Myös sfäärinen ekvivalentti on osattava määrittää. Tietoutta piilolinssistä syvennetään kuudennella lukukaudella opintojaksolla *Piilolasien sovittaminen*. Tällä opintojaksolla perehdytään muun muassa toorisen ja monitehopiilolinssin toimintaan. (Metropolia 2017.)

Optiikan ja silmälasiteknologian opintojaksoilla opiskellessamme opetus tapahtui pääsääntöisesti lähiopetuksena. Opiskelu koostui luennoista sekä laskuharjoituksista, joita

tehtiin sekä koulussa että itsenäisesti omalla ajalla. Opintojaksoilla ei ollut käytössä varsinaisia oppikirjoja, vaan käytetyt materiaalit olivat lähinnä opettajan PowerPointilla tekemiä luentomateriaaleja. Aiheisiin pystyi kuitenkin syventymään osoitetun kirjallisuuden avulla, joka on yleensä englanninkielistä. Piilolinssihin keskittyvillä opintojaksoilla piilolinssisovitusten tekemistä harjoiteltiin luentojen lisäksi myös käytännössä, jolloin esimerkiksi pintavälin vaikutus piti osata määrittää käytännön tilanteissa.

## 4 Oppimateriaalin kokoaminen

Tuotekehitys jaotellaan neljään vaiheeseen: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Kehitysidea käynnistää projektin. Sen lisäksi tuotteelle täytyy olla selkeä tarve sekä toteuttamismahdollisuus. Luonnosteluvaiheessa keskitytään kehitysideoanalysointiin, asiatiedon hankintaan, ongelmien ratkaisemiseen sekä asetetaan tuotteelle tarkemmat vaatimukset ja tavoitteet. Lopuksi testataan valittuja ratkaisuja ja tehdään päätös parhaimmasta luonnoksesta. (Jokinen 2001: 14–18, 21–22.)

Kehittämisvaiheessa keskitytään ideoimaan vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ja paneudutaan tarkemmin tuotteen yksityiskohtiin. Ratkaisumallien löytäminen voi vaatia lisätiedon hankkimista ja syvällisempää tutustumista teoriaan. Viimeistelyvaiheessa kehitetystä tuotteesta voidaan valmistaa prototyyppi, jota testataan ja kehitetään tulosten perusteella yhä paremmaksi. Tuotannon aloittaminen ei päättä tuotekehitystyötä, sillä kehitystyön tulee olla jatkuvaa, jotta tuotteen kilpailukyky säilyy. (Jokinen 2001: 89–90, 96–99.)

Oppimateriaalin kokoaminen aloitettiin tuotekehitykselle tyypilliseen tapaan, sillä prosessi sai alkunsa kehitysideo syntymisestä. Tämän jälkeen määriteltiin kohderyhmän tarve ja luonnosteltiin sisältöä. Kun vaihtoehtoiset ratkaisumallit jäsentyivät ja kokonaisuus alkoi hahmottua, lähes valmiista versioista testattiin. Lopuksi oppimateriaalia kehitettiin ja viimeisteltiin saadun palautteen perusteella. Seuraavaksi on kuvattu tarvekartoitusta, oppaan sisällön muotoutumista ja lähes valmiin materiaalin kehitysvaihetta tarkemmin.

### 4.1 Tarvekartoitus

Oppimateriaalin suunnittelussa on lähdettävä liikkeelle opiskelijalähtöisesti. Kohderyhmän erityispiirteiden, motivaation ja resurssien selvittämisen kautta saadaan suunnattua materiaali mahdollisimman hyvin kohderyhmää palvelevaksi. Myös tieto sisällön tunteuksesta, oppimistaidoista ja koulutustaustasta auttaa kohdentamaan materiaalia paremmin. (Lindh – Parkkonen 2000: 148.) Tarvekartoituksella siis määritetään kohderyhmän tarpeet ja vaatimukset tuotetulle materiaalille.

Koulutuksen tueksi valmistettavan materiaalin suunnittelun taustalla on yleensä aina jonkinlainen oppimis- tai opettamiskäsitys. Se voi olla tiedostamaton tai omaan oppimiskokemukseen pohjautuva. (Manninen – Pesonen 2000: 63.) Tämän toiminnallisena

opinnäytetyönä tuotetun oppimateriaalin taustalla vaikuttivat hyvin vahvasti omat oppimiskäsityksemme. Tarve oppimateriaalin kokoamiselle tuli suoraan omasta kokemuksesta, sillä optiikan kursseilla käytössä olleet materiaalit olivat riittämättömiä. Opinnoissa tulee jatkuvasti uusia asioita, jotka linkittyvät aiempiin kursseihin ja niissä käsiteltyihin aihealueisiin. Mikäli tällöin olisi ollut käytössä jokin kokoava oppimateriaali, aiempien asioiden kertaus olisi ollut helpompaa.

Vaikka koimme kokoavan oppimateriaalin itse tarpeelliseksi, päätimme tehdä tarvekartoituksen opiskelijoille. Koska oppimateriaali suunnataan optometrian opiskelijoille ja erityisesti tietyillä opintojaksoilla käytettäväksi, tarvekartoituksen kohderyhmä valikoitui osittain optometrian opetussuunnitelman pohjalta. Tavoitteena oli tehdä tarvekartoitus ja valmiin oppimateriaalin testaaminen samalle ryhmälle.

Kysely suoritettiin syksyllä 2017 opintonsa aloittaneille opiskelijoille. He olivat suorittaneet kyselyn ajankohtaan mennessä *Geometrisen optiikan* ja *Silmälasiteknologian perusteiden* opintojaksot. Lisäksi he olivat juuri aloittamassa *Visuaalisen optiikan* opintojaksoa. Koska opintojaksojen suorittamisesta ei ollut vielä kulunut kovin paljon aikaa, arvelimme palautteenannon olevan näin helpompaa ja konkreettisempaa.

Laadimme tarvekartoitusta varten kyselylomakkeen (LIITE 1). Kysymykset koskivat *Geometrisen optiikan* ja *Silmälasiteknologian perusteiden* opintojaksoja. Lomake sisälsi kolme avointa kysymystä ja kolme monivalintakysymystä. Avoimilla kysymyksillä pyrittiin antamaan vastaajalle mahdollisuus selittää ja kuvailla omia näkemyksiään. Lomakkeen kysymyksillä kartoitettiin sitä, kuinka haastavia opiskellut asiat ovat olleet, millaisia oppimateriaaleja opiskelijoilla on ollut käytössään opintojaksojen aikana sekä miten ja mistä asioiden kertaaminen tarvittaessa onnistuu. Motivaatiota asioiden opiskeluun kartoitettiin kysymällä, miten tärkeiksi opiskelijat kokevat opintojaksojen sisällön työelämän kannalta. Lopuksi kysyttiin konkreettisia toiveita oppimateriaalin rakenteen ja sisällön suhteen. Vastaaminen suoritettiin nimettömästi.

Kyselylomake jaettiin opiskelijoille *Visuaalisen optiikan* oppitunnin alussa. Aika kyselyn suorittamiseen opiskelijaryhmälle sovittiin etukäteen opinnäytetyöohjaajamme Kaarina Pirilän kanssa, joka opetti kyseisellä opintojaksolla. Kyselystä ei tiedotettu etukäteen opiskelijoille.

Kyselyyn vastasi 27 opiskelijaa. Vastaukset analysoitiin ja niistä etsittiin yhtäläisyyksiä. Kysely osoitti, että opiskelijat kokevat opintojaksojen aihealueet haastaviksi, mutta samaan aikaan tärkeiksi tulevia opintoja ja työelämää ajatellen. Yksikään opiskelijoista ei vastannut kokevansa *Geometrisen Optiikan* opintojaksolla käsiteltäviä aiheita todella helpoiksi. Sen sijaan *Silmälasiteknologian perusteet* -opintojakso oltiin koettu pääosin melko helpoksi, eikä yksikään kyselyyn vastanneista ollut kokenut kyseisellä opintojaksolla käsiteltäviä asioita todella vaikeiksi. Kukaan ei kokenut, että opintojaksoilla käsiteltävien aiheiden hallitseminen olisi turhaa. Yllättävän moni kuitenkin valitsi tärkeyttä kartoittavaan kysymykseen vaihtoehdon en osaa sanoa. Tulos voi selittyä sillä, että vastanneilla opiskelijoilla oli takanaan vasta yksi lukukausi ammattiopintoja ja mahdollisesti vain vähän työkokemusta alalta. Kun omakohtainen kokemus puuttuu, mielipidettä asian tärkeydestä voi olla vaikea muodostaa.

Kyselystä kävi ilmi, että opintojaksoilla käytössä olevat materiaalit olivat olleet riittämättömiä opiskeltaviin kokonaisuuksiin nähden. Käytössä ovat pääosin opettajien tekemät luentomateriaalit, niiden esimerkkilaskut ja opiskelijoiden omat muistiinpanot. Lisäksi käytössä on sähköisiä oppimislustoja, kuten Moodle ja OMA, joihin teoriakokonaisuudet lisätään ja joiden kautta niihin pääsee tutustumaan sekä etukäteen että aiheiden käsittelyn jälkeen. Tästä syystä usea vastaaja kertoi, että käsiteltyihin asioihin palaaminen ja niiden kertaus tapahtuu pääosin sähköisten kurssimateriaalien sekä omien muistiinpanojen avulla. Osa koki kurssimateriaalien kuitenkin sisältävän niin paljon asiaa, että kertaaminen niiden avulla on vaikeaa. Monessa lomakkeessa painotettiin kertauksen olevan opintojen aikana helppoa, mutta kun materiaali poistuu tai opinnot päättyvät, siitä tulee haastavaa.

Tarvekartoituksen viimeiset kysymykset käsitelivät opiskelijoiden toiveita suunnitteilla olevan oppimateriaalin suhteen. Oppimateriaaliin toivottiin kattavasti teoriaa, kaavoja, havainnollistavia kuvia, tehtäviä sekä niiden vastauksia, mutta eniten esimerkkilaskuja. Lisäksi kaivattiin perusteluita asioiden tarpeellisuudelle ja havainnollistavia esimerkkejä teorian tueksi. Käsiteltäviksi aiheiksi toivottiin aberratioita, kuvautumista, linssin voimakkuuden määrittämistä, prismaa ja prismalaskuja. Myös erilaisten taittovirheiden vaikutuksista haluttiin laskuesimerkkejä. Opiskelijat toivoivat, että oppimateriaalista tulisi selkeä ja helposti ymmärrettävä kokonaisuus.



## 4.2 Oppimateriaalin sisältö

Ammattikorkeakoulussa opiskelu on osittain itsenäistä ja opiskelija on itse vastuussa siitä, että oppimista tapahtuu. Kun opiskelu tapahtuu ilman opettajan fyysistä läsnäoloa, on tärkeää, että opiskelijan oppimisprosessi on suunniteltu tarkkaan etukäteen. Silloin varsinkin oppimateriaalien rooli on keskeisessä asemassa. (Manninen – Pesonen 2000: 64.) Opinnäytetyönä tuotetun oppimateriaalin sisällön suunnitteluun vaikuttivat vahvasti optiikan ja silmälasiteknologian opintojaksojen sisällöt ja rakenteet sekä tarvekartoituksen yhteydessä esille nousseet kohderyhmän toiveet.

Oppimateriaali päätettiin aloittaa esipuheella, jossa lukijalle kerrotaan, kenelle materiaali on suunnattu ja mitä se käsittelee. Sisällön suunnittelu aloitettiin huolellisella opetussuunnitelmaan tutustumisella. Oppimateriaaliin eniten vaikuttavista opintojaksoista kerrottiin jo luvussa 3. Lisäksi tutustuimme omiin luentomuistiinpanoihin ja -materiaaleihin sekä opintojaksoilla käsiteltävien aihealueiden etenemisjärjestykseen. Tutustumisella selvitettiin, missä laajuudessa aiheita tulisi käsitellä ja mitkä niistä olisivat oleellisimpia osaksi oppimateriaalia.

Koska opintojaksoilla on paljon sisältöä ja oppimateriaalilla pyrittiin nimenomaan selkeyttämään asiakokonaisuuksia, aiheita oli rajattava. Tärkeintä oli kasata yhteen aiheet ja asiat, jotka toistuvat useita kertoja opinnoissa sekä ovat vahvasti läsnä työelämässä. Aluksi kaikki opintojaksojen aiheet kirjattiin ylös ja tämän jälkeen niitä karsittiin pois niin, että muun muassa optiikasta jäljelle jätettiin vain linssioptiikkaan liittyvät aiheet. Myös tarvekartoituksessa esille tulleet toiveet otettiin huomioon sisällön suunnittelussa. Kun aihealueet olivat kasassa, niitä alettiin jäsentää ja yhdistää isompiin kokonaisuuksiin. Oppimateriaalin tieto haluttiin järjestää johdonmukaisesti. Valikoidusta sisällöstä kasattiin sisällysluettelo, josta lukija hahmottaa materiaalin rakenteen ja pystyy näin siirtymään tarvittaessa helpommin etsimäänsä aiheeseen.

Sisältö jakautui kolmeen isompaan kokonaisuuteen: *Silmälasiteknologiaan*, *Optiikkaan* ja *Piilolinssioptiikkaan*. Jokaisen kokonaisuuden alle lisättiin pienempiä väliotsikoita, jotta hahmottaminen on helpompaa ja sisältö jäsentyy lukijalle paremmin. Osioissa paneudutaan aina yhteen aiheeseen tai aihekokonaisuuteen kerrallaan.

Oppimateriaalissa ensimmäisenä käsiteltävä aihekokonaisuus on *Silmälasiteknologia*. Siinä keskitytään silmälasikehysten ominaisuuksien läpikäymiseen sekä

ammattitietouden perusteisiin. Aluksi esitellään kehyksen osat ja kehysmerkinnät. Näiden jälkeen käydään tarkemmin silmälasilinssien asennuksen ja istuvuuden näkökulmasta kehyskaarevuuden, kaltevuuskulman ja pintavälin käsitteet sekä normaaliarvot läpi. Seuraavaksi käsitellään kehyksen keskiöväli, silmäteräväli ja linssiaukon halkaisija sekä esitellään, kuinka niiden avulla saadaan määritettyä tarvittavan linssin halkaisija. Osion loppuun on koottu yhteen yleisimmät silmälasireseptimerkinnät.

*Optiikan* aihekokonaisuus on oppimateriaalin laajin. Kokonaisuudessa käydään ensimmäisenä läpi valon käsite ja sen erilaiset tarkastelunäkökulmat. Lisäksi tutustutaan valonsäteiden kulkuun. Seuraavaksi määritellään aineen taitekerroin ja sen vaikutus valon taittumiseen Snellin lain kautta. Kun valon taittuminen ja heijastuminen on käsitelty, ne yhdistetään valon polarisaatioon ja interferenssiin. Valon polarisaatiossa keskitytään polarisoitumattoman ja polarisoidun valon käsitteisiin. Interferenssiä käsitellään kalvopinnoilta tapahtuvan heijastuksen näkökulmasta.

Kokonaisuus jatkuu taittovirheiden eli ametropioiden käsittelyllä. Tämän jälkeen kerrotaan, miten ohuen linssin taittovoima muodostuu ja kuinka se on laskettavissa. Koska pinnanmuodot ovat osa taittovoimaa, seuraavaksi käsitellään tarkemmin erilaisia pinnanmuotoja. Voimakkuuden käsitystä laajennetaan tämän jälkeen käsittelemällä hajataitteista silmää, toorista linssiä ja toorisen linssin voimakkuutta.

Seuraavaksi siirrytään käsittelemään kuvautumista ja kuvanmuodostumista. Ohuen linssin kuvanmuodostusta kuperalla tai koveralla linssillä havainnollistetaan ensin piirrosten avulla. Tämän jälkeen käydään laskennalliset menetelmät läpi Gaussin kuvausyhtälön ja sivusuurennoksen avulla. Lisäksi esineen ja muodostuneen kuvan suhdetta sekä siihen vaikuttavia tekijöitä käsitellään vielä enemmän kuvasuurennoksen yhteydessä.

Näiden jälkeen selitetään prisman käsite, yksikkö ja prismavaikutus. Prismalinssin hyödyntämistä käsitellään karsastusten, linssien asemoinnin ja merkintätapojen kautta. Mukana on myös suhteellinen prismavaikutus ja desentraatiolla aikaan saatu prismavaikutus. Viimeisenä yhdistetään erisuuntaisia prismavaikutuksia ja ohjeistetaan vinon prisman määrittämiseen.

Optiikkaa käsittelevän osuuden lopussa on tietopaketti aberraatioista eli kuvautumisvirheitä. Osiossa kerrotaan yleisimmät kuvautumisvirheet sekä niiden vaikutukset

näönlaatuun ja mahdolliset keinot virheiden minimoimiseen. Viimeisenä käsitellään näköalueiden ja akkommodaation yhteyttä erilaisilla taittovirheillä tai linssityypeillä.

Oppimateriaalin viimeisenä käsiteltävä aihekokonaisuus on *Piilolinssioptiikka*. Osio alkaa piilolinssimerkintöjen esittelyllä. Koska piilolinssijä käsitellään paksuina linseinä, seuraavaksi määritetään paksun linssin voimakkuus ja sen muodostuminen. Sitten perehdytään pintavälin vaikutukseen ja sen huomioimiseen piilolinssien sovituksessa. Sen jälkeen käydään läpi sfäärinen ekvivalentti sekä toorisen linssin kiertymisen huomiointi. Lopuksi perehdytään sarveiskalvon keratometriarvoihin.

Aiheiden käsittelyn jälkeen on kaavakokoelma, joka kokoaa yhteen kaikki oppimateriaalin kaavat. Tämän jälkeen on tehtäviä kaikista materiaalin aiheista, jotka sisältävät laskennallisia osuuksia. Oppimateriaalin lopussa on tehtävien vastaukset, jotta lukija pystyy tarkastamaan, onko saatu tulos oikea. Tehtävistä kasattiin myös erillinen tiedosto, joka sisältää ratkaisut välivaiheineen, mutta sitä ei liitetty osaksi oppimateriaalia. Tiedosto luovutettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun opettajille opetuskäytössä hyödynnettäväksi.

Ammattikorkeakoulussa opiskelu edellyttää lukion oppimäärän, ylioppilastutkinnon, laissa määritellyn ammatillisen koulutuksen tai ulkomaisen koulutuksen suorittamista (Ammattikorkeakoululaki 932/2014 § 25). Koska oppimateriaali on suunnattu optometrian opiskelijoille ja opinnot ovat ammattikorkeakoulutasoisia, hallussa olevana tietopohjana pidettiin lain mukaista perusopetuksen opetussuunnitelmaa. Perusopetuksen matematiikan opetukseen sisältyy erilaiset laskutoimitukset reaali- ja murtoluvuilla, yhtälönratkaisu eri menetelmin, prosenttiluvun käsite, neliöjuuri, Pythagoraan lause, potenssilaskut ja trigonometriset funktiot (Opetushallitus 2014: 375–376). Oppimateriaalin sisällössä on paljon kaavoja ja laskuja, joiden ratkaiseminen vaatii edellä mainittujen asioiden hallitsemista. Koska asiat kuuluvat kuitenkin jo perusopetuksen opetussuunnitelmaan, niitä ei käydä oppimateriaalissa tarkemmin läpi, vaan niiden oletetaan olevan jo entuudestaan hallussa.

Oppimateriaalin sisällön tulee olla oppimisen kannalta merkityksellistä ja oikeellista (Opetushallitus 2006: 16–17). Vaikka sisällön suunnittelussa ja erityisesti rajauksessa käytettiin apuna opetussuunnitelmia ja omia kokemuksia opintojen ajalta, kaikki oppimateriaalin tieto on asiapohjaista. Lähteenä käytettiin paljon huolella valittua kirjallisuutta ja nettilähteitä. Kaikki käytetyt lähteet koottiin luetteloksi oppimateriaalin loppuun.

### 4.3 Oppimateriaalin testaaminen

Oppimateriaalin tekijä sokeutuu helposti tuottamalleen sisällölle ja sen virheille. Tämän vuoksi materiaalia on hyvä testata laatimisprosessin eri vaiheissa tai viimeistään, kun tuotos on lähes valmis. Tällöin kannattaa kiinnittää huomioita käytettävyyteen ja kohdentaa kysymykset kehitystyön kannalta oleellisiin asioihin. Näitä ovat esimerkiksi luettavuus, ohjeistus, navigointi ja selkeys. (Lindh - Parkkonen 2000: 157–158.)

Koska oppimateriaali käsittelee optiikkaan, silmälasiteknologiaan ja piilolinssihin keskittyvien opintojaksojen aiheita, oli tärkeää saada kyselyyn vastaajat valittua niin, että heillä on kokemusta mahdollisimman monista opintokokonaisuuksista. Kohderyhmäksi valikoitui keväällä 2016 opintonsa aloittaneiden opiskelijaryhmä, sillä heillä oli takanaan kaikki optiikkaa käsittelevät opintojaksot sekä *Piilolasien sovittamisen perusteet* -opintojakso. Näin he osaisivat ottaa kantaa myös oppimateriaalin *Piilolinssioptiikka* -osioon. Lisäksi halusimme testata oppimateriaalia tarvekartoituskyselyyn vastanneilla eli syksyllä 2017 opintonsa aloittaneilla opiskelijoilla.

Oppimateriaalin testaus suoritettiin sähköisesti. Sähköiseen testausmuotoon päädyttiin, koska tuotettu materiaali on erittäin laaja kokonaisuus ja siihen huolellisesti tutustuminen vei aikaa. Näin paikan päällä suoritettava testaus olisi vaatinut todella paljon aikaa, vaikka varsinaiseen kyselyyn vastaaminen olisikin ollut nopeaa. Lisäksi aikataulu kyselyn suorittamiselle oli tiukka.

Kysely suoritettiin Google Forms -sovelluksen avulla. Se on Google Driven palvelupakettiin kuuluva verkkokyselyiden luomiseen kehitetty sovellus (Silmälä 2018). Kysely laadittiin kymmenestä kysymyksestä (LIITE 2). Monivalintakysymykset olivat väittämämuotoisia ja niihin vastattiin valitsemalla neljästä vaihtoehdosta se, joka kuvaa parhaiten väittämän paikkansapitävyyttä. Väittämät olivat aina positiivisia. Ne koskivat sisältöä, kattavuutta, ulkoasua, rakennetta ja hyödyllisyyttä. Kahdella avoimella kysymyksellä kartoitettiin kohderyhmän mielipidettä oppimateriaalin sisällöstä ja koko kokonaisuudesta. Osittain keskeneräinen oppimateriaali ja linkki sähköiseen kyselyyn lähetettiin sähköpostin kautta valikoiduille kahdelle opiskelijaryhmälle. Aikaa materiaaliin tutustumiseen ja kyselyyn vastaamiseen oli viisi päivää.

Kyselyyn saatiin 11 vastausta. Viisi vastausta oli tarvekartoituksen suorittaneilta opiskelijoilta. Kaikki annetut vastaukset olivat esitettyjen väittämien kanssa jokseenkin tai täysin

samaa mieltä. Avoimissa kysymyksissä toivottiin kaavakokoelman lisäämistä oppimateriaalin loppuun. Lisäksi toivottiin jonkinlaista taulukko- tai kuvamuotoista tärkeimmistä asioista koostuvaa koontia työn loppuun. Koonnin aiheiksi esitettiin iän mukaisia akkomodaatiolaajuuksia, prisman astekaaviota ja piilolinssien pintavälimuutoksia. Sisältöön toivottiin lisäksi korkeamman asteen aberraatioita ja ehdotettiin esimerkkilaskujen kaavojen fonttikoon suurentamista. Oppimateriaalia pidettiin selkeänä ja yksinkertaisena kokonaisuutena.

Oppimateriaalia muokattiin saadun palautteen perusteella. Kaavojen fonttikokoa suurennettiin ja loppuun lisättiin kaavakokoelma kaikista laskukaavoista. Taulukon tai kuvien muodossa olevaa koontia toivotuista aiheista ei lisätty osaksi oppimateriaalia, sillä samat asiat ovat jo osana teoriaa. Koimme myös, että koonnin yhteyteen olisi pitänyt lisätä hie-man teoriaa, jotta aiheet olisivat olleet helpommin ymmärrettävissä. Tällöin materiaaliin olisi kuitenkin tullut turhaan toistoa. Oppimateriaali sisälsi testausvaiheessa jo kattavan paketin aberraatioista. Koska halusimme pitää teoriaosuuden mahdollisimman tiiviinä, emme lisänneet muita aberraatioita osaksi kokonaisuutta.

## 5 Oppimateriaalin ulkoasu

Tavoitteena oli saada oppimateriaalista aikaan kokonaisuus, joka tukee asioiden oppimista ja vastaa kohderyhmän tarvetta. Jokainen oppii ja sisäistää uusia asioita eri tavalla, joten erilaiset oppimistyyli on otettava huomioon kattavaa oppimateriaalia kootessa. Tämän vuoksi pohdimme tarkkaan oppimateriaalin ulkoasua sisällön suunnittelun lisäksi.

Oppimateriaalin kokonaisuuden muotoutumiseen vaikuttavat monet eri tekijät, jotka pätevät kaikissa oppimateriaaleissa. Seuraavaksi käsitellään erilaisia oppimistyyliä ja sitä, miten ne ovat vaikuttaneet rakentamamme oppimateriaalin rakenteeseen. Lopussa käydään läpi millaisia vaatimuksia verkossa julkaisu asettaa materiaalille sekä sen ulkoasulle.

### 5.1 Erilaiset oppimistyyli

Oppimistyyli on jokaisen ihmisen henkilökohtainen tapa käyttää erilaisia aistikanavia, oppimisstrategioita ja opiskelutapoja käsiteltävän asian oppimiseksi. Jokaisen ihmisen oppimisen tulokseen vaikuttaa vahvasti myös itse oppimisprosessi. Prosessi kuvaa opiskelijan tapaa lähestyä annettua tehtävää ja yritystä suoriutua siitä. Osana opetusta on tärkeää kiinnittää huomiota siihen, miten opiskelija suhtautuu aiheeseen ja annettuihin tehtäviin. Opiskelijan ajatus siitä, mitä opetettava asia hänelle merkitsee, luo pohjan sille, miten hän aikoo siitä suoriutua. Mielenkiintoisella ja opiskelijaa motivoivalla opetuksella saadaan aikaiseksi parempia oppimistuloksia. Opetuksen mielekkyyttä saadaan lisättyä selkeällä ja oppimista tukevalla oppimateriaalilla, joka palvelee mahdollisimman monipuolisesti erilaisia oppijoita. (Leino – Leino 1990: 32–33.)

Jokaisen opiskelijan käyttämä oppimistyyli tulee yleensä luonnostaan ja se voi olla sekoitus useammasta eri tyylistä. Opiskelija lähtee yleensä tiedostamattaan toteuttamaan tietynlaisia omaa oppimista tukevia tapoja. Hyvin itseohjautuvalle opiskelijalle oppimistyyli on kuitenkin täysin tietoinen valinta. Itseohjautuvat opiskelijat pystyvät muokkaamaan omaa oppimistyyliään jokaiseen tehtävään sopivaksi, jotta he saavat opittavasta asiasta suurimman hyödyn irti. (Leino – Leino 1990: 32–33.)

Aistit ovat vahvasti yhteydessä oppimistyyliihin, sillä aistien avulla havainnoidaan ympäristöä ja prosessoidaan opittua tietoa. Eri aisteja hyödynnetään enemmän eri

oppimistyyliissä ja jokaisella on omat aistivahvuutensa. Näiden kautta oppiminen tapahtuu helpoiten. Kuitenkin vaikka opiskelija oppisi parhaiten visuaalisesti näköaistin avulla, se ei tarkoita sitä, että hän ei oppisi muilla aisteilla lainkaan. (Hämäläinen – Koponen 2010: 5–6.)

Oppimista tukevat aistikanavat voidaan jakaa karkeasti neljään osaan: visuaaliseen, auditiiviseen, kinesteettiseen ja taktiliseen. Visuaalinen oppija oppii parhaiten näköaistin avulla. Hänelle asiat painuvat mieleen kuvina ja oppimisessa tärkeää ovat kuvat, värit sekä mielikuvat. Auditiiviselle oppijalle kuuloaisti on tärkeä. Hän muistaa oppitunnilla käydyt keskustelut, puheen ja erilaiset äänensävyt. Kinesteettisellä oppijalla on yleensä todella hyvä kehomuisti, jonka avulla hän palauttaa mieleen opittuja asioita. Hänelle oppiminen perustuu kehon liikkeeseen ja kosketukseen. Taktilisen oppijan oppiminen tapahtuu käsin tehtävien asioiden kautta. Hänelle tiedon hankinta tapahtuu käsin kosketelun kautta ja sen vuoksi tärkeitä oppimisen apuvälineitä ovat muistiinpanot, materiaalien koristelu sekä askartelu. (Hämäläinen – Koponen 2010: 6–7.)

Ymmärrys erilaisista oppimiseen vaikuttavista tekijöistä vaikutti rakentamamme oppimateriaalin ulkoasuun ja rakenteen suunnitteluun. Oppimateriaali rakennettiin eri oppimistyyliä huomioiden niin, että mahdollisimman moni hyötyy siitä opinnoissaan. Perinteinen ammattikorkeakoulun opetustyyli on luentopohjainen, jossa opiskelijat kuuntelevat aihetta esittelevää opettajaa. Tällainen opetustyyli palvelee parhaiten auditiivisia ja taktilisia opiskelijoita, jotka sisäistävät opetuksen kuuntelun ja muistiinpanojen avulla. Opetus ei tue visuaalisen oppijan oppimista, ellei opettaja käytä luennon tukena selittäviä kuvia tai kaavioita.

## 5.2 Oppimateriaalin rakenne

Yhtenä verkossa julkaistavan oppimateriaalin tärkeimmistä ominaisuuksista pidetään vuorovaikutteisuutta. Oppimateriaali on kurssin aikana osa opiskelijan ja opettajan välistä vuorovaikutteisuutta. Sen avulla opiskelijaa kannustetaan oppimaan itsenäisesti, mutta asioita voidaan käydä läpi myös yhdessä. Oppimateriaali luo kokonaisuuden teorian, tehtävien, vastausten ja selitysten kautta. (Lindh – Parkkonen 2000: 154–155.) Tämän vuoksi hyödynsimme oppimateriaalissa näitä elementtejä.

Oppimateriaalin rakenteesta haluttiin muodostaa oppikirjamainen ja selkeä. Aluksi silmäilimme vanhoja oppikirjoja, jotta saimme käsityksen siitä, mitä tunnusomaisia piirteitä

niissä ilmenee. Oppikirjoista inspiroituneena aloimme käyttää oppimateriaalin etenemisessä yhtenäistä kaavaa. Materiaali koottiin yhdeksi kokonaisuudeksi Microsoft Wordissa. Oppimateriaalin rakenteelle on suosituksena, että yksi aihekokonaisuus olisi esitetty yhdellä sivulla tai aukeamalla. Alussa on ensin teoriaosuus, jonka teksti on tiivistä, lyhyttä ja ytimekästä. Turhia täytesanoja ja toistoja on vältettävä, jotta tekstin lukeminen on sujuvaa. Tekstin liiallista tiivistämistä on kuitenkin varottava, jotta opittavan asian ymmärrettävyys ei kärsi. Teoriaa voidaan havainnollistaa kuvien avulla. Ne tuovat oppimateriaalin sivuille elävyyttä sekä tekevät siitä lukijalle houkuttelevamman kokonaisuuden. Lisäksi kuvat auttavat visuaalisen oppijan oppimisprosessia. (Lindh – Parkkonen 2000: 156.)

Toiset opiskelijat omaksuvat tietoa parhaiten tekemällä. Tätä kutsutaan learning-by-doing- menetelmäksi. (Lindh – Parkkonen 2000: 155–156.) Tuotettuun oppimateriaaliin lisättiin teorian ja kuvien lisäksi erilaisia tehtäviä vahvistamaan oppimista. Teoriaa pyrittiin selkeyttämään käytännön sovellusten avulla. Näin materiaaliin saatiin toivottua käytännölläisyyttä. Tärkeitä asioita pyrittiin korostamaan tehostelaatikoilla ja puhekuplilla. Erilaisten elementtien käyttäminen oppimateriaalissa on harkittu tarkkaan ja niiden tärkein tehtävä on tehostaa oppimista. (Lindh – Parkkonen 2000: 155–156.)

Lyhyen ja ytimekkään kieliäsen lisäksi monet muut tekijät vaikuttavat tekstin selkeyteen. Tekstin ulkoasussa on tärkeää kiinnittää huomiota fonttiin, palstojen leveyteen, korostuksiin sekä riviväleihin. (Lindh – Parkkonen 2000: 156.) Käytimme samaa fonttia läpi koko oppimateriaalin. Fontiksi valikoitui Calibri ja teoriaosuuksien fonttikooksi 11. Isoissa pääotsikoissa käytimme fonttikokoa 36 ja alaotsikoissa fonttikokoa 20. Verkkomateriaalissa pidetään tärkeänä kiinnostavaa otsikointia, joka johdattaa opiskelijan materiaalin sisältöön sekä aiheiden opiskelun pariin (Lindh – Parkkonen 2000: 156). Rakentamamme oppimateriaalin otsikot ja alaotsikot ovat käsiteltävien aiheiden nimiä. Selkeiden otsikoiden avulla opiskelija saa kokonaiskuvan oppimateriaalista jo pelkän sisällysluettelon avulla (Lindh – Parkkonen 2000: 156).

Heti oppimateriaalin sisällysluettelosta selviää, että se on jaoteltu kolmeen isoon osioon: *Silmälasiteknologiaan*, *Optiikkaan* ja *Piilolinssi-optiikkaan*. Oppimateriaalin osiot erotetaan toisistaan käyttämällä kussakin osiossa omaa teemaväriä. Sivunumerot on asetettu sivujen ulkoreunaan ja ne ovat teemavärin mukaisella pohjalla. *Silmälasiteknologian* osuus on oranssi, *Optiikan* vihreä ja *Piilolinssi-optiikan* sininen. Värit auttavat lukijaa hahmottamaan, minkä kokonaisuuden alle mikäkin aihe kuuluu. Väreillä on lisäksi



havaittu olevan myös psykologisia vaikutuksia oppimiseen. Värien eri sävyt tuovat ulkoasuun esteettistä ilmettä, mutta ne luovat myös monia miellelyhtymiä, joilla on positiivinen vaikutus oppimiseen. Vaaleat sävyt mielletään rentoina ja rauhoittavina, kun taas tummat sävyt luovat vahvuuden ja luotettavuuden tunnetta. (Chapman 2010.) Yhdistelimme oppimateriaalisamme värien eri sävyjä. Oppimateriaalin otsikot ovat voimakkaan värisiä, jotta ne erottuvat selkeästi. Tehostelaatikoiden ja puhekuplien taustaväri on vaalealla sävyllä, jotta teksti niiden sisällä erottuu helposti.

Oranssi väri valittiin aloittavaksi väriksi, sillä sitä pidetään energisenä ja iloisena (Chapman 2010). Optiikan osuuden vihreä väri edustaa luontoa. Lisäksi vihreä väri koetaan usein myös auktoriteettisena värinä. (Chapman 2010; Cullen – Peterson 2000: 10, 64.) Vihreän voi ajatella korostavan optiikan hallitsemisen tärkeyttä. Piilolinssi-optiikassa käytettyyn siniseen väriin on liitetty ajatuksia luotettavuuteen, mielenrauhaan, tyytyväisyyteen sekä vastuullisuuteen. (Cullen – Peterson 2000: 10,64.) Pehmeiden piilolinssien käsittelyvärinä käytetään usein sinistä, minkä vuoksi sininen väri voidaan yhdistää piilolinssihin. Oppimateriaalia kootessamme tajusimme värien järjestyksen liittyvän myös oleelliseen optiikan ilmiöön. Värit vaihtuvat spektrin mukaan värijärjestyksessä pidemmästä aallonpituudesta lyhyempään (Hietanen – Visuri – Nyberg 2009: 264).

Vaikka oppimateriaali on pääasiassa tarkoitettu sähköiseen muotoon, on sen rakenteessa otettu huomioon myös tulostusmahdollisuus. Opiskelijan tulee halutessaan voida tulostaa koko materiaali tai vain osia siitä. Oppimateriaalin sivut on suunniteltu A4-kokoisiksi ja fontit on valittu sen mukaan. Kun oppimateriaali on alun perin suunniteltu noudattamaan tätä kokoa, aseteltu pysyy tulostettuna oikeanlaisena. Issuu-julkaisualustalla materiaalia tarkasteltaessa näkymää voidaan kuitenkin suurentaa tarvittaessa.

Oppimateriaalin kansisivu tehtiin verkossa toimivalla grafiikka- ja kuvankäsittelyohjelmalla Canvalla. Ohjelman tarkoitus on tarjota käyttäjälleen helppo ja yksinkertainen tapa luoda graafisia kokonaisuuksia. Ohjelman perusversio on käyttäjille maksuton, mutta ammattimaiseen ja vaativaan käyttöön on vuonna 2015 julkaistu maksullinen Canva for Work -versio. (Silmlä 2017a.) Canvan materiaalipankki sisältää yli miljoona erilaista kuvaa ja fonttia. Materiaalien käyttö on vapaata ja rajatonta käyttöoikeusehtojen puitteissa. Canvassa tehdyn tuotoksen voi ladata tietokoneelle muun muassa JPG-muodossa. (Canva 2018a; Canva 2018b.)

Canva mahdollisti oppimateriaalin kokonaisuutta tukevan kansisivun luomisen. Wordin tarjoamat kansisivuvaihtoehdot ovat hyvin pelkistettyjä, minkä vuoksi niiden avulla ei herätetä yhtä tehokkaasti lukijan kiinnostusta. Kansisivu luo kuitenkin ensivaikutelman materiaalista lukijalle. Kansisivun grafiikoissa on käytetty samaa värimaailmaa kuin oppimateriaalin sisällössä, jotta kokonaisuus on yhtenäinen ja selkeä. Päädyimme käyttämään graafisia muotoja, koska ne sopivat hyvin yhteen oppimateriaalin matemaattisen aihepiirin kanssa. Tuotos ladattiin Canvasta JPG-tiedostomuodossa, joka oli helppo liittää Wordissa koottuun oppimateriaaliin.

Oppimateriaalin kuvista saimme juuri sellaisia kuin halusimme tekemällä kuvat itse. Optiikkaa käsittelevät kuvat ovat monesti vaikeita ymmärtää, sillä ne sisältävät niin paljon yksityiskohtia. Kuvien tarkoituksena on havainnollistaa oppimateriaalin teoriaa ja näin vahvistaa oppimisprosessia. Piirtämämme kuvat ovat hyvin yksinkertaisia ja pelkistettyjä, jotta ne ovat helposti ymmärrettävissä. Pyrimme käyttämään samaa aihetta kuvaavissa kuvissa samanlaisia teemoja ja värejä, jotta lukijan on helppo linkittää asiat toisiinsa.

Oppimateriaalia luodessa tuottajan tulee noudattaa tietosuojaa ja tekijänoikeuksia koskevia lainsäädäntöjä. Opetushallituksen ohjeistuksen mukaan oppimateriaalin tuottamisessa ei saa käyttää lakia rikkovaa aineistoa. (Opetushallitus 2006: 26.) Lakia ei rikota, sillä olemme piirtäneet kaikki oppimateriaalin kuvat itse. Tekemiemme kuvien mallina hyödynsimme kuitenkin käytetyissä lähteissä olevia kuvia. Tämä ei riko tekijänoikeuslakia, sillä uuden ja itsenäisen teoksen tekijänoikeudet eivät riipu alkuperäisteoksen tekijänoikeuksista (Tekijänoikeuslaki 401/1961 § 4).

Kuvat piirrettiin Paint.net sovelluksella. Kyseessä on ilmainen kuvanmuokkausohjelma, jonka saa ladattua Windows-käyttöjärjestelmän omaaville tietokoneille. Valmiit kuvat saatiin tallennettua JPG-muotoon. Sovellusta on mahdollista käyttää suomeksi ja se on suunniteltu hyvin yksinkertaiseksi, jolloin aikaa ei tuhlaantunut ohjelman käytön opetteluun. Sovelluksen suurin hyöty oli se, että kuvia pystyi piirtämään eri tasoja hyödyntäen, jolloin kuva pystyttiin rakentamaan pienistä osista kerrallaan. (Ruokamo n.d.) Kun verkossa julkaistavassa oppimateriaalissa käytetään kuvia, tulee niiden teossa huomioida verkon asettamat rajoitukset. Opiskelijoilla on käytössään erilaisia ja eritasoisia älylaitteita, joten tämä oli huomioitava kuvien tekemisessä. Käyttökelpoisimmat kuvat ovat tiedostona mahdollisimman vähän tilaa vieviä sekä nopeasti latautuvia. (Lindh - Parkkonen 2000: 156.)

### 5.3 Issuu julkaisualustana

Verkko-oppimateriaali on sähköisessä levityksessä oleva kokonaisuus, jonka sisältö on tarkoitettu opetus- ja opiskelukäyttöön. Materiaalin julkaiseminen verkossa mahdollistaa laajemmat hyödyntämismahdollisuudet verrattuna siihen, että aineisto olisi vain opettajan hallussa. Laajempaan levitykseen tulevaa oppimateriaalia tehtäessä tulee olla tarkkana tekijänoikeuksien sekä käyttöoikeuksien kanssa. Varsinkin oppimateriaalissa, joka sisältää tekstin lisäksi paljon kuvia, tulee huolehtia siitä, että lähteet on merkitty huolellisesti näkyviin. (Opetushallitus 2006: 9, 26, 27.)

Verkossa julkaistavassa materiaalissa on tärkeää, että aiheet ja sisältö on esitetty lukijaa houkuttelevalla tavalla. Tietokoneen ruudulta lukeminen on vaikeampaa kuin konkreettisesti paperilta. Käytettävän kirjasinkoon tulee olla niin suurta, että tekstiä pystyy lukemaan myös sellaiset ihmiset, joilla ei ole täydellistä näkökykyä. Verkossa on usein onneksi mahdollisuus suurentaa tekstiä haluamansa kokoiseksi. Tekstin tulee olla lyhyttä ja ytimekästä, jotta sen voi sisäistää helposti. Pitkästi kirjoitettu teksti ei herätä lukijan kiinnostusta. Siksi tekstit on hyvä jakaa pienempiin osiin kappalejakojen, alaotsikoiden sekä luetteloiden avulla. Tekstiosuuksissa voi myös käyttää sanojen korostusta, jotta tärkeimmät kohdat huomataan pelkästään silmäilemällä. Luettavuutta helpottaa myös tekstin korostaminen taustasta. Tämä onnistuu huomioimalla kontrastit. Luettavuus on parhaimmillaan, kun teksti on mustaa ja tausta valkoinen. Taustaväriksi on hyvä valita yksi ainoa väri. Taustakuvio häiritsee silmän kykyä erotella kirjainten ääri viivoja ja muotoja, jolloin tekstin silmäiltävyys vaikeutuu. (Lindh – Parkkonen 2000: 155–156; Nielsen 2000: 101, 125–126.)

Päädyimme julkaisemaan oppimateriaalimme verkossa, jotta se tavoittaa mahdollisimman suuren lukijakunnan. Optometriaa voi opiskella suomen kielellä Metropolia Ammattikorkeakoulun lisäksi Oulun Ammattikorkeakoulussa, joten materiaali on tarvittaessa saatavilla myös heidän opiskelijoilleen. Lisäksi se tavoittaa verkossa paremmin työelämässä olevat optikot. Heidän on helppo palata oppimateriaalin avulla optiikan asioihin. Koska oppimateriaalimme ensisijainen käyttäjäryhmä on alan opiskelijat, halusimme sen palvelevan mahdollisimman hyvin kohderyhmäänsä. Nykymaailma on hyvin digitalisoitunut, joten älylaitteiden kanssa päivittäin tekemisissä olevien opiskelijoiden on helppo hyödyntää oppimateriaalia aina tarvittaessa. Verkkojulkaisu on myös painettua teosta halvempi toteutustapa, sillä oppimateriaalin painattaminen paperiversioksi maksaa. Verkossa on paljon tämän kaltaisille töille suunnattuja ilmaisia julkaisualustoja.

Issuu on johtava digitaalinen julkaisualusta, joka perustettiin vuonna 2006 Tanskassa. Sivuston tarkoituksena on tarjota käyttäjilleen mahdollisuus jakaa sekä selailta erilaisia tuotoksia, kuten lehtisiä ja kuvastoja. Kuka tahansa voi lukea tai ladata sivuston julkaisuja, mutta jotta käyttäjä pystyy hyödyntämään palveluita laajemmin, hänen on luotava oma käyttäjätunnus itselleen. Käyttäjätunnuksen voi myös liittää omaan Facebook-, Google+ tai LinkedIn -profiiliin. (Silmälä 2017b; Issuu Help Center 2017.)

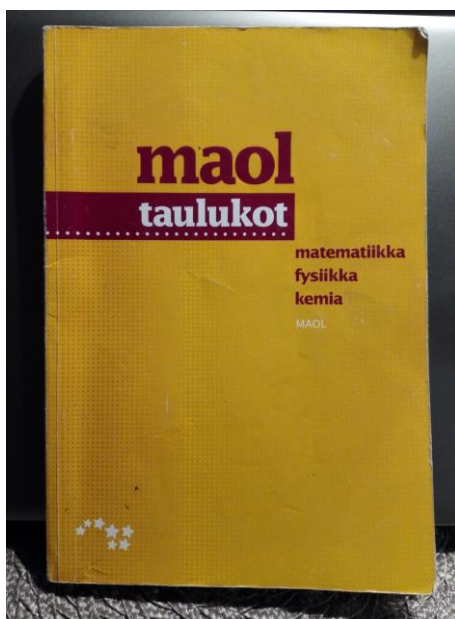
Issuu-sivusto tarjoaa käyttäjilleen neljä eri tasoista pakettia, joista perustaso on käyttäjilleen ilmainen. Halutessaan voi hankkia lisäominaisuuksia nostamalla käyttäjätasoaan, josta seuraa määrätyn suuruinen kuukausimaksu. Lisäominaisuuksiin kuuluvat esimerkiksi mahdollisuus tuotoksen upottamiseen omalle verkkosivulleen sekä itsenäinen verkko-osoite. Palvelulla on kuukausittain lukematon määrä katselukertoja sekä miljoonia käyttäjiä. Julkaisu voidaan ladata sivustolle esimerkiksi Microsoft Word (DOC), Microsoft PowerPoint (PPT) tai PDF -tiedostona. Kun dokumentti on ladattu sivustolle, se julkaistaan minuuteissa kaikkien nähtäväksi. (Silmälä 2017b; Issuu Help Center 2017.)

Issuu-sivusto valikoitui nopeasti oppimateriaalin julkaisualustaksi, sillä sitä on käytetty hyödyksi jo useammassa optometrian opinnäytetyössä ja käyttökokemukset ovat olleet positiivisia. Issuu-palvelussa on myös jo useamman vuoden ajan julkaistu Metropolia Ammattikorkeakoulun optometristiopiskelijoiden tuottama Visus-lehti, joten kyseisen sivuston on todettu olevan helppo tapa saada tämän kaltaiset tuotokset sähköisesti saataville. Koska Issuu-sivusto tukee niin monia erilaisia tiedostomuotoja, on sinne helppo ladata materiaalia ilman, että tuotoksen ulkoasu muuttuu. Tällöin oppimateriaali saadaan esille juuri sellaisena kuin se halutaan. Oppimateriaalin jakaminen verkossa mahdollistaa sen, että se on helposti kaikkien alan toimijoiden saatavissa. Koska sivusto on lukijalleen ilmainen, se ei aseta rajoitteita oppimateriaalin hyödyntämismahdollisuuksiin. Oppimateriaali on myös helppo muuttaa toiseen tiedostomuotoon, kuten PDF-tiedostoksi, jonka voi tulostaa tarvittaessa.

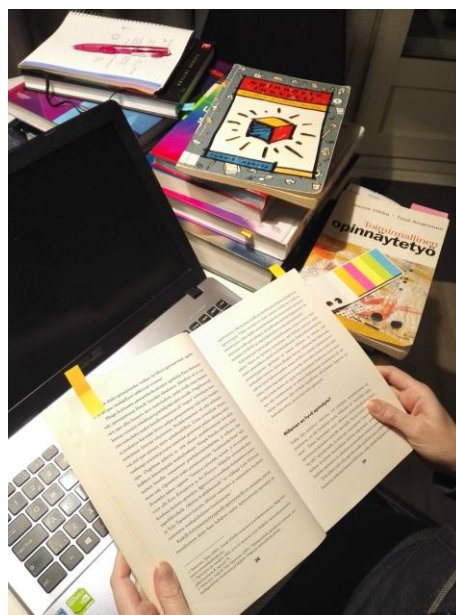
## 6 Projektin eteneminen

Idea opinnäytetyölle saatiin keväällä 2017. Silloin syntyi ajatus, että haluamme tehdä opinnäytetyön optiikkaan liittyen. Ideaa kysyttiin pitkään ja varsinainen projektin tarkoitus muotoutui vasta seuraavana syksynä. Alkuperäinen idea oli tuottaa opas optiikasta työelämää varten. Otimme yhteyttä muutamaani eri linssivalmistajaan ja kyselimme heidän käsitystään työelämän optikoiden optiikan tietämyksestä. Tarkoituksena oli tehdä taustatyötä ja kartoittaa optiikan oppaan tarpeellisuutta. Saimme vastauksia kuitenkin vain yhden. Samaan aikaan opinnäytetyöohjaajamme Kaarina Pirilä toi ilmi ja korosti, miten vaikeaa optiikan opiskelu on uusille optometrian opiskelijoille. Toteutustapa jäsenyi, kun päätimme suunnata optiikan oppaan optometrian opiskelijoille. Samaa opasta voisi kuitenkin hyödyntää myös työelämässä.

Projektin alussa käytimme opinnäytetyöstä työnimeä Optikon MAOL. Ideana oli valmistaa samantyyppinen kokonaisuus kuin lukiossa käytössä oleva MAOL-taulukot –kirja, johon on koottu kaikki lukion matematiikan, kemian ja fysiikan laskukaavat (Leinonen 2005). Optikon MAOL sisältäisi kaikki optikon tarvitsemat matemaattiset kaavat ja ne olisivat helposti löydettävissä. Projektin edetessä oppaan sisältöä päätettiin kuitenkin laajentaa niin, että se käsittelisi kaavojen lisäksi myös lyhyesti teoriaa. Samalla työtä alettiin käsitellä oppimateriaalina. Työn varsinainen nimi muotoutui vasta projektin loppupuolella.



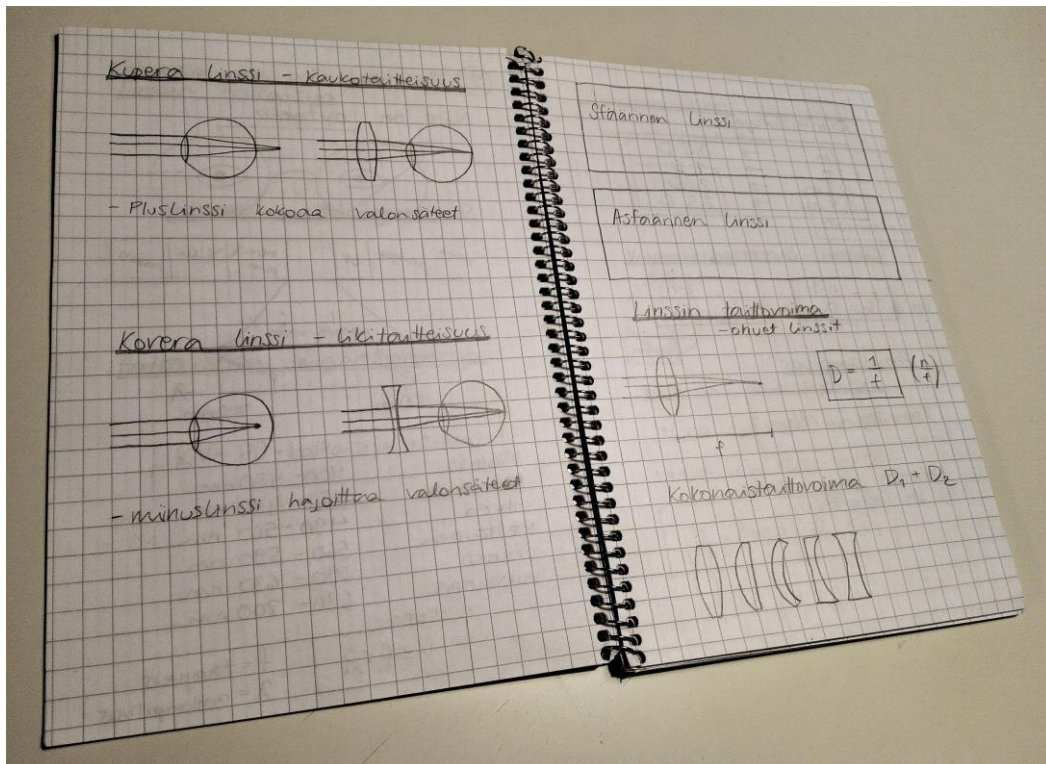
Kuva 1. Lukiossa käytössä ollut MAOL-taulukot (Voutilainen 2018a)



Kuva 2. Lähteisiin tutustumista (Voutilainen 2018b.)

Opinnäytetyön varsinainen tekeminen aloitettiin marraskuussa 2017. Loimme aluksi kansion Google Driveen, jonne aloimme keräämään materiaalia opinnäytetyötä varten. Kansion eri tiedostoihin hahmoteltiin projektin aikataulua, kirjattiin ylös esille tulleita ongelmia ja kysymyksiä sekä luotiin pohja kirjallista raporttiosuutta varten. Aloitimme työn tekemisen kirjoittamalla optiikan teoriaa opinnäytetyön kirjalliseen raporttiosuuteen. Opinnäytetyöohjauksessa päädyimme kuitenkin jättämään optiikan teorian kokonaan pois kirjallisesta osuudesta. Optiikan teoriaa päätettiin käsitellä vain oppaassa kirjallisen osuuden keskittyessä projektin etenemisen kuvaamiseen. Näin työhön ei syntyisi turhaa toistoa.

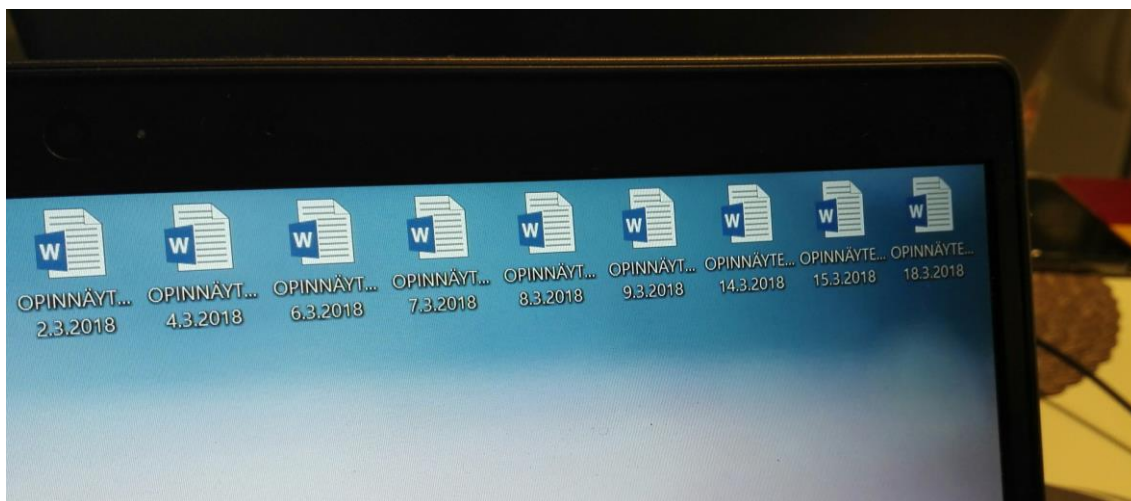
Oppaan rakentaminen aloitettiin heti vuodenvaihteen jälkeen, jolloin oppaasta hahmoteltiin ensin käsin tehty vihkumuotoinen prototyyppi. Näin kokonaisuutta pystyi hahmottamaan konkreettisemmin ja kykenimme esimerkiksi suunnittelemaan millaisia kuvia oppaaseen tulisi piirtää. Heti alussa opas jaettiin kolmeen osioon, jotka käsitelivät silmälasiteknologiaa, optiikkaa ja piilolinssi-optiikkaa. Sähköisesti opasta alettiin rakentaa Microsoft Word -tiedostona vihkumuotoisen oppaan perusteella. Samaan aikaan kaikki työvaiheet kirjattiin päiväkirjamaisesti ylös yhteen Google Driven tiedostoista. Näin kirjallisen ja projektin etenemistä kuvaavan raporttiosuuden kirjoittaminen olisi jälkepäin helpompaa, eivätkä mitkään kehitystyön vaiheet jäisi käsittelemättä.



Kuva 3. Aukeama käsin tehdystä oppaan prototyypistä. (Voutilainen 2018c.)

Tarvekartoitus suoritettiin tammikuun puolella välissä. Koska oppaan kokoaminen oli jo aloitettu tässä vaiheessa, kysymykset oli helpompi kohdistaa käsittelemään oppaan sisältöä ja kohderyhmän toiveita sen suhteen. Jatkoimme sisällön tuottamista vastaukset huomioiden. Opasta rakentaessa ja aiheisiin tutustussa päätimme lisätä oppaaseen enemmän sisältöä kuin alun perin oli suunniteltu. Helmikuun aikana aloimme kutsua työtä oppimateriaaliksi sen laajuuden ja oppikirjamaisuuden takia.

Lopullinen oppimateriaalin rakenne muotoutui tekemisen kautta. Asioita jäsennettäessä muodostui vähitellen johdonmukainen järjestys, jossa asiat olivat selkein esittää. Rakensimme oppimateriaalia niin, että jokainen keskittyi omiin aihealueisiin. Alueita yhdistettiin toisiinsa aina sisällön valmistuessa. Oppimateriaalin kokoaminen vaati paljon yhteistyötä, jotta lopputulos olisi yhtenäinen. Maaliskuun alussa oppimateriaali oli sisällöltään lähes valmis.



Kuva 4. Oppimateriaali sai vähitellen lopullisen muotonsa. (Voutilainen 2018d.)

Oppimateriaalin testaus toteutettiin maaliskuun alkupuolella ja tuotosta muokattiin vielä saatujen kehitysehdotusten perusteella. Oppimateriaalin tehtäväosuus muodostettiin vasta testauksen jälkeen. Tehtävien ratkaisusta koottiin erillinen tiedosto, joka annettiin opettajien käyttöön ja oppimateriaaliin kirjattiin vain tehtävien vastaukset. Oppimateriaalin ollessa valmis, aloimme keskittyä kunnolla kirjallisen raporttiosuuden kirjoittamiseen. Raporttiosuuden teoriaa oli kuitenkin kirjoitettu osittain jo oppimateriaalin kokoamisen ohessa. Projektin etenemiseen keskittyvää pohdintaa saatiin helposti kokoon projektin aikana kirjattujen muistiinpanojen avulla. Lopuksi kirjoitettiin työn johdanto sekä tiivistelmät.



## 7 Pohdinta

Opinnäytetyömme tarkoituksena oli tuottaa suomenkielinen oppimateriaali optiikasta ja silmälasiteknologian perusteista. Optiikan opiskelu koetaan usein vaikeana optometristiopiskelijoiden keskuudessa. Optiikkaa käsittelevät materiaalit ovat hyvin pitkälti englanninkielisiä, mikä vaikeuttaa entisestään opiskelua. Pyrimme suomenkielisen oppimateriaalin avulla helpottamaan optiikan opiskelua ja ymmärtämistä. Tarkoituksena oli valmistaa yhtenäinen ja selkeä kokonaisuus, jonka tavoitteena oli selkeyttää optiikan opiskelua.

Projektin aikana opimme paljon uusia asioita. Työnteon monipuolisuuden vuoksi meidän piti hyödyntää erilaisia taitoja. Koska käytimme projektin tekemisessä useita eri tietokoneohjelmia, niiden käytöstä tuli projektin edetessä luontevampaa. Esimerkiksi Paint.net ja Microsoft Word -ohjelmien hallinta kehittyi huomattavasti, sillä oppimateriaalin rakentaminen vaati ohjelmien uudenlaista hyödyntämistä. Ohjelmien aiempaa laajempi hyödyntäminen mahdollisti myös oppimateriaalin informatiivisen ja visuaalisen ilmeen rakentamisen. Jotta oppimateriaalin aiheet saatiin esitettyä helposti ymmärrettävässä muodossa, meidän oli paneuduttava ensin itse aihealueisiin huolella. Tämän vuoksi optiikka tuli entistäkin tutummaksi ja oppimateriaalissa käsitellyt aiheet selkeytyivät meille itsellemekin.

Ryhmätyöskentely oli mielekästä projektin aikana. Jokainen sai hyödyntää omaa osaamistaan ja vahvuuksiaan oppimateriaalin sekä kirjallisen raporttiosuuden työstämisessä. Kirjoittaminen ja kieliasun ylläpitäminen ei tuottanut meille ongelmia, sillä kielioppi on kaikilla hyvin hallussa. Myöskään laajan kirjallisen työn rakenne ei vaatinut opettelua, sillä sen käyttö on muodostunut opiskeluiden aikana tutuksi. Tämän vuoksi aikaa ei tuhlaantunut esimerkiksi merkintätapojen opetteluun. Oppimateriaalin kokoaminen ja rakenteen selkeyttäminen veivät kuitenkin yllättävän paljon aikaa. Asiakokonaisuuksien tiivistäminen lyhyempään muotoon vaati paljon suunnittelua, jotta oleellisia asioita ei jäänyt puuttumaan. Haasteellisinta projektissa olikin aikataulut. Vaikka kaikki alkuperäiset aikataulut eivät pitäneet, saimme työn kuitenkin ajoissa valmiiksi.

Mielestämme onnistuimme työssä kokonaisuudessaan hyvin. Pääsimme tavoitteeseemme eli saimme koottua selkeän oppimateriaalin. Mielestämme lopputulos on katkava sekä johdonmukainen. Kun oppimateriaalia testattiin viimeistelyvaiheessa opiskelijoilla, palaute oli erittäin positiivista. Oppimateriaali vastasi heidän tarpeitaan ja oli toteutettu erinomaisesti. Lisäksi opinnäytetyöohjaajamme kehuivat lopputulosta ja kertoivat



sen tulevan varmasti käyttöön opetuksessa. Koko projekti täyttää ammattikorkeakoulun opinnäytetyölle asetetut vaatimukset. Työ on toteutettu yhteistyökumppanin toiveita kuunnellen ja se sisältää tarvittavat toiminnallisen opinnäytetyön osat sekä osoittaa ammatillista osaamista. Myös tämän vuoksi projekti on erittäin onnistunut.

Vaikka olemme lopputulokseen erittäin tyytyväisiä, oppimateriaali olisi voinut olla sisällöltään vielä laajempi. Sisältö on kuitenkin jo tällaisenaan kattava ja merkittävästi laajempi kuin alun perin ajattelimme. Lisäksi opinnäytetyön tekemisen ja varsinaisen sisällön tuottamisen olisi voinut aloittaa aikaisemmin. Uskomme kuitenkin, että pidempi aika ei olisi vaikuttanut merkittävästi oppimateriaalin sisältöön, mutta materiaalin testaaminen ja näin myös palautteen saaminen olisi voinut olla monipuolisempaa. Olisi esimerkiksi ollut hienoa, jos oppimateriaalia olisi päästy testaamaan osana jonkin optiikan opintojakson opetusta. Oppimateriaali valmistui kuitenkin vasta maaliskuun puolella välissä, joten emme olisi kerenneet testaamaan oppimateriaalia kokonaisen optiikan opintojakson ajan.

Jatkotutkimusehdotuksena on kasata oppimateriaalin sisällöstä verkkosivu. Verkkosivulla voisi olla kokoamamme materiaalin tapaan teoriaa, esimerkkilaskuja ja niiden vastauksia. Sisältöä voisi elävöittää kuvilla ja videoilla. Teoriaosuudet opiskeltuaan käyttäjä voisi testata omaa osaamistaan erillisen verkkotentin avulla. Verkkosivusto tai erillinen oppimisolusta voisi toimia omana opintokokonaisuutena, esimerkiksi lisäkoulutuksena. Nykyistä oppimateriaalia voisi myös laajentaa. Mukaan voisi ottaa muitakin optisia järjestelmiä, kuten peilit ja suurennuslasit. Esimerkkejä voisi olla myös enemmän. Mahdollisuutena olisi myös keskittyä johonkin yksittäiseen osa-alueeseen vielä perusteellisemmin rakentaen siitä oman oppimateriaalin.

## 8 Lähteet

Ammattikorkeakoululaki 932/2014. Annettu Helsingissä 14.11.2014.

Canva 2018a. Download the right file type. Verkkodokumentti. <<https://support.canva.com/downloading-saving-and-sharing/download-quality/choosing-right-file-type/>>. Luettu 19.3.2018.

Canva 2018b. Our Story. Verkkodokumentti. <<https://about.canva.com/our-story/>>. Luettu 19.3.2018.

Chapman, Cameron 2010. Color Theory for Designers. Part 1: The Meaning of Color. Verkkodokumentti. <<https://www.smashingmagazine.com/2010/01/color-theory-for-designers-part-1-the-meaning-of-color/>>. Luettu 27.3.2018.

Cullen, Cheryl Dangel – Peterson, L. K. 2000. Global graphics: Color. Designing with Color for an International Market. Gloucester: Rockport.

Hietanen, Maila – Visuri, Reijo – Nyberg, Heidi 2009. Muu optinen säteily. Teoksessa Pastila, Riikka (toim.): Ionisoimaton säteily - Ultravioletti- ja lasersäteily. Helsinki: Säteilyturvakeskus. 263-278. Saatavilla myös sähköisesti osoitteessa: <<https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/ultravioletti-ja-lasers%C3%A4teily-kirjaluku-8.pdf/3eb47806-d3ef-4f68-9fd8-2eb2ef126d74>>. Luettu 27.3.2018.

Hämäläinen, Riitta – Koponen, Arja 2010. Oppimistyyliä opetuksessa: monipuolisia opettamisen tapoja ja oman oppimisen tiedostamista. Tarinoita oppimisesta ja opettamisesta. LukSitKO 1. 5-8. Saatavilla myös sähköisesti osoitteessa: <[http://www.erilaistenoppijoidenliitto.fi/wp-content/uploads/2012/02/Oppimistyyliä-Opetuksessa-\\_LS1\\_2010\\_uusi.pdf](http://www.erilaistenoppijoidenliitto.fi/wp-content/uploads/2012/02/Oppimistyyliä-Opetuksessa-_LS1_2010_uusi.pdf)>. Luettu 21.3.2018.

Jokinen, Tapani 2001. Tuotekehitys. 6. painos. Helsinki: Otatieto. Saatavilla myös sähköisesti osoitteessa: <<http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>>. Luettu 19.3.2018.

Leino, Anna-Liisa – Leino, Jarkko 1990. Oppimistyyli – Teoriaa ja Käytäntöä. Jyväskylä: Gummerus.

Leinonen, Tiina-Maria (toim.) 2005. MAOL-taulukot. 2.–8.-painos. Helsinki: Otava.

Lindh, Kirsti – Parkkonen, Marita 2000. Oppimateriaali verkossa. Teoksessa Matikainen, Janne – Manninen, Jyri (toim.): Aikuiskoulutus verkossa – Verkkopohjaisten oppimisympäristöjen teoriaa ja käytäntöä. Tampere: Helsingin yliopiston Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus. 147–158.

Manninen, Jyri - Pesonen, Senja 2000. Aikuisdidaktiset lähestymistavat - Verkkopohjaisten oppimisympäristöjen suunnittelun taustaa. Teoksessa Matikainen, Janne - Manninen, Jyri (toim.): Aikuiskoulutus verkossa - Verkkopohjaisten oppimisympäristöjen

teoriaa ja käytäntöä. Tampere: Helsingin yliopiston Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus. 63–79.

Metropolia 2017. Opinto-opas. Optometria. Verkkodokumentti. <<http://opinto-opas-ops.metropolia.fi/index.php/fi/88094/fi/70309/SXE18K1/year/2017>>. Luettu 29.12.2017.

Nielsen, Jakob 2000. WWW-suunnittelu. Hatanpää, Timo (suom.). Jyväskylä: Oy Edita Ab.

Opetushallitus 2006. Verkko-oppimateriaalin laatukriteerit. Asiantuntijatyöryhmän raportti Opetushallitukselle. Opetusministeriön julkaisuja 2004:12. Helsinki: Opetushallitus. Saatavilla myös sähköisesti osoitteessa: <[http://www.oph.fi/download/47132\\_verkko-oppimateriaalin\\_laatukriteerit.pdf](http://www.oph.fi/download/47132_verkko-oppimateriaalin_laatukriteerit.pdf)>. Luettu 19.3.2018.

Opetushallitus 2014. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014. Määräykset ja ohjeet 2014:96. Helsinki: Opetushallitus. Saatavilla myös sähköisesti osoitteessa: <[http://www.oph.fi/download/163777\\_perusopetuksen\\_opetussuunnitelman\\_perusteet\\_2014.pdf](http://www.oph.fi/download/163777_perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf)>. Luettu 15.3.2018.

Pedrotti, Leno S. 2008. Fundamentals of photonics. Module 1.3: Basic Geometrical Optics. Verkkodokumentti. <<https://spie.org/Documents/Publications/00%20STEP%20Module%2003.pdf>>. Luettu 22.11.2017.

Ruokamo, Jarno n.d. Yleistä/ Ominaisuuksia. Paint.net ohje. Verkkodokumentti. <<http://paintdotnet.arkku.net/>>. Luettu 26.3.2018.

Silmälä, Petri 2017a. Canva. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Verkkodokumentti. <<https://wiki.metropolia.fi/display/socialmedia/Canva>>. Luettu 19.3.2018.

Silmälä, Petri 2017b. Issuu. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Verkkodokumentti. <<https://wiki.metropolia.fi/display/socialmedia/Issuu>>. Luettu 7.1.2018.

Silmälä, Petri 2018. Google Forms. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Verkkodokumentti. <<https://wiki.metropolia.fi/display/socialmedia/Google+Forms>>. Luettu 25.3.2018.

Tekijänoikeuslaki 401/1961. Annettu Helsingissä 8.7.1961.

Vilkka, Hanna – Airaksinen, Tiina 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Jyväskylä: Gummerus.

Voutilainen, Oona 2018a. Lukiossa käytössä ollut MAOL-taulukot. Helsinki.

Voutilainen, Oona 2018b. Lähteisiin tutustumista. Helsinki.

Voutilainen, Oona 2018c. Aukeama käsintehtävä oppaan prototyypistä. Helsinki.

Voutilainen, Oona 2018d. Oppimateriaali sai vähitellen lopullisen muotonsa. Helsinki.

What is Issuu? 2017. Issuu Help Center. Verkkodokumentti. <<https://help.issuu.com/hc/en-us/articles/204816328-What-is-Issuu->>. Luettu 7.1.2018.

Tuuli Kujala  
Josefina Lukkarila  
Oona Voutilainen  
Optometria (AMK), SXE15K1

Kyselylomake

16.1.2018

Teemme opinnäytetyönämme opasta optiikasta ja silmälasiteknologiasta. Tarkoituksena on kerätä yhteen eri kursseilla käsiteltävät oleelliset optiikan kaavat sekä teoria-asiat selkeään yhtenäiseen kokonaisuuteen.

Suoritamme kyselyn syksyllä 2017 opintonsa aloittaneille opiskelijoille, jotka ovat suorittaneet geometrisen optiikan ja silmälasiteknologian perusteiden kurssin. Haluamme saada käsityksen siitä, olisiko aihepiirin asioita käsittelevästä oppaasta apua opintojen tukena. Kysely suoritetaan nimettömänä, joten toivomme, että vastaat kysymyksiin rehellisesti ja avoimesti. Kyselyn vastauksia käsitellään luottamuksellisesti.

1. Koitko syksyn 2017 geometrisen optiikan ja silmälasiteknologian perusteiden kurssien asiat vaikeiksi? Valitse sopivin vaihtoehto.

Geometrinen optiikka:

Todella helppoja   
Melko helppoja   
Kohtalaisia   
Melko vaikeita   
Todella vaikeita

Silmälasiteknologian perusteet:

Todella helppoja   
Melko helppoja   
Kohtalaisia   
Melko vaikeita   
Todella vaikeita

2. Minkälaisia oppimateriaaleja teillä oli käytössä kurssien aikana?

---



---



---

3. Mikäli haluat löytää uudestaan kursseilla käsiteltyjä asioita, mistä löydät asiat helpoiten? Omista muistiinpanoista, netistä, kurssimateriaaleista? Onko tieto helposti saatavilla?

---



---



---

4. Koetko, että kursseilla käsitellyt asiat ovat tärkeitä hallita tulevissa opinnoissa sekä työelämässä? Valitse sopivin vaihtoehto.

Eivät ole tärkeitä   
En osaa sanoa   
Ovat tärkeitä

5. Jos kurssien asioista koottaisiin yhtenäinen tietopaketti, mitä seuraavista sen tulisi sisältää? Voit valita useamman vaihtoehdon.

Teoria-asioita   
Kaavoja   
Esimerkkilaskuja   
Tehtäviä ja niiden vastaukset   
Havainnollistavia kuvia

6. Mitä aihealueita tietopaketissa pitäisi käsitellä?

---



---



---

Kiitos vastauksistanne!

## Optiikan ja silmälasiteknologian perusteet tutuiksi

Teemme oppinäytetyönämme oppimateriaalia optiikan ja silmälasiteknologian perusteista. Oppimateriaali kerää yhteen eri kursseilla käsiteltävät oleelliset optiikan kaavat sekä teoria-asiat selkeään yhtenäiseen kokonaisuuteen.

Kyselyn tarkoituksena on selvittää oppimateriaalin hyödyllisyyttä ja toimivuutta oppimisen tukena. Suoritamme kyselyn opiskelijoille, jotka ovat suorittaneet geometrisen ja visuaalisen optiikan sekä silmälasiteknologian perusteiden kurssit. Lisäksi kysely lähetetään piilolinssien soveltamisen perusteet -opintojakson suorittaneille opiskelijoille.

Kysely suoritetaan nimettömänä, joten toivomme, että vastaat kysymyksiin rehellisesti ja avoimesti. Kyselyn vastauksia käsitellään luottamuksellisesti. Arvioi oppimateriaalia siltä osin, mitä asioita olet jo opinnoissani opiskellut. Vastaa kysymyksiin vasta, kun olet tutustunut huolellisesti oppimateriaalin sisältöön.

1.

### Kurssitunnukseni

Merkitse vain yksi soikio.

SXE16K1

SXE17S1

2.

### Oppimateriaalin sisältöön on valittu aihe-alueiden oleellisimmat asiat

Merkitse vain yksi soikio.

Täysin eri mieltä

Jokseenkin eri mieltä

Jokseenkin samaa mieltä

Täysin samaa mieltä

3.

### Oppimateriaali käsittelee kattavasti eri osa-alueita

Merkitse vain yksi soikio.

Täysin eri mieltä

Jokseenkin eri mieltä

Jokseenkin samaa mieltä

Täysin samaa mieltä

4.

### Oppimateriaalin ulkoasu on selkeä

Merkitse vain yksi soikio.

Täysin eri mieltä

Jokseenkin eri mieltä

Jokseenkin samaa mieltä

Täysin samaa mieltä

### 5. Oppimateriaalin rakenne on johdonmukainen

Merkitse vain yksi soikio.

Täysin eri mieltä

Jokseenkin eri mieltä

Jokseenkin samaa mieltä

Täysin samaa mieltä

6. **Kuvat ja esimerkit auttoivat ymmärtämään paremmin oppimateriaalin aihe-alueita**

*Merkitse vain yksi soikio.*

- Täysin eri mieltä  
 Jokseenkin eri mieltä  
 Jokseenkin samaa mieltä  
 Täysin samaa mieltä

7. **Oppimateriaalista olisi ollut hyötyä silmälasiteknologiaa ja optikkaa käsittelevillä kursseilla**

*Merkitse vain yksi soikio.*

- Täysin eri mieltä  
 Jokseenkin eri mieltä  
 Jokseenkin samaa mieltä  
 Täysin samaa mieltä

8. **Oppimateriaalista on helppo kerrata jo opiskeltuja asioita**

*Merkitse vain yksi soikio.*

- Täysin eri mieltä  
 Jokseenkin eri mieltä  
 Jokseenkin samaa mieltä  
 Täysin samaa mieltä

9. **Mitä olisin kaivannut lisää oppimateriaalin sisältöön?**

---

---

---

---

---

10. **Mielipiteeni oppimateriaalista**

---

---

---

---

**Kiitos vastauksistasi!**

---



OPTIIKAN JA  
SILMÄLASITEKNOLOGIAN  
PERUSTEET TUTUIKSI

*Tuuli Kujala, Josefina Lukkarila, Oona Voutilainen*



$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$PrD = d \times F$$

$$D = \frac{n}{f'}$$

$$r = \frac{n' - n}{D}$$

$$n = \frac{c}{v}$$

## Esipuhe

Tämä oppimateriaali on suunnattu ensisijaisesti optometristiopiskelijoille opiskelun tueksi. Työ sisältää silmälasiteknologian sekä linssi- ja piilolinssioptiikan teoriaa ja laskukaavoja. Asioita käsitellään havainnollistavien kuvien ja esimerkkien avulla ja lopussa omaa osaamista voi testata eri aihealueiden tehtävillä. Tarkoituksena on yhdistää yhteen kokonaisuuteen optometristin osaamisen kannalta tärkeimmät linssioptiikan ja silmälasiteknologian asiat. Lisäksi oppimateriaalia voi hyödyntää työelämässä optiikan asioiden kertaamiseen.

Työ on toteutettu Metropolia Ammattikorkeakoulussa osana opinnäytetyötämme. Opinnäytetyö löytyy kokonaisuudessaan Theseus-tietokannasta. Oppimateriaalissa käytetyt lähteet löytyvät työn lopusta ja kaikki kuvat ovat itse tehtyjä.

Menestystä opiskeluun!

*Tuuli Kujala, Josefina Lukkarila ja  
Oona Vuottilainen*

# Sisällysluettelo

## 1. Silmälasiteknologia, 1

- 1.1 Kehyksen osat, **1**
- 1.2 Kehysmerkinnät, **1**
- 1.3 Kehyskaarevuus, **2**
- 1.4 Kaltevuuskulma ja pintaväli, **2**
- 1.5 Kehyksen KV, PD ja linssiaukon halkaisija, **3**
- 1.6 Linssikoon määrittäminen, **3**
- 1.7 Reseptimerkinnät, **4**

## 2. Optiikka, 5

- 2.1 Valo, **5**
- 2.2 Taitekerroin, **6**
- 2.3 Valon taittuminen, **6**
- 2.4 Valon heijastuminen, **7**
- 2.5 Valon polarisaatio, **8**
- 2.6 Valon interferenssi, **11**
- 2.7 Ametropiat ja niiden korjaaminen linssillä, **13**
- 2.8 Ohuen linssin taittovoima, **14**
- 2.9 Erilaisia linssin pinnanmuotoja, **17**
- 2.10 Hajataiteinen silmä ja toorinen linssi, **18**
- 2.11 Toorisen linssin voimakkuus, **18**
- 2.12 Ohuen linssin kuvanmuodostus, **20**
- 2.13 Kuvausyhtälö ja sivusuurennos, **23**
- 2.14 Kuvasuurennos, **24**
- 2.15 Prisma, **25**
- 2.16 Prismalinssin hyödyntäminen, **26**
- 2.17 Suhteellinen prismavaikutus, **27**
- 2.18 Desentraatio, **28**
- 2.19 Vino prisma, **29**
- 2.20 Aberraatiot, **30**
- 2.21 Näköalueet ja akkommodaatio, **34**

### 3. Piilolinssioptiikka, 39

- 3.1 Piilolinssimerkinnät, 39
- 3.2 Paksu linssi, 40
- 3.3 Pintavälin vaikutus, 41
- 3.4 Sfäärinen ekvivalentti, 42
- 3.5 Toorisen linssin kiertyminen, 43
- 3.6 Keratometriarvot, 44

### Kaavakokoelma, 45

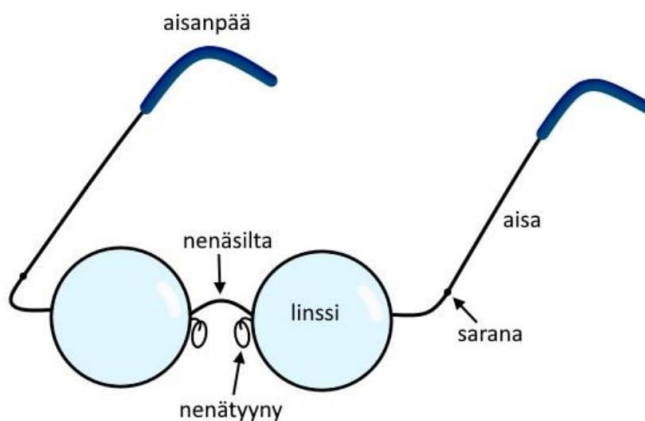
### Tehtävät, 47

- Linssikoon määrittäminen, 47
- Valon taittuminen, 47
- Valon heijastuminen, 47
- Valon polarisaatio, 47
- Valon interferenssi, 47
- Ohuen linssin taittovoima, 48
- Toorisen linssin voimakkuus, 48
- Kuvausyhtälö ja sivusuurennos, 48
- Kvasuurennos, 48
- Prisma, 49
- Aberraatiot, 49
- Näköalueet, 49
- Paksu linssi, 49
- Pintavälin vaikutus, 50
- Sfäärinen ekvivalentti, 50
- Toorisen linssin kiertyminen, 50
- Keratometriarvot, 50

### Tehtävien vastaukset, 51

# 1. Silmälasiteknologia

## 1.1 Kehyksen osat



## 1.2 Kehysmerkinnät

Kehyksen aisaan on merkitty nenävälin ja linssiaukon leveys sekä aisan pituus. Lisäksi aisassa lukee usein myös kehysmallin sekä kehyksen värin koodi. Koodit vaihtelevat kehyksen valmistajan mukaan ja niissä on monesti sekä numeroita että kirjaimia. Usein myös kehyksen materiaali on kirjattu ylös.

### Esimerkki

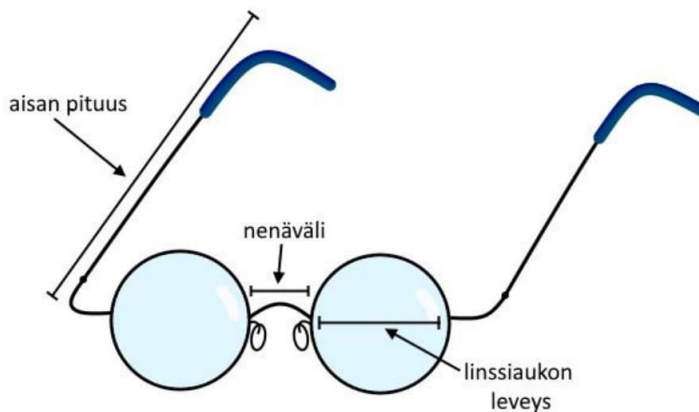
Kehyksen aisassa on merkintä:

51 – 17 135

**51** = linssiaukon leveys

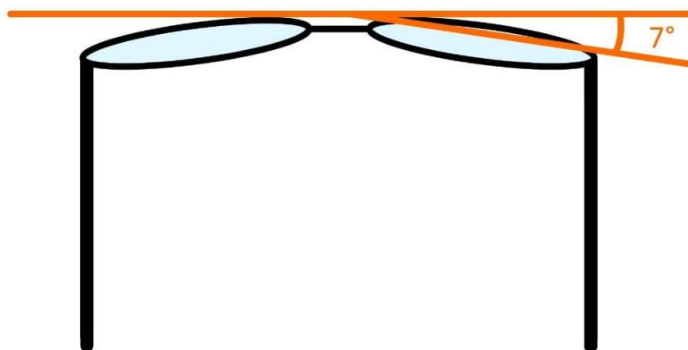
**17** = nenäväli

**135** = aisan pituus



### 1.3 Kehyskaarevuus

**Kehyskaarevuudella** tarkoitetaan kehyksen etuosan kaarevuutta suhteessa suoraan tasoon kehyksen ollessa kasvoilla. Kehyksen etuosan on hyvä olla hieman kaareva, jotta se mukailee kasvojen muotoa. Näin etäisyys silmästä linssiin pysyy suurin piirtein samana joka kohdassa.



Keskiarvo:  
6 – 8 astetta

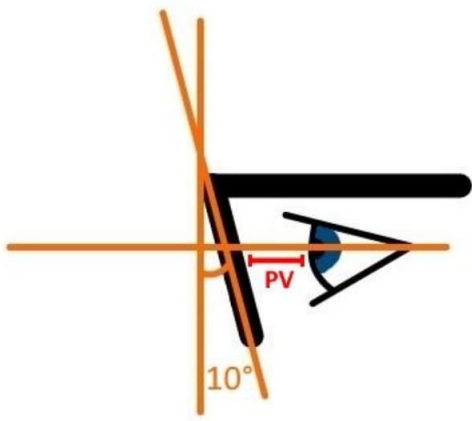
### 1.4 Kaltevuuskulma ja pintaväli

**Kaltevuuskulmalla** tarkoitetaan kehyksen etuosan ja kohtisuoran vertikaalisen tason välistä kulmaa kehyksen ollessa kasvoilla. Silmläseissa kehyksen alaosa on yleensä lähempänä kasvoja kuin yläosa, joten puhutaan pantoskooppisesta kulmasta.

Keskiarvo:  
8 – 12 astetta

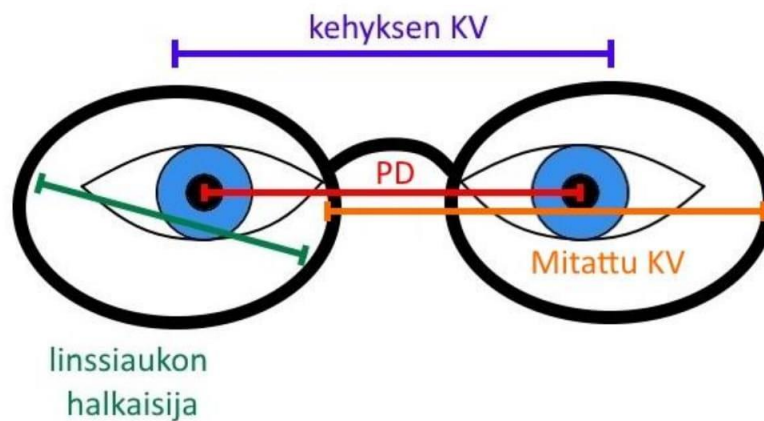
**Pintavälillä (PV)** tarkoitetaan etäisyyttä linssin takapinnasta sarveiskalvon etupintaan.

Keskiarvo:  
12 – 14 mm



## 1.5 Kehyksen KV, PD ja linssin halkaisija

Kehyksen KV eli keskiöväli tarkoittaa linssiaukkojen keskipisteiden välistä etäisyyttä. Keskiöväli voidaan katsoa suoraan aisan merkinnöistä,  $KV = \text{nenäväli} + \text{linssiaukon leveys}$ . Se voidaan myös mitata kehyksen linssiaukkojen vastakkaisista sisä- tai ulkoreunoista. PD eli pupillien etäisyys toisistaan mitataan joko PD-tikulla tai pupillometrillä. Linssiaukon halkaisija mitataan kehysaukon leveimmästä kohdasta.



## 1.6 Linssin halkaisijan määrittäminen

Linssi mitoitetaan kehykseen niin, että linssin optinen keskipiste tulee pupillin kohdalle. Linssiaukkoon tarvittavan ja hiontaan riittävän linssin koko määritetään seuraavalla kaavalla:

$$KV - PD + \text{linssiaukon suurin halkaisija} + 2 \text{ mm (hiontavara)}$$

### Esimerkki

Asiakkaan PD on 62mm. Kehyksessä on merkinnät 54 - 18 ja linssiaukon suurin halkaisija on 63 mm. Kuinka suuri linssi tarvitaan?

$$\text{Kehyksen KV} = 54 + 18 = 72$$

$$72\text{mm} - 62\text{mm} + 63\text{mm} + 2\text{mm} = \mathbf{75 \text{ mm}}$$

## 1.7 Reseptimerkinnät

**OD** = oikea silmä

**OS** = vasen silmä

**OA** = molemmat silmät

**SF** = sfäärinen voimakkuus

**CYL** = sylinterivoimakkuus

**AX** = akselisuunta

**ADD** = lähilisä

**V = visus** = näöntarkkuus parhaalla silmälasikorjauksella

**VV = vapaa visus** = näöntarkkuus ilman silmälasikorjausta

**Dioptria, dpt, D** = taittovoiman yksikkö

**PRD** = prisma ( $\Delta$ )

**BAS TEMP** = kanta ulos

**BAS NAS** = kanta sisään

**BAS UP** = kanta ylös

**BAS DOWN** = kanta alas

**IOP** = silmänpaine (intraocular pressure)

**PD** = silmäteräväli

**KV** = keskiöväli

**TPL** = tasapainolinssi

**PV** = pintäväli

### Alhainen näöntarkkuus:

**SL 3** = sormenlukua 3 metristä

**KL 1** = havainnoi käden liikettä metristä

**v = 1/∞ +** (valon oikea projektio)

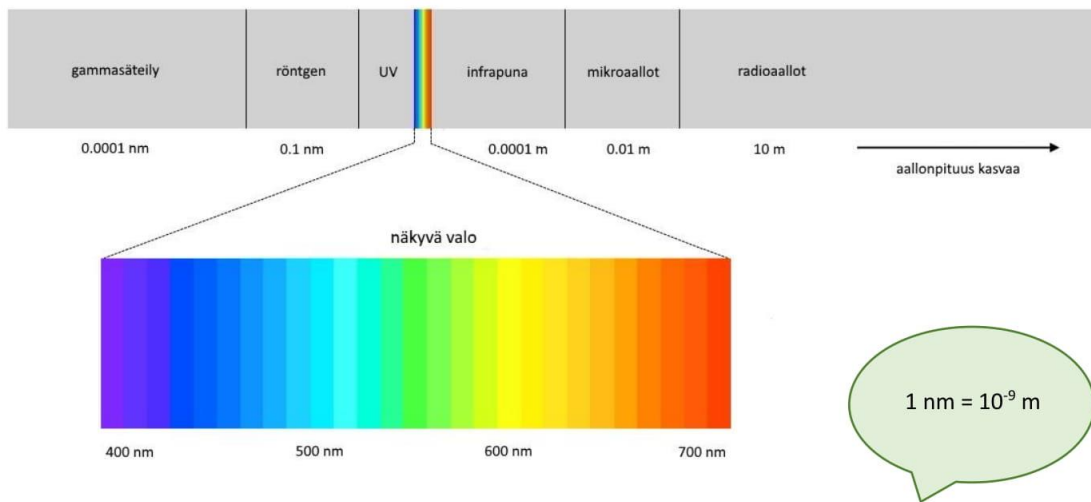
**v = 1/∞ -** (valon vääriä projektio)

**v = 0** (sokea)

## 2. Optiikka

### 2.1 Valo

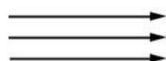
Valo on edellytys näkemiselle ja optisten laitteiden toiminnalle. Valoksi kutsutaan sähkömagneettisen spektrin aallonpituuksia, jotka silmä pysty havaitsemaan, eli noin 400 nm – 700 nm. Aallonpituus määrittää sen, minkä värinen silmä havaitsee saapuvan valon. Violetti valo on lyhytaaltoisinta ja punainen valo on pitkäaaltoisinta säteilyä.



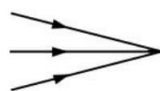
Ihmissilmä on herkin valon aallonpituudelle 555 nm

Valon väri	Aallonpituus
Violetti	400 nm – 450 nm
Sininen	450 nm – 490 nm
Vihreä	490 nm – 560 nm
Keltainen	560 nm – 590 nm
Oranssi	590 nm – 630 nm
Punainen	630 nm – 700 nm

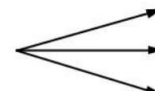
Valolla on fysiikan näkökulmasta sekä hiukkas- että aaltomuoto. Geometrisen optiikan näkökulmasta valo etenee suoraviivaisina säteinä. Valonsäteiden kulkua suhteessa toisiin säteisiin kutsutaan valon **vergenssiksi**. Suoraan kulkevia valonsäteitä kutsutaan paralleeleiksi ja niillä ei ole vergenssiä. Säteiden lähestyessä toisiaan kulkien kohti polttopistettä, puhutaan konvergenssista ja säteiden erkaantuessa toisistaan divergenssistä.



Paralleelit valonsäteet



Konvergoivat valonsäteet



Divergoivat valonsäteet



## 2.2 Taitekerroin

Jokaisella aineella on **taitekerroin** ( $n$ ), joka kuvaa aineen optista tiheyttä. Mitä hitaammin valo kulkee aineessa, sitä suurempi taitekerroin on. Taitekerroin määritetään kaavalla:

$$n = \frac{c}{v}$$

$c$  = valonnopeus tyhjiössä  
 $v$  = valonnopeus aineessa

Aine	Taitekerroin
ilma	1.0
ikkunalasi	1.5
vesi	1.33
timantti	2.4

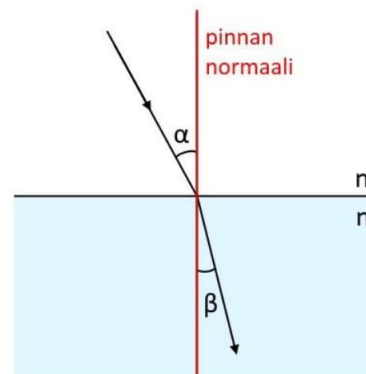
Silmäläsilinssin taitekerroin on yleensä **1.5, 1.6, 1.67 tai 1.74**. Suurissa voimakkuuksissa isommalla taitekertoimella saadaan aikaisiksi ohuempi linssi.

## 2.3 Valon taittuminen

Kahden aineen rajapinnan kohdatessa valo joko taittuu, heijastuu tai absorboituu eli imeytyy aineeseen. Valon taittumiseen rajapinnassa vaikuttaa se kumpi aineista on optisesti tiheämpää. Jos valo saapuu harvemmasta aineesta tiheämpään, valo taittuu pinnan normaalia kohteen. Vastaavasti valon saapuessa tiheämmästä aineesta harvempaan, valo taittuu pinnan normaalista poispäin. Taittumiskulma voidaan laskea **Snellin lain** mukaan kaavalla:

$$\sin\alpha \cdot n = \sin\beta \cdot n'$$

$\alpha$  = valon tulokulma  
 $\beta$  = valon taitekulma  
 $n$  = rajapintaa edeltävän aineen taitekerroin  
 $n'$  = rajapinnan jälkeisen aineen taitekerroin



### Esimerkki

Valo saapuu ilmasta veteen 30 asteen kulmassa. Mikä on valon taitekulma?

Snellin lain mukaan:

$$\sin 30^\circ \cdot 1 = \sin \beta \cdot 1.33$$

$$\rightarrow \beta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin 30^\circ}{1.33}\right) = 22.082^\circ \approx \underline{22^\circ}$$

**Taittuvan valon kulma on 22°**

## 2.4 Valon heijastuminen

Osa valosta heijastuu aina takaisin rajapinnassa. Heijastuskertoimen avulla voidaan määrittää prosenttiosuus valon määrästä, joka heijastuu takaisin. Mitä suurempi taitekerroin aineella on, sitä enemmän valoa heijastuu. **Heijastuskerroin** lasketaan kaavalla:

$$R = \left[ \frac{n' - n}{n' + n} \right]^2$$

$n$  = rajapintaa edeltävän aineen taitekerroin  
 $n'$  = rajapinnan jälkeisen aineen taitekerroin

### Esimerkki

Valo saapuu ilmasta lasiin ( $n = 1.5$ ). Kuinka paljon valoa heijastuu?

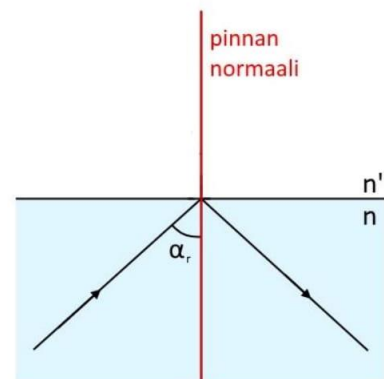
$$R = \left[ \frac{1.5 - 1}{1.5 + 1} \right]^2 = 0.04$$

Valosta heijastuu 4 %

Valon saapuessa tiheämmästä aineesta harvempaan tarpeeksi suuressa kulmassa, voi tapahtua **kokonaisheijastus**. Heijastumiskulma on aina yhtä suuri kuin valon tulokulma, mikäli kyseessä on tasopinta. Pienin kulma, jolla kokonaisheijastus tapahtuu, lasketaan kaavalla:

$$\sin \alpha_r = \frac{n'}{n}$$

Kokonaisheijastusta käytetään hyödyksi esim. valokuidussa



### Esimerkki

Kuinka suuressa kulmassa valon on saavuttava vedestä ilman rajapintaan, jotta tapahtuu kokonaisheijastus?

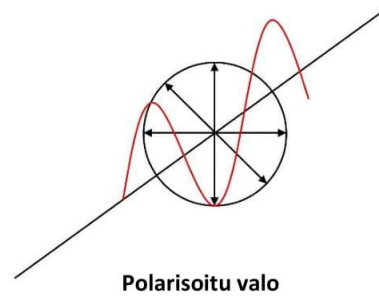
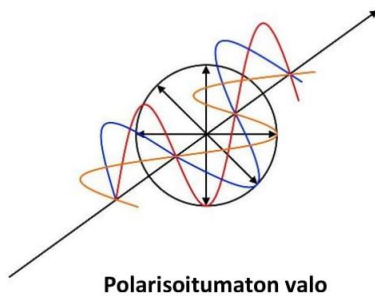
$$\sin \alpha_r = \frac{1}{1.33}$$

$$\rightarrow \alpha_r = \sin^{-1} \left( \frac{1}{1.33} \right) = 48.753...^\circ \approx \underline{49^\circ}$$

Kulman on oltava vähintään 49°

## 2.5 Valon polarisaatio

Valo etenee kulkusuunnan mukaisena aaltoliikkeenä. Sähkömagneettista värähtelyä tapahtuu kohtisuoraan kulkusuuntaa vastaan jokaisessa akselin ympäröivässä suunnassa. **Amplitudin** eli aaltoliikkeen värähtelyn korkeus ja samalla **intensiteetti** eli valovaikutus pysyvät vakiona. **Polarisoitumattomassa** valossa aaltoliikkeiden värähtelyä ei ole rajoitettu. Vastaavasti **polarisoidussa** valossa aaltoliikettä tapahtuu vain tietyssä suunnassa.



Polarisoitumaton valo voidaan kuvata kahden värähtelevän päätason avulla. Tulevan valon intensiteetti ( $I_0$ ) jakautuu näiden kahden tason kesken. Toinen on tulotason kulkusuunnan mukainen ( $E_{0\parallel}$ ) ja toinen kohtisuorasti tulotasoa ( $E_{0\perp}$ ) vastaan. Molemmat tasot ovat yhtä suuret, mutta heijastuneessa tai taittuneessa valossa komponenttien suhde toisiinsa muuttuu ja valosta tulee osittain polarisoitunutta. Tällöin amplitudien korkeus ei enää ole yhtenäinen ja intensiteetti muuttuu. Taittuneessa valossa tulotason suuntainen värähdystaso on vallitsevampi. Sen sijaan heijastuneissa valossa tilanne on päinvastoin, sillä vallitsevana on kohtisuorasti tulotasoa vastaan oleva värähdystaso.

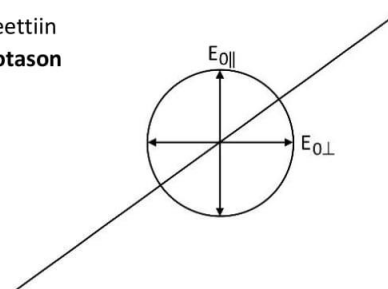
Heijastuneen valon komponenttien suhde tulevan valon intensiteettiin saadaan laskettua Fresnelin yhtälöiden avulla.  $I_{\parallel}$  kuvaa valon **tulotason suuntaisen** intensiteetin suhdetta tulevan valon intensiteettiin.

$$I_{\parallel} = \frac{I_0}{2} \times \frac{\tan^2(i-i')}{\tan^2(i+i')}$$

$I_{\perp}$  kuvaa kohtisuorassa **tulotasoa vastaan** tapahtuvan värähtelyn intensiteetin suhdetta tulevan valon intensiteettiin.

$$I_{\perp} = \frac{I_0}{2} \times \frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')}$$

$i$  = valon tulokulma  
 $i'$  = valon taitekulma  
 $I_0$  = tulevan valon intensiteetti



**Tulevan valon intensiteetti:**

$$I_0 = I_{\parallel} + I_{\perp}$$

### Esimerkki

Valo saapuu  $40^\circ$  kulmassa aineiden rajapinnalle ja taitekulma on  $32^\circ$ . Mikä on taittuneen valon osuus tulevasta valosta?

Ajatellaan, että tulevan valon intensiteetti  $I_0 = 1$ .

Heijastuneen valon komponentit:

$$I_{\parallel} = \frac{1}{2} \times \frac{\tan^2(40-32)}{\tan^2(40+32)} = 0.00104... \quad (\approx 0.1 \%)$$

$$I_{\perp} = \frac{1}{2} \times \frac{\sin^2(40-32)}{\sin^2(40+32)} = 0.0107... \quad (\approx 1.1 \%)$$

Heijastuneen valon intensiteetin suhde tulevan valon intensiteettiin on:  
 $0.00104... + 0.0107... = 0.0117... \approx 1.2 \%$

Taittuneen valon osuus:  $100 \% - 1.2 \% = \mathbf{98.8 \%}$

**Polarisaatioaste** ( $V$ ) kertoo, kuinka paljon heijastunut valo on polarisoitunut. 0 % tarkoittaa, että valo on polarisoitumatonta ja vastaavasti 100 %, että valo on täysin polarisoitunutta. Polarisaatioaste voidaan laskea kaavalla:

$$V = \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}}$$

$I_{\parallel}$  = valon intensiteetti tulotason suuntaisesti

$I_{\perp}$  = valon intensiteetti kohtisuorasti tulotasoa vastaan

### Esimerkki

Mikä on edellisen esimerkin heijastuneen valon polarisaatioaste?

$$\frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}} = \frac{1.1 - 0.1}{1.1 + 0.1} = \frac{1.0}{1.2} = 0.8333... \approx 0.83 \rightarrow \mathbf{83 \%}$$

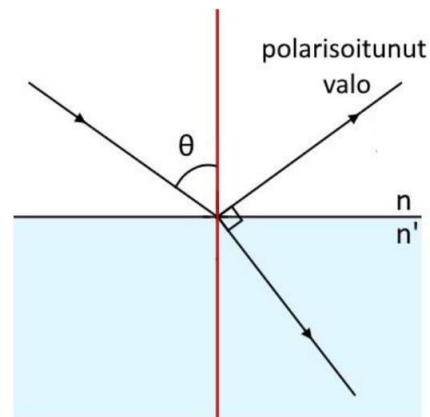
Valo on lähestulkoon täysin polarisoitunutta

yh

Valon oikeanlainen tulokulma voi saada aikaan myös heijastuneen valon täydellisen polarisaation. Tilanteessa valon taittumiskulman tulee olla Brewsterin lain mukaisesti heijastuskulman kanssa suorassa kulmassa. **Brewsterin kulma** eli heijastuneen valon täydelliseen polarisaatioon johtava tulokulma voidaan laskea kaavalla:

$$\tan \theta = \frac{n'}{n}$$

$n'$  = rajapinnan jälkeisen aineen taitekerroin  
 $n$  = rajapintaa edeltävän aineen taitekerroin



### Esimerkki

Kuinka suuressa kulmassa valon on tultava ilmasta veden rajapintaan, jotta heijastunut valo on täydellisesti polarisoitunutta?

$$\tan \theta = \frac{1.33}{1.0}$$

$$\rightarrow \theta = \tan^{-1}(1.33) = 53.061\dots^\circ \approx \underline{53^\circ}$$

### Polarisaation hyödyntäminen

Valon polarisaatiota hyödynnetään polarisoiduissa linseissä. Ne päästävät lävitseen vain tietyn suuntaista aaltoliikettä ja poistavat näin heijastuksia. Polarisoiduissa aurinkolaseissa suodatin on usein asennettu niin, että se päästää vain pystysuunnan aaltoliikettä lävitseen ja estää näin vaakasuunnan aaltoliikkeiden pääsyn silmään. Heijastuneessa valossa juuri vaakasuuntaiset aaltoliikkeet ovat voimakkaimpia. Suodatin asennetaan kahden linssipinnan väliin.

Polarisaatiota hyödynnetään myös näöntutkimuksessa. Heijastettavat testikuviot ja suotimet silmien edessä ovat polarisoitu  $90^\circ$  kulmassa toisiinsa nähden, jolloin vain haluttu kuvio näkyy suotimen lävitse.

Kun kaksi polarisoivaa suodatinta asetetaan  $90^\circ$  kulmaan toisiinsa nähden ja väliin asetetaan läpinäkyvä materiaali, jännittyneet kohdat näkyvät kahtaistaitumisesta johtuen kirkkaampina. Polarisaatiota voidaan siis käyttää apuna myös jännitteiden havaitsemiseen.

## 2.6 Valon interferenssi

Valon interferenssillä tarkoitetaan kahden tai useamman aaltoliikkeen yhdistymistä. Tällöin aaltoliikkeiden **vaihe-eron** eli kahden samassa vaiheessa olevan pisteen asema toisiinsa nähden on vakio.

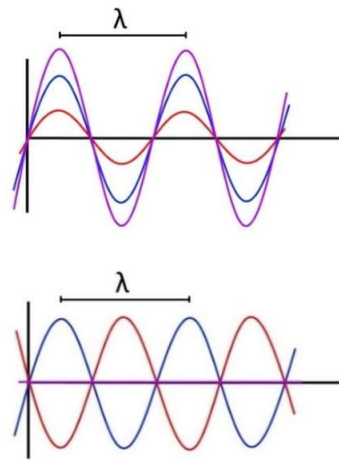
Aallonpituus väliaineessa  $\lambda_n$  saadaan laskettua kaavalla:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

$\lambda$  = aallonpituus ilmassa  
 $n$  = aineen taitekerroin

Aaltoliikkeet vahvistavat toisiaan, kun ne ovat keskenään samassa vaiheessa. Ylempässä kuvassa violetti aaltoliike on sinisen ja punaisen aaltoliikkeen summa.

Aaltoliikkeet heikentävät toisiaan, kun ne ovat vastakkaisissa vaiheissa eli vaihe-ero on puoli aallonpituutta. Viereisessä kuvassa sininen ja punainen aaltoliike sammuttavat toisensa.



Tarkasteltaessa valonsäteiden heikentymistä haetaan valominimiä ja vahvistuessa valomaksimia.

Kun valonsäteet heijastuvat optisesti tiheimmän aineen rajapinnalta optisesti harvempaan aineeseen, tapahtuu vaihesiirto, jossa vaihe-ero muuttuu puolikkaan aallonpituuden verran. Vaihesiirtoa ei tapahdu päinvastaisessa tilanteessa, jossa valonsäteet heijastuvat optisesti harvemman aineen rajapinnalta optisesti tiheimpään aineeseen. Valomaksimit ja -minimit lasketaan vaihesiirtojen mukaisesti seuraavilla kaavoilla:

**Parillinen määrä vaihesiirtoja:**

$$2nd \times \cos i = k \frac{\lambda}{2}$$

**Pariton määrä vaihesiirtoja:**

$$2nd \times \cos i + \frac{\lambda}{2} = k \frac{\lambda}{2}$$

$n$  = väliaineen taitekerroin  
 $d$  = väliaineen paksuus (nm)  
 $k$  = kokonaisluku (1,2,3,...)  
 $\lambda$  = valon aallonpituus  
 $i$  = valon tulokulma

Pienissä tulokulmissa  $\cos i$  voidaan ajatella olevan 1, jolloin lausekkeet sieventyvät:

$$2nd = k \frac{\lambda}{2}$$

$$2nd + \frac{\lambda}{2} = k \frac{\lambda}{2}$$

Selvitettäessä valomaksimia  $k$  on **parillinen kokonaisluku** ja valominimiä selvittäessä **pariton kokonaisluku**. Yhtälöön sijoitetaan  $k$ :n arvoja aloittaen pienimmästä arvosta. Arvojen sijoittamista jatketaan, kunnes löydetään kaikki vastaukset, joiden aallonpituus on väri. Värien aallonpituudet ovat nähtävissä kohdassa 2.1 *Valo*.



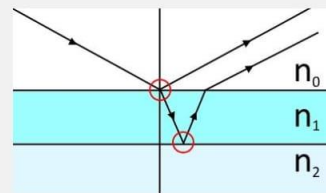
### Esimerkki

Linssin ( $n = 1.6$ ) päällä on ohut kalvo ( $n = 1.4$ ). Mikä väri heikentyy valon heijastuessa, kun kalvon paksuus on 75 nm?

Vaihesiirto tapahtuu valon heijastuessa sekä kalvon että linssin pinnasta, sillä valo heijastuu tiheämmän aineen rajapinnalta harvempaan. Kohdat, joissa vaihesiirto tapahtuu ovat ympyröity alla olevassa kuvassa. Valo heikentyy eli etsitään valominimiä. Tällöin  $k = 1, 3, 5, \dots$

$$\text{kun } k = 1 \rightarrow 2nd = k \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{4nd}{k} = \frac{4 \times 1.4 \times 75 \text{ nm}}{1} = \mathbf{420 \text{ nm}}$$

$$\text{kun } k = 3 \rightarrow \lambda = \frac{4 \times 1.4 \times 75 \text{ nm}}{3} = 140 \text{ nm (ei ole väri!)}$$



### Violetti valo (420 nm) heikentyy

Jos linssin pinnalla on kalvo, heijastuskerrointa laskettaessa otetaan huomioon myös kalvon taitekerroin. Heijastuskerroin määritetään silloin seuraavalla kaavalla:

$$R = \left[ \frac{n_1^2 - n_0 n_2}{n_1^2 + n_0 n_2} \right]^2$$

$n_0$  = rajapintaa edeltävän aineen taitekerroin  
 $n_1$  = kalvon taitekerroin  
 $n_2$  = linssin taitekerroin

### Esimerkki

Mikä on edellisen esimerkin heijastuskerroin, kun valonsäteet tulevat ilmasta?

$$R = \left[ \frac{n_1^2 - n_0 n_2}{n_1^2 + n_0 n_2} \right]^2 = \left[ \frac{1.4^2 - 1 \times 1.6}{1.4^2 + 1 \times 1.6} \right]^2 = 0.0101 \dots \approx 0.01 \quad \mathbf{\text{Valosta heijastuu 1 \%}}$$

Valonsäteiden interferenssiä hyödynnetään linssien **heijastuksenestopinnoitteissa**.

Heijastuksenestopinnoite on kalvona linssin pinnalla. Kalvo saa aikaiseksi tiettyjen aallonpituuksien heikentymisen, jolloin vain muut spektrin värit heijastuvat linssin pinnasta. Pinnoitekalvolla havaitaan jäännösheijaste, jonka väri määrittyy sen mukaan, mitkä aallonpituudet heijastuvat linssistä takaisin.

Heijastuksenestopinnoitteen tietyllä aallonpituudella heijastuskerroin on 0. Heijastuskertoimen kaavalla voidaan määrittää pinnoitekalvon taitekerroin, kun tiedossa on linssin taitekerroin.

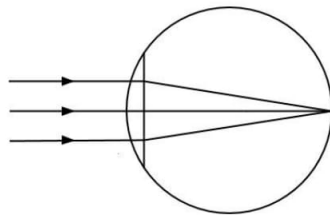
Ohuin kalvon paksuus saadaan kaavalla:

$$d = \frac{\lambda}{4n}$$

$n$  = väliaineen taitekerroin  
 $\lambda$  = valonsäteiden aallonpituus

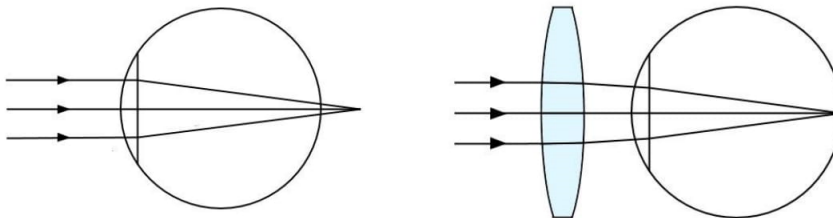
## 2.7 Ametropiat ja niiden korjaaminen linsseillä

Valo kulkee silmään pupilliaukon läpi. Valoa taittavat sekä sarveiskalvo silmän edessä että mykiö silmän sisällä. Ympäristön kohteista heijastuva valo taittuu silmän takaosan verkkokalvolle, jossa aistinsolut ottavat informaation vastaan. Ideaalissa tilanteessa valo taittuu suoraan silmän verkkokalvolle muodostaen tarkan kuvan. Tällaista silmää kutsutaan **emmetroopiksi**.

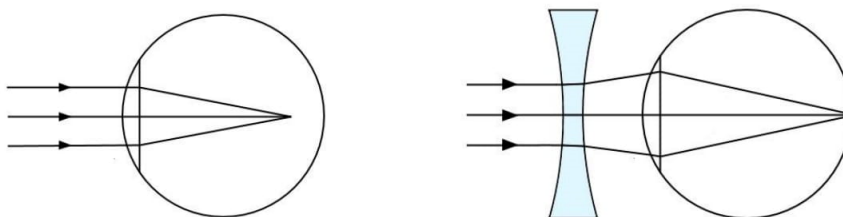


Kun valonsäteet eivät taitu suoraan verkkokalvolle, muodostuva kuva havaitaan epätarkkana. Tilanteesta käytetään nimitystä **ametropia** eli taittovirhe. Alla on esitelty hyperooppinen ja myoppinen silmä.

Kaukotaitteinen eli **hyperooppinen** silmä taittaa valoa liian vähän sen pituuteen nähden, jolloin valonsäteet taittuvat verkkokalvon taakse. Kuperan linssin avulla polttopistettä tuodaan lähemmäksi, jotta kuva saadaan muodostumaan tarkkana verkkokalvolle. Kuperan linssi kokoaa valonsäteet ja saa aikaan valon konvergenssin.



Likitaitteinen eli **myoppinen** silmä taittaa valoa liian paljon sen pituuteen nähden, jolloin valonsäteet taittuvat verkkokalvon eteen. Kovera linssi siirtää polttopistettä kauemmaksi, jotta kuva muodostuu tarkkana verkkokalvolle. Kovera linssi hajottaa valonsäteet ja saa aikaan valon divergenssin.



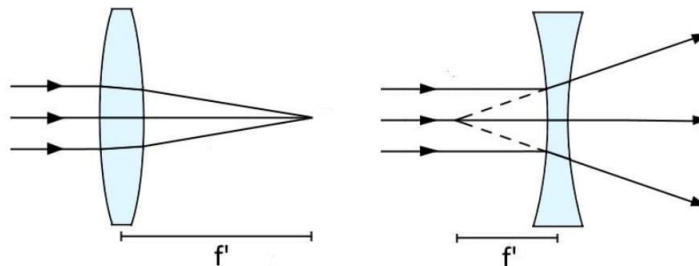


## 2.8 Ohuen linssin taittovoima

Linssin voimakkuus ilmassa voidaan laskea polttovälin käänteislukuna metreissä. Voimakkuuden yksikkö on **dioptria** (dpt). Todellisuudessa voimakkuus lasketaan väliaineen taitekertoimen ja polttovälin osamääränä eli linssin voimakkuus on eri esimerkiksi veden alla kuin ilmassa. Etäisyydet linssin takana ovat positiivisia arvoja ja linssin edessä negatiivisia. Paralleelit valonsäteet muodostavat kuperalla linssillä polttopisteen linssin taakse, joten polttoväli ( $f'$ ) on positiivinen arvo. Puolestaan koveralla linssillä paralleelit valonsäteet muodostavat polttopisteen linssin etupuolelle, joten polttoväli ( $f'$ ) on negatiivinen arvo. Tämän vuoksi kuperan linssin voimakkuus on positiivinen arvo ja sitä sanotaan **pluslinssiksi**. Koveran linssin voimakkuus on negatiivinen arvo, joten puhutaan **miinuslinssistä**.

linssin taittovoima:

$$D = \frac{n}{f'}$$



Linssin voimakkuus ilmassa:

Voimakkuus	Polttoväli	Voimakkuus	Polttoväli
+0,50 dpt	+2 m	-0,50 dpt	-2 m
+1,00 dpt	+1 m	-1,00 dpt	-1 m
+1,50 dpt	+0,67 m	-1,50 dpt	-0,67 m
+2,00 dpt	+0,5 m	-2,00 dpt	-0,5 m
+2,50 dpt	+0,4 m	-2,50 dpt	-0,4 m
+3,00 dpt	+0,33 m	-3,00 dpt	-0,33 m
+4,00 dpt	+0,25 m	-4,00 dpt	-0,25 m

Yleensä  
silmälasilinssejä  
valmistetaan  
0.25 dpt välein

### Esimerkki

Linssin polttoväli on -0.50 m. Mikä on linssin taittovoima ilmassa ja vedessä?

Voimakkuus ilmassa ( $n = 1$ ):  $D = \frac{1}{-0.50} = \mathbf{-2 \text{ dpt}}$

Voimakkuus vedessä ( $n = 1.33$ )  $D = \frac{1.33}{-0.50} = \mathbf{-2.66 \text{ dpt}}$

Ohuen linssin **kokonaistaittovoima** lasketaan etu- ( $D_1$ ) ja takapinnan ( $D_2$ ) voimakkuuksien summana. Paksun linssin voimakkuuden laskemista on käsitelty kohdassa 3.2 *Paksu linssi*.

$$D_{tot} = D_1 + D_2$$

Linssin taittovoimaan vaikuttaa etu- ja takapinnan kaarevuudet sekä linssin taitekerroin. **Linssintekijän yhtälöllä** lasketaan linssin etu- ja takapinnan taittovoima, kun tiedossa ovat kaarevuussäteet ja taitekerroin.

$$D_1 = \frac{n' - n}{r_1}$$

$$D_2 = \frac{n' - n}{r_2}$$

$D_1$  = etupinnan voimakkuus  
 $D_2$  = takapinnan voimakkuus  
 $n$  = rajapintaa edeltävän aineen taitekerroin  
 $n'$  = rajapinnan jälkeisen aineen taitekerroin  
 $r_1$  = etupinnan kaarevuussäde (m)  
 $r_2$  = takapinnan kaarevuussäde (m)

### Esimerkki

Linssin taitekerroin on 1.6, etupinnan kaarevuussäde on +0.2 m ja takapinnan kaarevuussäde +0.4 m. Mikä on linssin voimakkuus ilmassa?

Etupinnassa tullaan ilmasta linssiin eli  $n=1$  ja  $n'=1.6$ :  $D_1 = \frac{1.6-1}{0.2} = \mathbf{3 \text{ dpt}}$

Takapinnassa tullaan linssistä ilmaan eli  $n=1.6$  ja  $n'=1$ :  $D_2 = \frac{1-1.6}{0.4} = \mathbf{-1.5 \text{ dpt}}$

Linssin voimakkuus on siis  $+3 \text{ dpt} + (-1.5 \text{ dpt}) = \mathbf{+1.5 \text{ dpt}}$

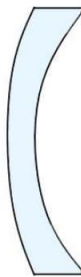
Kokonaistaittovoima ei kuitenkaan kerro mitään linssin ulkonäöstä, sillä sama voimakkuusvaikutus saadaan aikaan erimallisilla linseillä.



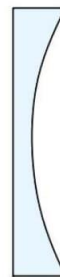
kakoiskupera



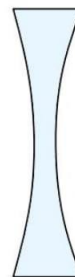
tasokupera



kovera meniskus

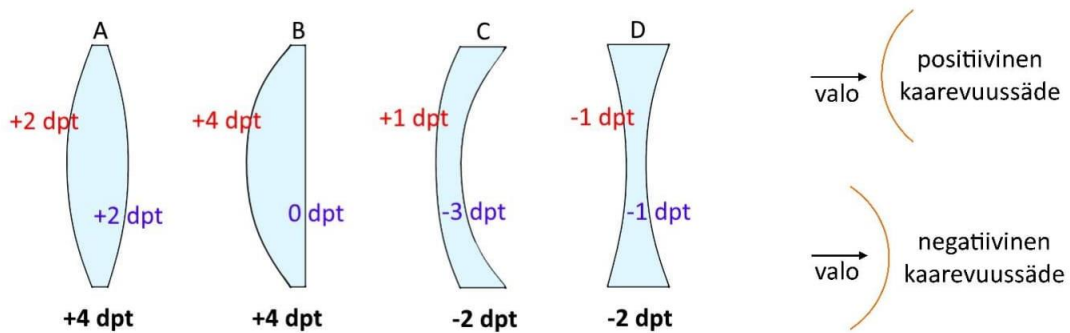


tasokovera



kakoiskovera

Alla olevassa kuvassa on kuvattu erimuotoisia linsskejä. Punaisella on merkitty etupinnan voimakkuus, sinisellä takapinnan voimakkuus ja mustalla linssin kokonaistaittovoima. Linssien erilaisista ulkomuodosta huolimatta linssien A ja B sekä C ja D kokonaistaittovoima on keskenään sama.



Linssin kaarevuussäteen etumerkki määräytyy valon kulkusuunnan suhteen, kuten yllä on havainnollistettu. Näin esimerkiksi linssin A etupinnan kaarevuussäde on positiivinen ja takapinnan negatiivinen.

Linssintekijän yhtälöllä voidaan selvittää linssin etu- ja takapinnan kaarevuussäteet voimakkuuksien ollessa tiedossa:

$$r_1 = \frac{n' - n}{D_1}$$

$$r_2 = \frac{n' - n}{D_2}$$

$r_1$  = etupinnan kaarevuussäde (m)  
 $r_2$  = takapinnan kaarevuussäde (m)  
 $n$  = rajapintaa edeltävän aineen taitekerroin  
 $n'$  = rajapinnan jälkeisen aineen taitekerroin  
 $D_1$  = etupinnan voimakkuus  
 $D_2$  = takapinnan voimakkuus

### Esimerkki

Mitkä ovat ylläolevan kuvan linssin C etu- ja takapinnan kaarevuudet? Linssin taitekerroin on 1.5 ja väliaine on ilma.

Linssin etupinnassa tullaan ilmasta linssiin, eli  $n = 1$  ja  $n' = 1.5$ :  $r_1 = \frac{1.5 - 1}{1} = \mathbf{0.5 \text{ m}}$

Linssin takapinnassa tullaan linssistä ilmaan eli  $n = 1.5$  ja  $n' = 1$ :  $r_2 = \frac{1 - 1.5}{-3} = 0.166\dots \text{m} \approx \mathbf{0.17 \text{ m}}$

**Etupinnan kaarevuus on 0.5 m ja takapinnan 0.17 m**

## 2.9 Erilaisia linssin pinnanmuotoja

### Sfäärinen pinta

Sfäärisessä eli pallopinnassa kaarevuussäde on kauttaaltaan sama. Pinnassa on sama voimakkuus joka kohdassa. Sfäärinen pinta on joko kovera tai kupera.

### Asfäärinen pinta

Asfäärisessä pinnassa kaarevuus ei ole vakio. Tyypillisesti kaarevuus loivenee reunaan kohden.

### Toorinen pinta

Toorisessa pinnassa on kaksi eri kaarevuussädettä 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Kaarevuussäteiden erosta johtuen voimakkuus on eri näissä suunnissa.

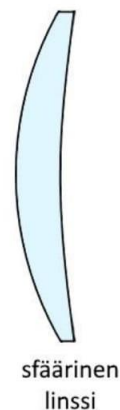
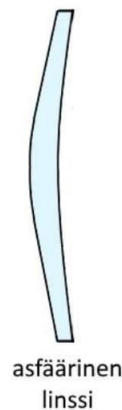
### Atoorinen pinta

Atoorisessa pinnassa yhdistyy toorinen ja asfäärinen rakenne. Pinnassa on kaksi kaarevuussädettä 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden ja lisäksi kaarevuus loivenee reunaan kohden.

**Sfäärisessä linssissä** molemmat pinnat ovat sfäärisiä.

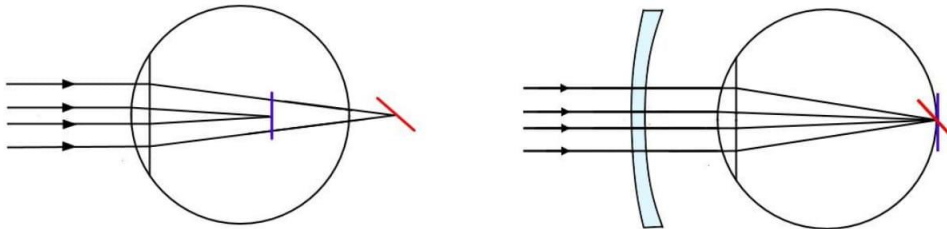
**Toorisessa linssissä** joko toinen tai molemmat pinnat ovat toorisia. Tyypillisesti toorisissa silmälasilinssissä toorisuus on linssin takapinnalla etupinnan ollessa sfäärinen.

Asfäärisyyden ansiosta erityisesti pluslinssin etupinta on suurempi ja näin lopputulos esteettisempi.

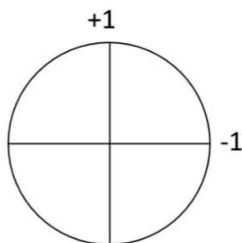


## 2.10 Hajataitteinen silmä ja toorinen linssi

Hajataiteisen silmän valo taittavat osat eivät ole symmetrisiä, joten verkkokalvolle ei synny yhtä polttopistettä. Valo taittuu kahdessa tasossa, jotka ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Polttotasot ovat verkkokalvon edessä, takana tai toinen niistä voi olla verkkokalvolla. Toorisen linssin avulla molemmat polttotasot siirretään verkkokalvolle.



## 2.11 Toorisen linssin voimakkuus



Linssien voimakkuuden voi merkitä silmälasireseptiin kahdella eri tavalla, miinus- tai plussylinterin avulla. Toisessa suunnassa linssissä on sfäärinen voimakkuus ja toisessa suunnassa sfäärinen voimakkuus + sylinterivoimakkuus. **Miinussylinterillä** merkittynä vasemmalla olevan linssin voimakkuus on:

sf +1.00 dpt cyl -2.00 dpt ax 90°

Silmälasireseptissa sfäärinen voimakkuus kertoo suoraan toisen suunnan voimakkuuden. Sylinterivoimakkuus (cyl) kertoo voimakkuuksien välisen eron, eli +1.00 dpt – 2.00 dpt = -1.00 dpt. Akselisuunta kertoo sfäärisen voimakkuuden suunnan.

**Plussylinterillä** merkittynä sfäärinen voimakkuus on -1.00 dpt ja sylinterivoimakkuus +2.00 dpt. Toisen suunnan voimakkuus on siis -1.00 dpt + 2.00 dpt = +1.00 dpt. Akselisuunta on 180° sfäärisen voimakkuuden mukaan.

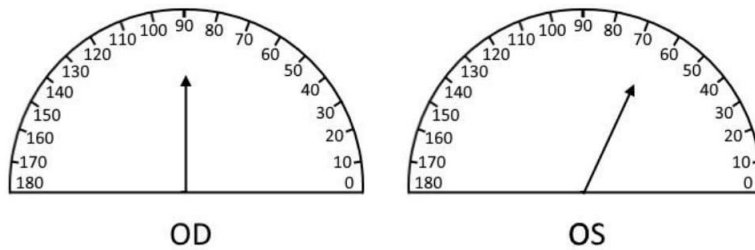
sf -1.00 dpt cyl +2.00 dpt ax 180°

Sylinterin etumerkin muutos:

- Sfääriseen voimakkuuteen lisätään sylinterivoimakkuus
- Sylinterivoimakkuuden etumerkki vaihtuu
- Akselisuunta vaihtuu 90°

Yleensä optikot merkaavat voimakkuuden reseptiin miinussylinterillä

Sylinterin suuntaa voidaan havainnollistaa TABO-kaavion avulla. Akselisuunta on välillä 0°–180°. Sfäärisen voimakkuuden ollessa vaakatasossa, voidaan akselisuunta merkitä joko 0° tai 180°.



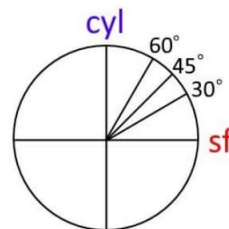
Toorisen linssin voimakkuus halutussa suunnassa voidaan laskea kaavalla:

$$D_t = (\sin\alpha)^2 D_c + D_s$$

$D_t$  = voimakkuus halutussa suunnassa  
 $D_s$  = sfäärinen voimakkuus  
 $D_c$  = sylinterin määrä

Muistisäännöt:

Kulma	Voimakkuus
30°	25% sylinteristä
45°	50% sylinteristä
60°	75% sylinteristä



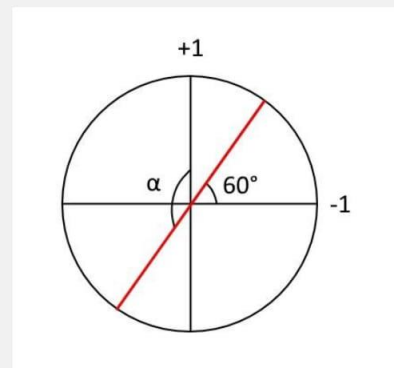
**Esimerkki**

Silmälasiresepti on sf +1.00 dpt cyl -2.00 dpt ax 90°. Mikä on linssin voimakkuus suunnassa 60°?

Kulma  $\alpha$  merkitään sfäärisen voimakkuuden +1.00 dpt suhteen.  
 $\alpha = 90^\circ + 60^\circ = 150^\circ$ .

$$D_t = (\sin 150^\circ)^2 \cdot (-2.00 \text{ dpt}) + (1.00 \text{ dpt}) = \mathbf{0.5 \text{ dpt}}$$

**Voimakkuus suunnassa 60° on +0.50 dpt**

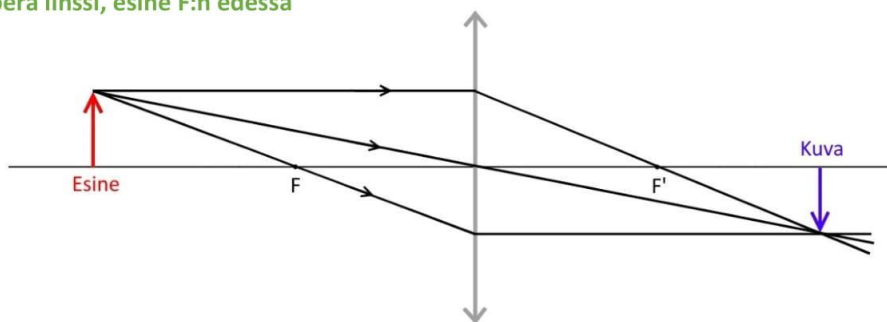




## 2.12 Ohuen linssin kuvanmuodostus

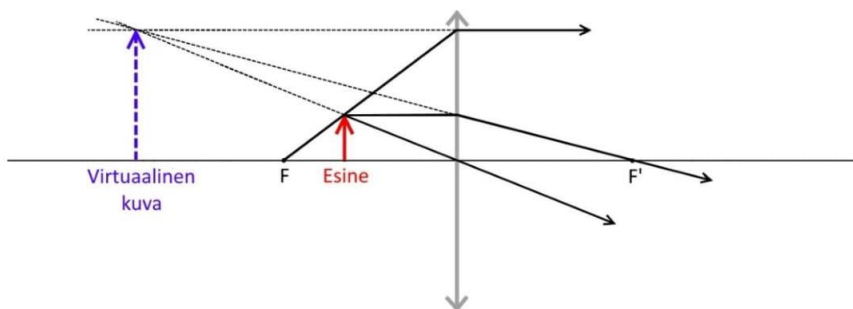
Kuvanmuodostumiseen ohuella linssillä vaikuttaa se, onko kyseessä kupera vai kovera linssi sekä missä esine on linssiin nähden. Muodostuva kuva on joko reaalinen tai virtuaalinen. Kuvan paikka saadaan selville piirtämällä kolme konstruktiosädettä, joiden leikkauspisteeseen kuva muodostuu. Ensimmäinen säde kulkee esineestä suoraan linssin keskipisteen läpi. Toinen säde kulkee optisen akselin suuntaisesti ja linssin kohdalla taittuu kulkemaan takimmaisen polttopisteen  $F'$  läpi. Kolmas säde kulkee etummaisen polttopisteen  $F$  läpi ja linssin kohdalla taittuu kulkemaan optisen akselin suuntaisesti. Alla on esitelty kuvanmuodostuminen eri tapauksissa.

### 1. Kupera linssi, esine $F$ :n edessä



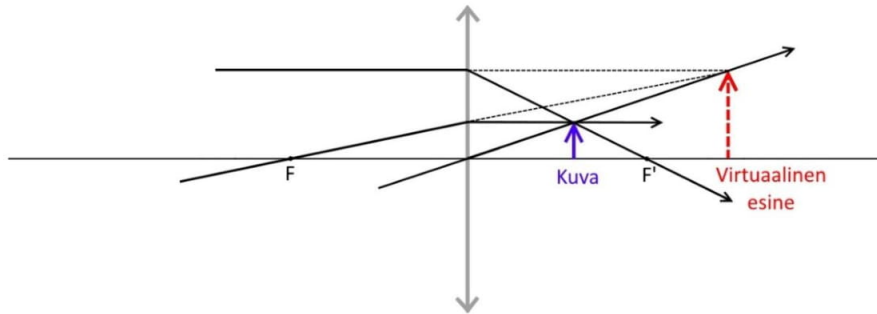
- Linssin toiselle puolelle muodostuu väärinpäin oleva reaalinen kuva
- Kun esine liikkuu kohti linssiä, kuva liikkuu pois päin linssistä
- Kun esineen etäisyys linssistä on  $2 \cdot f$ , muodostuva kuva on saman kokoinen kuin esine

### 2. Kupera linssi, esine $F$ :n ja linssin välissä



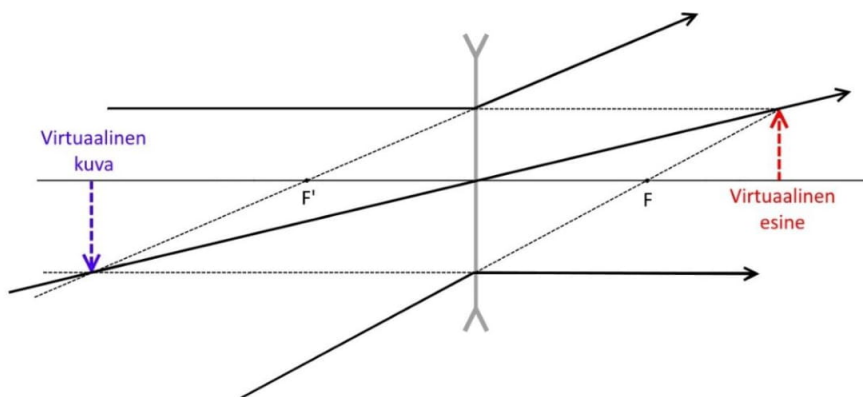
- Samalle puolelle linssiä muodostuu oikeinpäin oleva virtuaalinen kuva, joka on suurempi kuin esine
- Esineen siirtyessä kohti linssiä, virtuaalinen kuva pienenee

### 3. Kupera linssi, esine F:n ja linssin välissä



- Samalle puolelle linssiä muodostuu oikeinpäin oleva reaalinen kuva, joka on lähempänä linssiä kuin esine
- Kuva on virtuaalista esinettä pienempi
- Esineen siirtyessä kauemmas linssistä, myös kuva siirtyy kauemmas ja pienenee

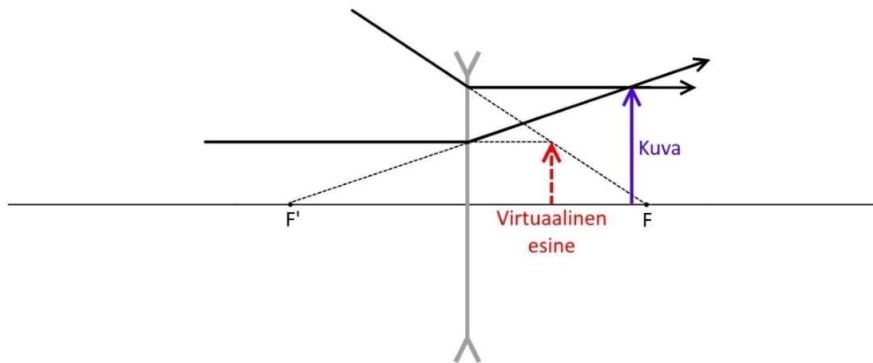
### 4. Kovera linssi, esine F:n takana



- Toiselle puolelle linssiä muodostuu väärinpäin oleva virtuaalinen kuva
- Esineen siirtyessä kauemmas linssistä, kuva lähestyy taimitaista polttopistettä  $F'$  ja pienenee
- Kun virtuaalisen esineen etäisyys linssistä on  $2 \cdot f$ , muodostuva virtuaalinen kuva on saman kokoinen kuin esine

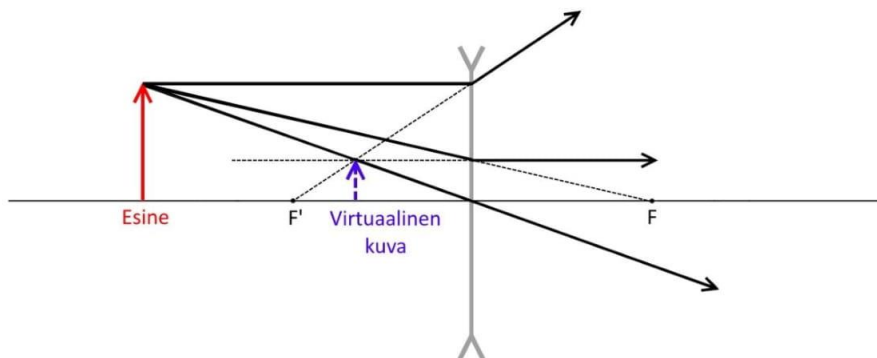


### 5. Kovera linssi, esine F:n ja linssin välissä



- Samalle puolelle linssiä muodostuu oikeinpäin oleva reaalinen kuva, joka on kauempana linssistä kuin esine
- Kuva on suurempi kuin virtuaalinen esine
- Virtuaalisen esineen siirtyessä kauemmas linssistä, kuva siirtyy myös kauemmas ja kasvaa

### 6. Kovera linssi, esine linssin edessä



- Samalle puolelle linssiä muodostuu oikeinpäin oleva virtuaalinen kuva, joka on lähempänä linssiä kuin esine
- Virtuaalinen kuva on pienempi kuin esine
- Esineen siirtyessä kohti linssiä, virtuaalinen kuva siirtyy kohti takimmaista polttopistettä  $F'$  ja kasvaa

## 2.13 Kuvausyhtälö ja sivusuurennos

Ohuen linssin muodostaman kuvan paikka ja koko voidaan laskea, kun tiedossa ovat linssin polttoväli ja esineen etäisyys linssistä. Kuvan etäisyys linssistä voidaan laskea **Gaussin kuvausyhtälöllä**:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

$s$  = esineen etäisyys linssistä (m)  
 $s'$  = kuvan etäisyys linssistä (m)  
 $f$  = linssin polttoväli

Etäisyydet linssin edessä merkitään negatiivisina ja linssin takana positiivisina.

Muodostuvan kuvan koko voidaan määrittää laskemalla **sivusuurennos**. Sivusuurennos kertoo suhdeluvun, jonka perusteella nähdään, kuinka paljon esineen koko on prosentuaalisesti pienentynyt tai suurentunut. **Jos sivusuurennos on negatiivinen arvo, tarkoittaa tämä, että kuva muodostuu väärinpäin.**

$$M = \frac{s'}{s}$$

$$y' = y \times M$$

$M$  = sivusuurennos  
 $y'$  = kuvan koko  
 $y$  = esineen koko

### Esimerkki

Linssin voimakkuus on +3 dpt. 20 cm korkea esine on 50 cm linssin edessä. Määritä kuvan paikka ja koko.

Ensin selvitetään linssin polttoväli:  $D = \frac{1}{f} \rightarrow f = \frac{1}{D} = \frac{1}{3} = 0.333\dots \text{ m}$

Kuvan paikka Gaussin kuvausyhtälöllä:  $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} + \frac{1}{s} \rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{1}{0.333} + \frac{1}{-0.5} = 1.003\dots$

$s' = \frac{1}{1.003} = 0.9970\dots \text{ m} \approx \underline{\underline{100 \text{ cm}}}$

Sivusuurennos:  $M = \frac{s'}{s} = \frac{0.9970}{-0.5} = -1.994$

Kuvan koko:  $y' = y \times M = 20 \text{ cm} \cdot -1.994 = -39.88 \text{ cm} \approx \underline{\underline{-40 \text{ cm}}}$

**Kuva muodostuu 100 cm linssin taakse. Kuva on 40 cm korkea ja se on väärinpäin.**

## 2.14 Kuvasuurennos

Verkkokalvolle muodostuvan kuvan kokoon vaikuttaa sekä silmän taittovirhe että linssi, jolla sitä korjataan. **Pluslinssi suurentaa nähtävää kuvaa ja miinuslinssi pienentää.** Linssin voimakkuuden lisäksi kuvasuurenokseen vaikuttavat linssin etupinnan taittovoima, taitekerroin, paksuus sekä linssin etäisyys silmästä. Kuvasuurennos lasketaan kaavalla:

$$M = \left( \frac{1}{1 - dF_v} \right) \left( \frac{1}{1 - \left( \frac{t}{n} \right) F_1} \right)$$

d = etäisyys silmästä (m)  
F<sub>v</sub> = linssin voimakkuus  
t = linssin paksuus (m)  
n = taitekerroin  
F<sub>1</sub> = etupinnan taittovoima

Kuvasuurennos kertoo, kuinka paljon nähtävän kohteen koko muuttuu. Jos pluslinssin kuvasuurennos on esimerkiksi 1.2 ja kohteen todellinen koko on 5cm, on muodostuvan kuvan koko 1.2 · 5cm = 6cm.

### Esimerkki

Asiakkaan silmälasien voimakkuus on sf -6.00 dpt OA. Pintaväli on 14 mm, linssin keskipaksuus 4 mm, taitekerroin 1.67 ja etupinnan taittovoima +2.00 dpt. Kuinka paljon nähtävän kohteen koko muuttuu?

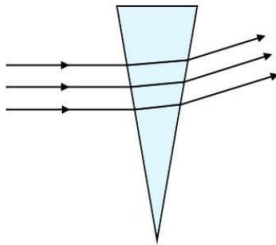
$$M = \left( \frac{1}{1 - 0.014 \text{ m} \times (-6.00 \text{ dpt})} \right) \left( \frac{1}{1 - \left( \frac{0.004 \text{ m}}{1.67} \right) \times 2 \text{ dpt}} \right)$$

$$\rightarrow (0.922...)(1.004...) = 0.926... \approx \mathbf{0.93}$$

**Nähtävä kuva on 93% kohteen todellisesta koosta**

## 2.15 Prisma

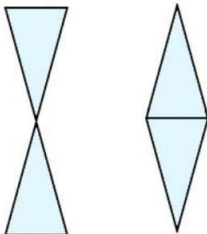
Prismaksi kutsutaan kolmion mallista valoa läpäisevää kappaletta, jossa on kanta ja kärki. Prisman avulla voidaan muuttaa valon kulun suuntaa, mutta se ei vaikuta valon vergenssiin. Valo taittuu prismaan saapuessa kohti kantaa. Puolestaan linssin läpi katsottaessa kuva siirtyy kohti prismaan kärkeä. Taittuminen tapahtuu prismaan etu- ja takapinnalla Snellin lain mukaisesti.



Prisman voimakkuus riippuu siitä, kuinka paljon se taittaa valoa. Prismen yksikkö on prismadioptria, joka määritellään sillä, kuinka paljon valo taittuu yhden metrin matkalla. Jos valo taittuu metrin matkalla yhden senttimetrin, on prisma voimakkuus 1 **prismadioptria** eli 1Δ.

Prismassa valo hajoaa eri väreiksi, sillä eri aallonpituudet taittuvat eri tavalla. Värihajonnasta kerrotaan enemmän kohdassa aberratiot.

Pluslinssissä voidaan katsoa olevan kaksi prismaa kannat vastakkain. Miinuslinssissä puolestaan kärjet ovat vastakkain.



Linssin optisen keskipisteen läpi katsottaessa ei synny prismavaikutusta. Jos katselinja kulkee optisen keskipisteen vierestä, syntyy prismavaikutus. Prismavaikutus (PrD) voidaan laskea **Prenticen kaavalla**:

$$PrD = d \times F$$

d = etäisyys optisesta keskipisteestä (cm)  
F = linssin voimakkuus ilman etumerkkiä

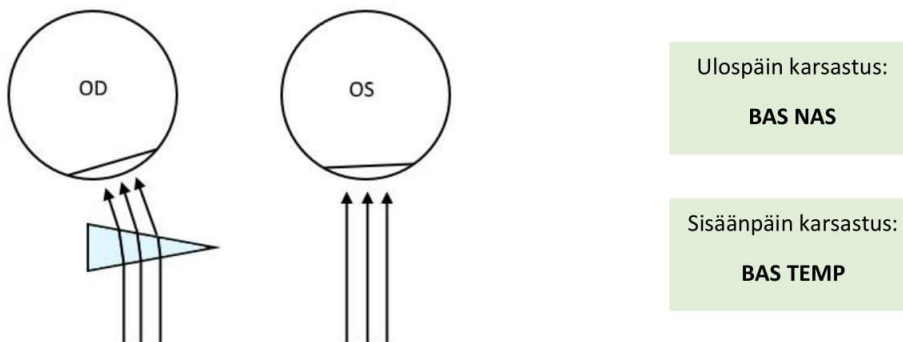
### Esimerkki

Silmän edessä on -5.00 dpt linssi ja katselinja kulkee 3mm optisen keskipisteen vierestä. Kuinka suuri prismavaikutus muodostuu?

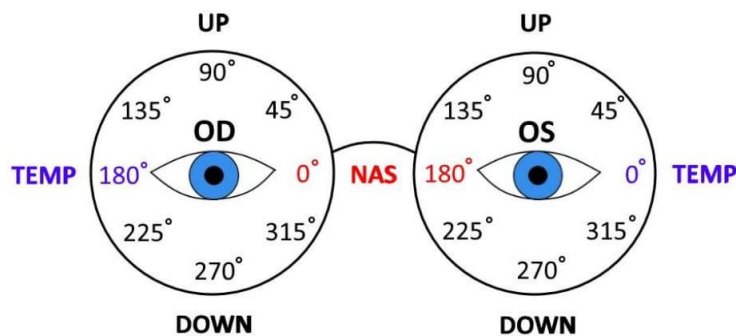
$$PrD = 0.3 \text{ cm} \cdot 5.00 \text{ dpt} = \mathbf{1.5 \Delta}$$

## 2.16 Prismalinssin hyödyntäminen

Prismalinssin avulla voidaan korjata karsastuksen aiheuttamaa silmien asentoepikeamaa siirtämällä valo kulkemaan kohtisuoraan silmään. Näin voidaan estää karsastuksesta johtuvat kaksoiskuvat ja helpottaa muita oireita, kuten päänsärkyä. Silmlaseissa käytetyt prismat ovat yleensä maksimissaan 10°, minkä vuoksi prismalinssit ovat ohuita linsejä. Silmien ulospäin karsastusta korjataan prismalinssillä, jonka kanta on sisäänpäin ja sisäänpäin karsastusta kanta ulospäin. Ylöspäin karsastusta voidaan korjata prismalla, jonka kanta on alas ja alaspäin karsastusta kanta ylös.



Kanta sisään merkataan silmälasireseptiin BAS NAS ja kanta ulos merkataan BAS TEMP. Puolestaan kanta ylös merkataan BAS UP ja kanta alas BAS DOWN.



Kannan suunta voidaan merkitä myös asteilla:

BAS NAS merkitään OD **0°** ja OS **180°**

BAS TEMP merkitään OD **180°** ja OS **0°**

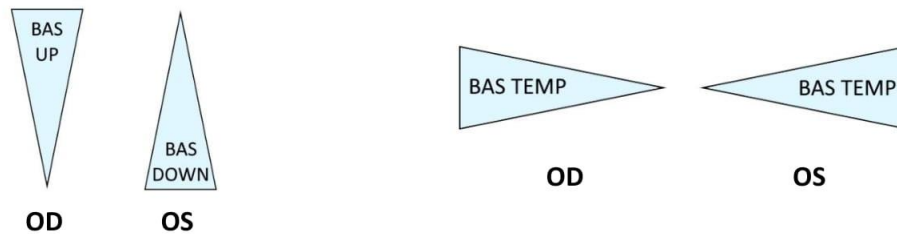
BAS UP merkitään **90°**

BAS DOWN merkitään **270°**

## 2.17 Suhteellinen prismavaikutus

Suhteellinen prismavaikutus tarkoittaa silmälaseissa molempien silmien prismojen yhteisvaikutusta. Horisontaalisuunnassa molempien prismojen kantojen ollessa samaan suuntaan, on prismavaikutus näiden summa. Kantojen ollessa eri suuntaan, on vaikutus näiden erotus. Vertikaalisessa suunnassa puolestaan prismojen kantojen on oltava eri suuntaan, jotta prismavaikutus on näiden summa. Samaan suuntaan olevat prismojen kannat kumoavat toistensa vaikutuksen.

**Vahvistavat toisiaan:**



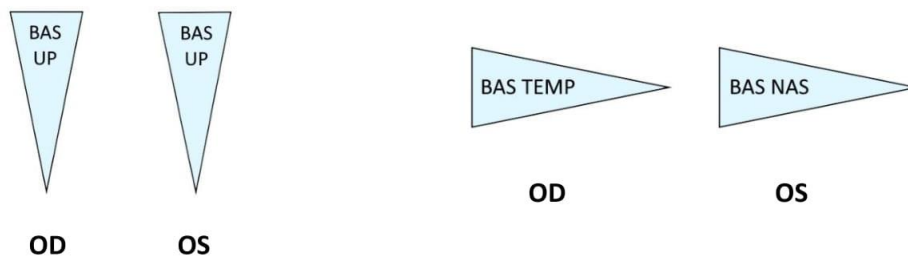
**Esimerkki**

Oikean silmän edessä on 2 Δ bas up linssi ja vasemman silmän edessä 3 Δ bas down linssi. Mikä on suhteellinen prismavaikutus?

$$2 \Delta \text{ bas up} + 3 \Delta \text{ bas down} = \underline{5 \Delta}$$

Tämä merkitään joko OD 5 Δ bas up tai OS 5 Δ bas down

**Kumoavat toisensa:**



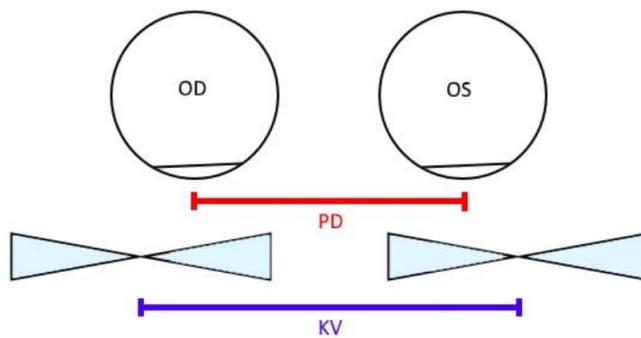
**Esimerkki**

Oikean silmän edessä on 5 Δ bas nas linssi ja vasemman silmän edessä 2 Δ bas temp linssi. Mikä on suhteellinen prismavaikutus?

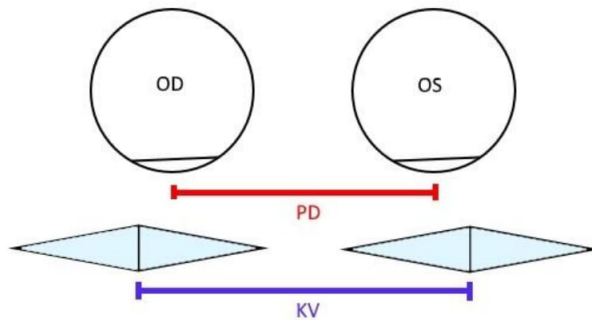
$$5 \Delta \text{ bas nas} - 2 \Delta \text{ bas temp} = \underline{3 \Delta \text{ bas nas}}$$

## 2.18 Desentraatio

Normaalissa tilanteessa silmälasilinssi mitoitetaan niin, että katselinja kulkee linssin optisen keskipisteen läpi. Prismavaikutuksen saa linssiin aikaiseksi muuttamalla linssin asennusta. Linssien keskiövälin ollessa eri kuin silmäteräväli, syntyy horisontaalisuunnan prismavaikutusta. Prismat kannan suunta riippuu siitä, onko kyseessä plus- vai miinuslinssi ja onko linssien keskiöväli suurempi vai pienempi kuin silmäteräväli. Jos linssien keskiöväli on tahattomasti eri kuin silmäteräväli, syntyy **haitallista prismavaikutusta**.



Miinuslinssi:  
 $KV > PD \rightarrow \text{BAS NAS}$   
 $KV < PD \rightarrow \text{BAS TEMP}$



Pluslinssi:  
 $KV > PD \rightarrow \text{BAS TEMP}$   
 $KV < PD \rightarrow \text{BAS NAS}$

### Esimerkki

Asiakkaalla on silmälasiresepti OD: sf -5.00 dpt, OS: sf -4.00 dpt. PD on 65mm ja linssien keskiöväli 60mm. Kuinka suuri prismavaikutus muodostuu?

Molempien silmien katselinja kulkee 5 mm optisen keskipisteen vierestä. Prismavaikutusta muodostuu:

$$\text{OD: PrD} = 0.25 \text{ cm} \cdot 5.00 \text{ dpt} = 1.25 \Delta \quad \text{OS: PrD} = 0.25 \text{ cm} \cdot 4.00 \text{ dpt} = 1.00 \Delta$$

Koska  $PD > KV$ , syntyy bas temp vaikutusta yhteensä  $1.25 \Delta + 1.00 \Delta = \mathbf{2.25 \Delta \text{ bas temp}}$

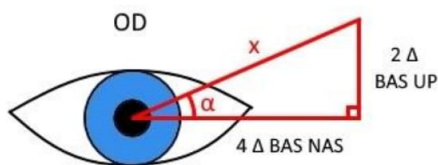


## 2.19 Vino prisma

Jos asiakkaalla on sekä horisontaali- että vertikaalisuunnan prismakorjausta, voidaan prismat yhdistää. Tällöin prisman määrä saadaan selville **Pythagoraan lauseella** ja suunta **tangenttifunktion** avulla. Vinon prisman suunta merkataan TABO-kaavion mukaisesti asteilla.

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{vastainen kateetti}}{\text{viereinen kateetti}}$$



Kuvassa yhdistetään 2 Δ bas up ja 4 Δ bas nas. Vinon prisman **määrä** x määritetään Pythagoraan lauseella:

$$x^2 = 2^2 + 4^2 = 20$$

$$x = \sqrt{20} = 4.472... \approx \underline{\underline{4.47 \Delta}}$$

**Suunta**  $\alpha$  voidaan laskea tangenttifunktiolla:

$$\tan \alpha = \frac{2}{4}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{2}{4} \right) = 26.565...^\circ \approx \underline{\underline{27^\circ}}$$

Vinon prisman laskemista helpottaa kuvan piirtäminen!

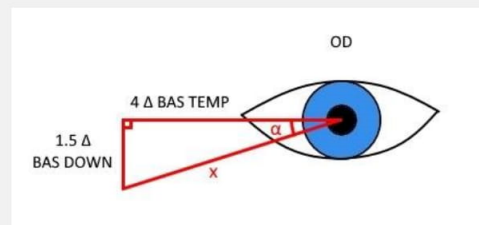
### Esimerkki

Silmälasireseptiin on merkitty OD 4 Δ bas temp ja 1.5 Δ bas down. Mikä on vinon prisman suunta ja määrä?

$$x^2 = 1.5^2 + 4^2 = 18.25 \rightarrow x = \sqrt{18.25} = 4.272 \approx \underline{\underline{4.27 \Delta}}$$

$$\tan \alpha = \frac{1.5}{4} \rightarrow \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{1.5}{4} \right) = 20.556...^\circ \approx 21^\circ$$

Vinon prisman suunta on asteilla merkattuna  $180^\circ + 21^\circ = \underline{\underline{201^\circ}}$





## 2.20 Aberraatiot

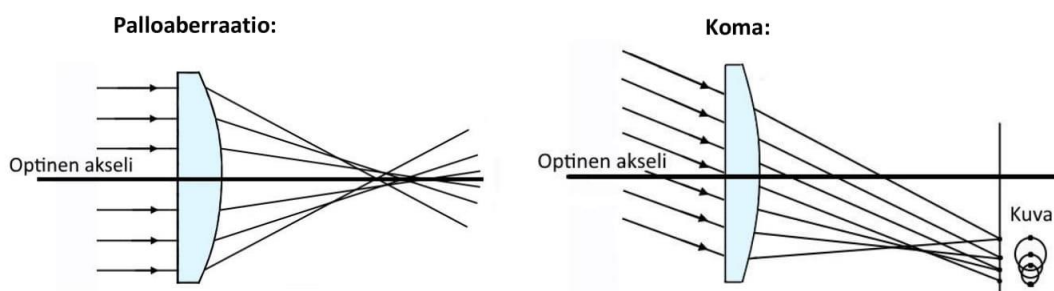
Täydellinen optinen järjestelmä muodostaa täysin yhtenevän kuvan kohteesta. Tosin kuvakoko saattaa olla hieman suurempi tai pienempi riippuen taittovoimasta. Lähestulkoon kaikissa optisissa järjestelmissä on kuitenkin kuvautumisvirheitä eli **aberraatioita**, jotka häiritsevät kuvanmuodostusta ja huonontavat näin kuvanlaatua. Niihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi materiaalin taitekertoimen, järjestelmän polttovälin ja erilaisen linssisuunnittelun avulla.

Seidelin aberraatioluokituksen mukaan kuvautumisvirheet voidaan jakaa **monokromaattisiin** ja **polykromaattisiin** aberraatioihin. Monokromaattisia aberraatioita esiintyy valossa, joka sisältää vain yhtä aallonpituutta. Ne ilmenevät siis riippumatta käytetyn valon väristä. Polykromaattisia aberraatioita taas esiintyy vain useaa aallonpituutta sisältävässä valossa.

### Palloaberraatio ja koma

Palloaberraatio ja koma ovat monokromaattisia kuvautumisvirheitä, joissa reuna-alueilta tulevat valonsäteet taittuvat valoa läpäisevässä pinnassa eri tavalla kuin keksiosan valonsäteet. Tilanne johtuu keskiosan ja reuna-alueiden kaarevuuseroista sekä sitä kautta erilaisesta taittovoimasta. Yleensä reuna-alueiden valonsäteet leikkaavat optisen akselin ennen polttopistettä. Kun valonsäteet tulevat optisen akselin suuntaisesti, tilannetta kutsutaan **palloaberraatioksi**.

Kun valonsäteet tulevat optisen akselin suunnasta poiketen vinosta suunnasta, kuvautumisvirheestä käytetään nimitystä **koma**. Se ilmenee, mikäli kohde ei sijaitse suoraan optisen akselin suuntaisesti. Pistemäisistä kohteista muodostuu tällöin komeetanmuotoinen kuva. Jos komeetan kärki osoittaa optiselle akselille, koma on positiivinen ja negatiivinen kärjen osoittaessa akselilta pois päin. Kuvassa on negatiivinen koma.



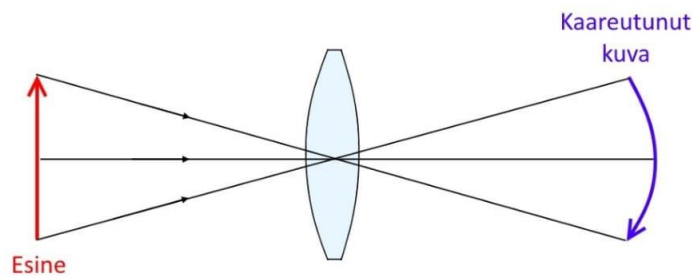
Kun kaikki valonsäteet eivät kohtaa samassa polttopisteessä, tilanne aiheuttaa sumuisuutta erityisesti reuna-alueiden kuvanmuodostuksessa.

Silmässä iris säätelee tehokkaasti pupilliaukon kokoa ja estää sitä kautta reuna-alueiden valonsäteiden pääsyä silmään. Tämän vuoksi palloaberraation ja koman vaikutukset ovat vähäisiä. Myös linssi-suunnittelu ja erityisesti asfääristen rakenteiden hyödyntäminen eliminoi aberraatioiden vaikutusta.

### Vinojen sädekimppujen astigmatismi ja kuvapinnan kaareutuminen

Kun optisen akselin suuntaiset valonsäteet läpäisevät linssin, samansuuntaiset horisontaaliset ja vertikaaliset säteet taivuttuvat samalla tavalla. Mikäli valonsäteet eivät tule kohtisuorasti optista järjestelmää kohden, horisontaaliset ja vertikaaliset valonsäteet taivuttuvat erilaisten tulokulmien vuoksi eri tavalla. Tilanne saa aikaan vaaka- ja pystysuunnan polttotasot, jotka ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Tätä monokromaattista aberraatiota kutsutaan **vinojen sädekimppujen astigmatismiksi**. Sillä on samanlainen vaikutus näönlaatuun kuin korjaamattomalla hajataitolla ja sitä ilmenee pupillikoosta huolimatta.

Kun täysin tasainen ja laajalle ulottuva kohde on optisen järjestelmän edessä, kohteen reunat ovat kauempana linssistä kuin kohtisuoraan optista akselia oleva kohteen keskiosa. Kuvautuessaan optisen järjestelmän läpi reuna-alueiden valonsäteet taivuttuvat keskiosan valonsäteisiin nähden eri tavalla ja polttoväli muuttuu. Tämä aiheuttaa **kuvapinnan kaareutumista**.



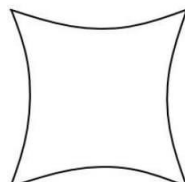
Sekä vinojen sädekimppujen astigmatismia että kuvapinnan kaareutumista voidaan estää silmälasilinsien etupintojen kaarevuussäteiden suunnittelulla. Myös silmälasikehyksen istuvuudella on merkitystä. Liian suuri kaltevuus- tai kaarevuuskulma aiheuttaa ei-toivottua sylinterivaikutusta linssiin.

### Kuvan vääristymä

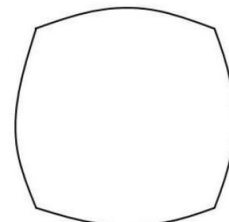
Erityisesti suurissa voimakkuuksissa linssin keskiosan ja reuna-alueiden suurennosvaikutus ei ole samanlainen. Vaikka kuva säilyy tarkkana, sen ääriviivat vääristyvät. Tätä monokromaattista aberraatiota kutsutaan **kuvan vääristymäksi eli distortioksi**. Vääristymän suuruuteen vaikuttaa sekä linssin voimakkuus että linssin koko. Pluslinssi aiheuttaa tynnymäisen ja miinuslinssi tynnyrimäisen vääristymän.



Neliönmuotoinen kohde



Tynnymäinen vääristymä



Tynnyrimäinen vääristymä

### Värihajonta

Aineen taitekerroin vaihtelee näkyvän valon eri aallonpituuksille. Vaikka aine olisi sama, lyhytaaltoiset valonsäteet taittuvat pitkäaaltoisia valonsäteitä voimakkaammin Snellin taittumislain mukaisesti. Esimerkiksi sinisenä havaittava väri taittuu optiselle akselille punaista väriä aiemmin. Tilannetta kutsutaan **värihajonnaksi eli dispersioksi**. Sitä havaitaan eri aallonpituuksista koostuvan valon läpäistessä valoa taittava kappale. Näin ollen se on siis polykromaattinen aberraatio, josta käytetään myös silmälasilinssien kanssa nimitystä **kromaattinen aberraatio**.

Värihajonnan määrä valoa läpäisevässä kappaleessa voidaan laskea kaavalla:

$$\omega = \frac{n_f - n_c}{n_d - 1}$$

$n_f$  = aineen taitekerroin aallonpituudella **486,13 nm**  
 $n_c$  = aineen taitekerroin aallonpituudella **656,27 nm**  
 $n_d$  = aineen taitekerroin aallonpituudella **587,56 nm**

Mitä suurempi tulos on, sitä enemmän värihajontaa muodostuu.

**Abben lukua** ( $v$ ) käytetään yleisesti kuvaamaan silmälasilinssissä muodostuvan dispersion määrää. Se on värihajonnan käänteisluku. Mitä pienempi luku on, sitä enemmän muodostuu värihajontaa ja kromaattista aberraatiota.

$$v = \frac{1}{\omega}$$

Värihajontaa käytetään hyödyksi esimerkiksi näöntutkimuksessa tehtävässä puna-vihertestissä

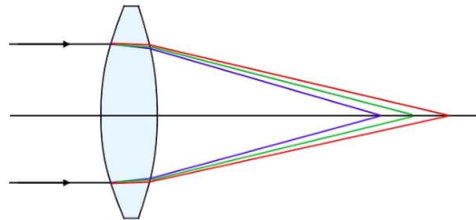
Silmälasilinssien taitekertoimet ovat yleensä ilmoitettu aallonpituudella 589 nm. Taitekerroin vaikuttaa värihajonnan määrään. Mitä suurempi taitekerroin on, sitä pienempi on Abben luku ja näin värihajontaa ilmenee myös enemmän.

Värihajonta voidaan jakaa aksiaaliseen ja poikittaiseen värihajontaan. Aksiaalinen värihajonta kuvaa eri aallonpituuksien välistä eroa dioptrioissa niiden taittuessa optiselle akselille. Poikittaisella värihajonnalla tarkoitetaan eri aallonpituuksien aiheuttamia kuvakoon muutoksia erityisesti silloin, kun mukana on prismaattista voimakkuusvaikutusta. Tällä tarkoitetaan sitä, että valonsäteet tulevat optisen akselin suuntaisesti, mutta optisen keskipisteen vierestä. Mitä suurempi etäisyys on optisesta keksipisteestä, sitä enemmän syntyy prismaattista voimakkuusvaikutusta ja poikittaista värihajontaa.

Aksiaalisen värihajonnan määrä voidaan laskea seuraavalla kaavalla. Yksikkö on dioptria.

$$LCA = \frac{F}{v}$$

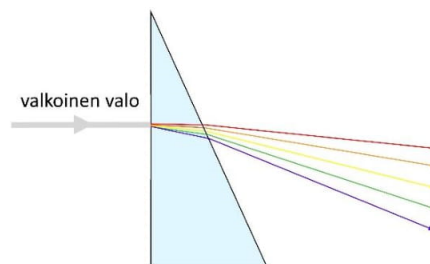
F = linssin voimakkuus ilman etumerkkiä  
aallonpituudella 589 nm  
v = materiaalin Abben luku



Poikittaisen värihajonnan määrä voidaan laskea seuraavalla kaavalla. Yksikkö on prismadioptria.

$$TCA = \frac{dF}{v}$$

d = etäisyys optisesta keksipisteestä (cm)  
F = linssin voimakkuus ilman etumerkkiä  
aallonpituudella 589 nm



Aksiaalinen värihajonta on lähes merkityksetön silmälasilinsseissä. Sen sijaan poikittaisen värihajonnan vaikutukset ovat näkyvämpiä. Se ilmenee usein värillisinä reunuksina korkeakontrastisten kohteiden reunoilla. Mikäli poikittaista värihajontaa muodostuu alle 0.1 Δ, se ei ole merkittävää.

### Esimerkki

Linssimateriaalin Abben luku on 33 ja voimakkuus -7.50 dpt. Kuinka paljon poikittaista värihajontaa muodostuu, kun katselinja kulkee 6 mm optisen keskipisteen vierestä?

$$TCA = \frac{0.6 \times 7.50 \text{ dpt}}{33} = 0.136... \Delta \approx \mathbf{0.14 \Delta}$$

**Värihajonta on siis merkittävää**

Linssien oikeaoppinen asemointi on tärkeää, jotta vältetään turhilta kuvautumisvirheilä.

## 2.21 Näköalueet ja akkommodaatio

Silmässä valoa taivuttavat sekä silmän etuosassa oleva sarveiskalvo, että silmän sisällä sijaitseva mykiö. Sarveiskalvon taivutvoima on vakio, mutta mykiön taivutvoimaan vaikuttaa sen muoto, jota säädelään sädelihaksilla. Lähelle katsoessa mykiön muoto muuttuu kuperammaksi eli silmän taivutvoima lisääntyy ja lähellä oleva kohde nähdään tarkkana. Mykiön mukautumista katseluetäisyydestä riippuen kutsutaan silmän **akkommodaatioksi**. Ikääntyessä mykiön kimmoisuus vähenee ja lähelle tarkentaminen vaikeutuu akkommodaation heikentyessä.

Laskennallisesti akkommodaation laajuus (a-laajuus) ikään nähden voidaan määrittää **Hofstetterin** kaavalla:

minimiarvo:

$$15 - 0.25 \times ikä$$

ikä	a-laajuus
20 v.	10 dpt
30 v.	7.5 dpt
40 v.	5 dpt
50 v.	2.5 dpt
60 v.	0 dpt

Ihminen käyttää akkommodaatiolaajuudesta miellyttävästi  $\frac{1}{2} - \frac{2}{3}$

Etäisyyksiä, jolle ihminen näkee tarkasti, kutsutaan näköalueeksi. Näköalue esitetään kaukopisteen ja lähipisteen avulla. Näihin etäisyyksiin vaikuttavat sekä silmän taivutvirhe että a-laajuus.

**Kaukopiste (KP)** tarkoittaa etäisyyttä, jolle henkilö näkee tarkasti kauimmillaan.

**Lähipiste (LP)** tarkoittaa lähintä etäisyyttä, jolle henkilö näkee tarkasti.

### Emmetrooppi silmä

Kaukopiste on äärettömydessä ja lähipiste on akkommodaatiolaajuuden käänteisluku. Tilanne on sama, jos taivutvirhe on korjattu esimerkiksi silmälasilla.

Huom!

Jos emmetroopin silmän eteen laittaa pluslinssin, silmästä tulee myoppinen. Vastaavasti miinuslinssillä silmästä tulee hyperooppinen.

### Esimerkki

Asiakkaan taivutvirhe on sf -2.00 dpt OA ja hänellä on kasvoillaan -2.00 dpt silmälasit. A-laajuus on 8 dpt, josta asiakas käyttää miellyttävästi puolet. Mille etäisyyksille asiakas näkee?

Taivutvirhe on korjattu, joten  $KP = \infty$

Miellyttävästi asiakas käyttää akkommodaatiota 4 dpt, joten  $LP = \frac{1}{4 \text{ dpt}} = 0.25 \text{ m}$

Asiakas näkee äärettömyydestä 25 senttiin asti.



### Myoppi silmä

Ilmän taittovirheen korjausta kaukopiste muodostuu silmän eteen ja lähietäisyydelle nähdään tarkasti.

$$KP = \frac{1}{\text{taittovirhe}}$$

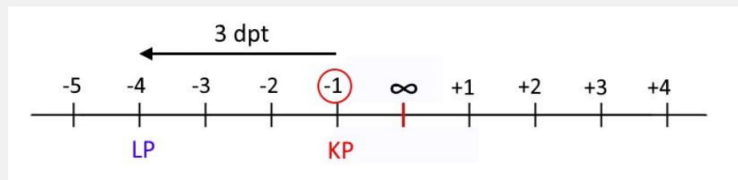
$$LP = \frac{1}{\text{taittovirhe} - a\text{-laajuus}}$$

#### Esimerkki

Silmän taittovirhe on -1.00 dpt. Akkommodaatiolaajuutta on käytössä miellyttävästi 3 dpt. Mille etäisyyksille silmä näkee tarkasti?

$$KP = \frac{1}{-1 \text{ dpt}} = -1 \text{ m}$$

$$LP = \frac{1}{-1 \text{ dpt} - 3 \text{ dpt}} = \frac{1}{-4 \text{ dpt}} = -0.25 \text{ m}$$



Silmä näkee 1 m → 25 cm

### Hyperooppi silmä

Ilmän taittovirheen korjausta kaukopiste muodostuu silmän taakse eli millekään etäisyydelle ei nähdä tarkasti. Jos a-laajuus  $\geq$  taittovirhe, siirtyy kaukopiste akkommodaation avulla äärettömyyteen. Osa akkommodaatiosta on siis koko ajan käytössä, jotta kauas näkee tarkasti. Lähipiste muodostuu sen mukaan, kuinka paljon akkommodaatiota on vielä käytettävissä

$$KP = \infty, \text{ jos } a\text{-laajuus} \geq \text{taittovirhe}$$

$$LP = \frac{1}{\text{taittovirhe} - a\text{-laajuus}}$$

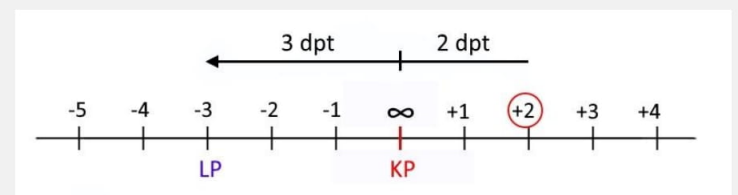
#### Esimerkki

Silmän taittovirhe on sf +2.00 dpt. Akkommodaatiolaajuutta on käytössä miellyttävästi 5 dpt. Mille etäisyydelle silmä näkee tarkasti?

$KP = \infty$ , sillä a-laajuus  $\geq$  taittovirhe

$$LP = \frac{1}{+2 \text{ dpt} - 5 \text{ dpt}} = \frac{1}{-3 \text{ dpt}} \approx -0.33 \text{ m}$$

Silmä näkee  $\infty$  → 33 cm



### Näköalueet erilaisilla silmälasilinsseillä

Aiemmissa esimerkeissä näköalueita käsiteltiin vaihtoehdoilla, joissa taittovirhe oli korjaamattomana tai korjattu taittovirheen mukaisella yksitehokorjauksella. Tilanne kuitenkin muuttuu, mikäli korjaus suoritetaan linsillä, jonka voimakkuus on erilainen kauas ja lähelle katsottaessa. Tällöin näköalueet lasketaan erikseen kauko- ja lähivoimakkuudella.

Mikäli asiakkaalla on taittovirheen mukaiset silmälasit käytössään, kaukoalueen kaukopiste on äärettömyydessä ja lähipiste on a-laajuuden käänteisluku. Lähiläisen käänteisluku määrittää suoraan lähialueen kaukopisteen. Lähialueen lähipiste saadaan lisäämällä lähiläisä käytössä olevaan a-laajuuteen ja ottamalla summasta käänteisluku.

#### Kaukoalue:

$$KP = \infty,$$

jos taittovirhe on korjattu

$$LP = \frac{1}{a\text{-laajuus}}$$

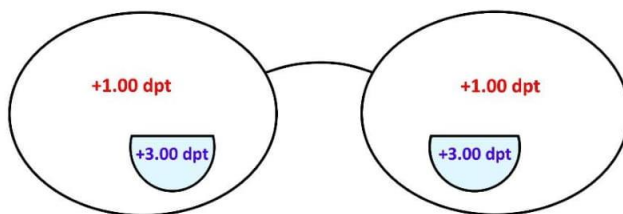
#### Lähialue:

$$KP = \frac{1}{\text{lähiläisä}}$$

$$LP = \frac{1}{\text{lähiläisä} + a\text{-laajuus}}$$

**Kaksitehosilmälaseissa** linssin alaosassa on rajattu alue, jossa on lähikatseluun tarvittava voimakkuus eli kaukovoimakkuus + lähiläisä. Linssin muissa osissa on kaukovoimakkuus. Kaksiteholinssi on käytännössä yksiteholinssi, johon on liitetty erillinen alue lähiläisää varten. Näköalue lasketaan erikseen kauko- ja lähialueille yllä olevien kaavojen mukaisesti. Mikäli alueet menevät osittain päällekkäin, ei muodostu katsealuetta, jolle asiakas ei näe tarkasti millään linssin osalla.

Asiakkaan taittovirhe on OA sf +1.00 dpt ja lähiläisä +2.00 dpt. Linssin kauko-osassa voimakkuus on **+1.00 dpt** ja lähiosassa +1.00 dpt + (+2.00 dpt) = **+3.00 dpt**.



Kaksiteholinssi ei aiheuta samanlaisia vääristymiä linssin reuna-alueille kuin moniteho

### Esimerkki

Asiakkaalla on käytössään taittovirheen mukaiset kaksitehosilmäläsit. Silmäläsin kaukovoimakkuus on OA sf -4.00 dpt ja lähilisiä +1.50 dpt. Akkommodaatiolaajuutta on käytössä miellyttävästi 2 dpt. Mille etäisyyksille asiakas näkee tarkasti?

Kaukoalue:

KP =  $\infty$ , sillä taittovirhe on korjattu

$$LP = \frac{1}{2 \text{ dpt}} = 0.5 \text{ m}$$

**Asiakas näkee silmäläsin kauko-osalla  $\infty \rightarrow 50 \text{ cm}$**

Lähialue:

$$KP = \frac{1}{1.50 \text{ dpt}} \approx 0.67 \text{ m}$$

$$LP = \frac{1}{1.50 \text{ dpt} + 2 \text{ dpt}} \approx 0.29 \text{ m}$$

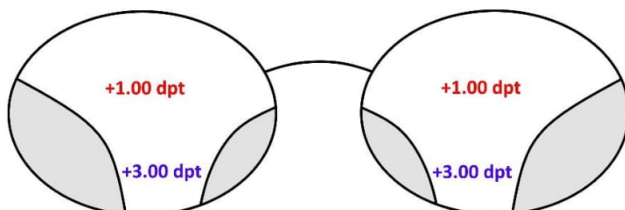
**Asiakas näkee silmäläsin lukuosalla 67 cm  $\rightarrow$  29 cm**

**Asiakkaan näköalue silmälaseilla on  $\infty \rightarrow$  29 cm**

*Mikäli akkommodaatiolaajuus olisi ollut 1.0 dpt, näköalue silmälaseilla olisi kauko-osalla  $\infty \rightarrow$  1 m ja lähiosalla 67 cm  $\rightarrow$  40 cm. Tällöin 1m-67cm etäisyydelle jää katvealue, jolle asiakas ei näe tarkasti ollenkaan.*

**Monitehosilmäläsin** voimakkuus muuttuu portaattomasti kaukovoimakkuudesta tarvittavaan lähivoimakkuuteen. Portaattomasta muutoksesta johtuen näköalue on suoraan kauko-osan kaukopisteestä lähiosan lähipisteeseen. Kaukopiste on äärettömydessä, mikäli taittovirhe on korjattu. Lähipiste määräytyy lähilisän ja käytössä olevan akkommodaatiolaajuuden mukaan.

Jos taittovirhe on OA sf +1.00 dpt ja lähilisiä +2.00 dpt, linssin yläosassa on kaukovoimakkuus **+1.00 dpt** ja voimakkuus muuttuu portaattomasti linssin alaosaan lähivoimakkuuteen **+3.00 dpt**.



Harmaat alueet linssissä ovat vääristymäaluetta. Moniteholinssin rakenteesta johtuen linssin reuna-alueilla on aina vääristymiä.



### Esimerkki

Asiakkaalla on käytössään taittovirheen mukaiset monitehosilmälasit. Silmälasien kaukovoimakkuus on OA sf +1.25 dpt ja lähilisiä +1.25 dpt. Akkommodaatiolaajuutta on käytössä miellyttävästi 3.0 dpt. Mille etäisyyksille asiakas näkee tarkasti?

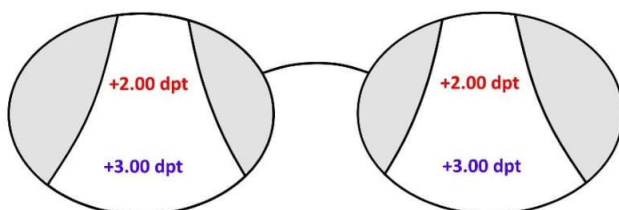
KP = ∞, sillä taittovirhe on korjattu

$$LP = \frac{1}{1.25 \text{ dpt} + 3.0 \text{ dpt}} \approx 0.24 \text{ m}$$

**Asiakkaan näköalue monitehosilmälaseilla on ∞ → 24 cm**

**Lähityölaseissa**, kuten syväterävissä silmälaseissa voimakkuus muuttuu myös portaattomasti. Syväterävän linssin yläosassa on degression mukainen osuus lähilisästä. Kun lähivoimakkuudesta vähennetään degressio, saadaan linssin yläosan voimakkuus selville. Lasketun erotuksen käänteisarvo on kaukopiste. Lähipiste määräytyy lähilisän ja käytössä olevan akkommodaatiolaajuuden mukaan.

Asiakkaan taittovirhe on OA sf +1.00 dpt, lähilisiä +2.00 dpt ja linssin degressio 1.00 dpt. Linssin alaosassa on lähivoimakkuus **+3.00 dpt** ja voimakkuus muuttuu portaattomasti linssin yläosaan. Linssin yläosassa on degression mukainen osuus lähilisästä eli **+2.00 dpt**. Linssin millään kohdalla ei näe äärettömyyteen.



Lähityölaseissa reuna-  
alueiden vääristymiä on  
vähemmän linssin alaosassa,  
sillä linssi on suunnattu  
lähikatseluun

### Esimerkki

Asiakkaan taittovirhe on OA sf +3.50 dpt ja lähilisiä +1.75 dpt. Hänellä on käytössään taittovirheen mukaiset syväterävät silmälasit, joiden degressio on 0,75 dpt. Akkommodaatiolaajuutta on käytössä miellyttävästi 1.50 dpt. Mille etäisyyksille asiakas näkee tarkasti?

$$KP = \frac{1}{1.75 \text{ dpt} - 0.75 \text{ dpt}} = 1 \text{ m}$$

$$LP = \frac{1}{1.75 \text{ dpt} + 1.50 \text{ dpt}} \approx 0.31 \text{ m}$$

**Asiakkaan näköalue syväterävillä silmälaseilla on 1 m → 31 cm**

## 3. Piilolinssioptiikka

Joissakin tapauksissa piilolinssit ovat optisesti parempi vaihtoehto kuin silmälasit. Niiden kanssa ei synny samanlaisia vääristymiä ja epätarkkuuksia, joita ilmenee silmälasilinssien reuna-alueilla, kun korjataan suuria taittovirheitä. Tämä johtuu siitä, että piilolinssit mukailevat koko ajan silmän liikkeitä, jolloin optinen keskipiste pysyy oikeassa kohdassa myös sivulle katsottaessa. Samasta syystä piilolinssien kanssa ei myöskään synny haitallista prismavaikutusta.

### 3.1 Piilolinssimerkinnät

**PWR/SPH/SF** = sfäärinen voimakkuus

**CYL** = sylinterivoimakkuus

**AX** = akselisuunta

**ADD** = lähilisiä

**DIA** = piilolinssin halkaisija (mm)

**BC** = base curve = peruskaarevuus, joka ilmaisee piilolinssin kaarevuussäteen (mm)

**FOZR** = piilolinssin etupinnan kaarevuus

**BOZR** = piilolinssin takapinnan kaarevuus

**DD/DW** = daily disposable/ daily wear = kertakäyttö

**EW** = extended wear = jatkuva käyttö

**FTW** = full time wear = yötä päivää käyttö

**RGP** = rigid gas permeable = kova happea läpäisevä piilolinssi

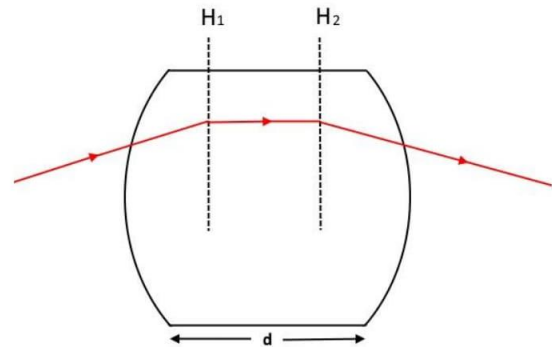
**Dk** = materiaalin hapenläpäisykyky, jossa D on hapen liikkumisnopeudesta kertova luku ja k on hapen määrästä kertova luku.

**Dk/t** = materiaalin hapenläpäisykyky suhteessa linssin paksuuteen, jossa t ilmaisee linssin paksuuden (cm).

**OK/123** = piilolinssissä oleva merkintä, joka kertoo käyttäjälle, onko linssi oikeinpäin. Merkintää ei ole kaikissa linssissä.

## 3.2 Paksu linssi

Piilolinssit käsitellään paksuina linseinä, vaikka ne ovat ulkonäöllisesti hyvin ohuita. Suurin ero ohuen ja paksun linssin välillä on se, että ohuessa linssissä valon taittuminen tapahtuu yksinkertaisemmin. Ohut linssi valmistetaan niin ohueksi, että kun valo osuu linssiin, sen ajatellaan taittuvan vain yhdessä rajapinnassa. Puolestaan paksussa linssissä pitää aina huomioida sekä etummainen ( $H_1$ ) että takimmainen ( $H_2$ ) rajapinta. Kun valo osuu paksuun linssiin, se taittuu ensin ensimmäisellä rajapinnalla, jonka jälkeen se jatkaa kulkeutumistaan linssissä ja taittuu toiselle rajapinnalle.



Paksun linssin voimakkuuden määrittäminen eroaa ohuesta linssistä siten, että laskukaavassa otetaan huomioon myös linssin paksuus. Jotta paksun linssin voimakkuus saadaan selville, täytyy ensin tietää linssin etu- sekä takapinnan voimakkuus.

$$D_{tot} = D_1 + D_2 - \frac{d}{n} D_1 D_2$$

$D_{TOT}$  = linssin kokonaistaittovoima

$D_1$  = etupinnan voimakkuus

$D_2$  = takapinnan voimakkuus

$d$  = linssin paksuus (m)

$n$  = piilolinssin taitekerroin

Piilolinssin etu- ja takapinnan voimakkuudet saadaan laskettua kaavalla:

$$D = \frac{n' - n}{r}$$

$D$  = pinnan voimakkuus

$n$  = rajapintaa edeltävän aineen taitekerroin

$n'$  = rajapinnan jälkeisen aineen taitekerroin

$r$  = pinnan kaarevuus (m)

### Esimerkki

Laske piilolinssin pintojen voimakkuudet ja vahvuus ilmassa. Piilolinssin taitekerroin on 1.44 ja paksuus 0.2 mm. FOZR = 7.6 mm, BOZR = 7.8 mm.

$$D_1 = \frac{1.44 - 1.0}{0.0076 \text{ m}} = +57.894 \dots \text{ dpt}$$

$$D_2 = \frac{1.00 - 1.44}{0.0078 \text{ m}} = -56.410 \dots \text{ dpt}$$

$$D_{tot} = +57.894 \dots \text{ dpt} + (-56.410 \dots \text{ dpt}) - \frac{0.0002 \text{ m}}{1.44} \times 57.894 \dots \text{ dpt} \times (-56.410 \dots \text{ dpt}) = 1.9380 \dots \text{ dpt} \approx 1.94 \text{ dpt}$$

**Piilolinssin voimakkuus on +1.94 dpt.**

### 3.3 Pintavälin vaikutus

Pintavälin vaikutus voimakkuuteen on merkittävä korjauksen ollessa yli 4 dioptriaa. Miinuslinssin siirtyessä lähemmäs silmää, sen polttoväli kasvaa. Tällöin silmään kohdistuva vaikutus voimistuu eli korjaus muuttuu liian vahvaksi. Sen vuoksi miinusmerkkisen piilolinssin voimakkuus on silmälaseissa olevaa korjausta miedompi, jotta se vastaa edelleen silmän tarvitseman korjauksen määrää. Pluslinssissä muutos on päinvastainen eli pintavälin pienentyessä polttovälin pituus lyhenee ja voimakkuus miedontuu. Tällöin piilolinssin voimakkuus täytyy olla silmälaseja vahvempi. Pintaväli muutos tehdään kaavalla:

$$D_p = \frac{D_s}{1 - PV \times D_s}$$

$D_p$  = piilolinssin voimakkuus  
 $D_s$  = silmälasilinssin voimakkuus  
 $PV$  = pintavälimuutoksen määrä (m)

#### Esimerkki

Silmäläsvoimakkuus on OD sf -8.75 dpt cyl -1.75 dpt ax 180°. Laske sopiva piilolinssivoimakkuus, kun  $PV = 12$  mm.

Pintavälimuutos tehdään erikseen sfäariselle voimakkuudelle -8.75 dpt ja sylinterisuunnan voimakkuudelle -10.50 dpt.

$$D_1 = \frac{-8.75}{1 - 0,012 \times (-8.75)} \approx -7.92 \rightarrow 7.75 \text{ dpt}$$

$$D_2 = \frac{-10.50}{1 - 0,012 \times (-10.50)} \approx -9.33 \rightarrow 9.25 \text{ dpt}$$

**Piilolinssivoimakkuudeksi saadaan OD sf -7.75 dpt cyl -1.50 dpt ax 180°**

Miinuslinseissä voimakkuuden pyöristys tehdään alaspäin, pluslinseissä ylöspäin!

miinuslinssi	silmälasit (PV=12 mm)	pluslinssi
-3.75	<b>±4.00</b>	+4.25
-5.50	<b>±6.00</b>	+6.50
-7.25	<b>±8.00</b>	+8.75
-9.00	<b>±10.00</b>	+11.00
-9.75	<b>±11.00</b>	+12.25
-10.50	<b>±12.00</b>	+13.50
-11.25	<b>±13.00</b>	+14.75
-12.00	<b>±14.00</b>	+16.00

Vieressä on taulukko, joka havainnollistaa pintavälin muutoksen vaikutusta piilolinssin voimakkuuteen. Tarvittavan muutoksen määrään vaikuttaa kuitenkin aina lasketun tuloksen pyöristäminen oikeaan suuntaan. Pääsääntönä voidaan pitää, että piilolinseihin pyritään laittamaan pienin mahdollinen miinus- tai suurin mahdollinen plusvoimakkuus. Laskelmat ovat kuitenkin vain suuntaa antavia ja lopulliseen tulokseen vaikuttaa aina asiakkaan subjektiivinen kokemus.

### 3.4 Sfäärinen ekvivalentti

Sfääriseksi ekvivalentiksi kutsutaan ratkaisua, jossa hajataiteiselle silmälle lasketaan sellainen sfäärinen voimakkuus, jonka vaikutus vastaa parhaiten tarvittavan toorisen linssin voimakkuutta. Tätä tietoa tarvitaan usein pienissä hajataiteisuuksissa tai monitehopiilolinssisovituksissa, jolloin linsejä ei ole saatavilla tarvittavassa sylinterivoimakkuudessa.

Sfäärinen ekvivalentti saadaan selville, kun sfääriseen voimakkuuteen lisätään puolet sylinterin määrästä:

$$D_{SE} = D_{SF} + \frac{D_{CYL}}{2}$$

$D_{SE}$  = sfäärinen ekvivalentti  
 $D_{SF}$  = sfäärinen voimakkuus  
 $D_{CYL}$  = sylinterin määrä

#### Esimerkki

Asiakkaan taittovirhe on OD sf -1.00 dpt, OS sf -0.50 dpt cyl -1.00 dpt ax 180°. Minkä voimakkuuden valitset vasempaan silmään, kun saatavilla on vain sfäärisiä linsejä?

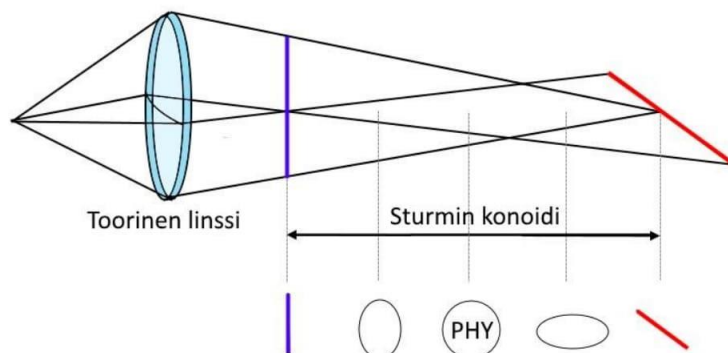
$$D = -0.50 \text{ dpt} + \frac{-1.00 \text{ dpt}}{2} = \underline{-1.00 \text{ dpt}}$$

**Vasempaan silmään sovitetaan linssi voimakkuudella -1.00 dpt**

#### Sturmin konoidi ja pienimmän hajonnan ympyrä

Hajataiteinen silmä ei muodosta yhtä polttopistettä kuten sfäärinen silmä, vaan se muodostaa kaksi toisiaan vasten kohtisuorassa olevaa kuvautumis- eli polttotasoa. Näiden tasojen välistä aluetta kutsutaan Sturmin konoidiksi. Kuvautumistasojen puoliväliin muodostuu ympyrä, jota kutsutaan pienimmän hajonnan ympyräksi (PHY). Pienimmän hajonnan ympyrässä kuvautunut kohde on tarkimmillaan, mutta ei tarkka.

Sfäärisen ekvivalentin toiminta perustuu siihen, että lasketun sfäärisen voimakkuuden polttopiste muodostuu samaan kohtaan kuin toorisen linssin muodostama pienimmän hajonnan ympyrä.

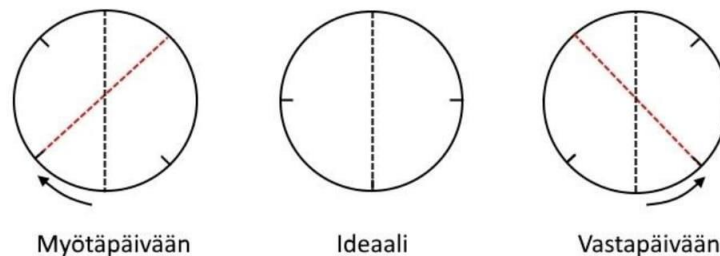




### 3.5 Toorisen piilolinssin kiertyminen

Toorisen piilolinssin toimivuuden kannalta, on tärkeää pyrkiä valitsemaan sellainen linssi, joka istuu silmässä mahdollisimman stabiilisti. Jotta linssi pysyisi oikeassa asennossa, on sen stabilisoinniseksi kehitelty erilaisia asennon vakauttamismenetelmiä. Yleisin ja eniten käytetty näistä menetelmistä on **prismapainotus**, jonka toiminta perustuu linssiin kohdistuvaan paineeseen, jonka yläluomi aiheuttaa räpäytyksessä. Silmäluomien anatomialla onkin ratkaiseva merkitys piilolinssin kiertymisessä ja stabiilisuudessa. Tiukat luomet aiheuttavat helposti räpäytyksessä liian voimakkaan puristuksen linssiin, jolloin voi aiheutua linssin kiertymistä ja epävakautta.

Sopivaa toorista piilolinssiä valitessa tulee pyrkiä siihen, että linssin voimakkuudet ovat mahdollisimman lähellä asiakkaan oikeaa taittovirhettä. Voimakkuudessa täytyy kuitenkin muistaa huomioida pintavälin vaikutus ja akselisuunnassa piilolinssin kiertyminen. Kiertymistä arvioidaan mikroskopoidessa piilolinssiin kaiverretuista kiertymismerkeistä. Säännömukaista hajataitteisuutta korjataan miinussylinterilinssillä, jonka akselisuunta on lähelle 180° ja päinvastoin säännönvastaista hajataittoa linssillä, jonka akselisuunta on lähemmäs 90°. Yleisimpiä toorisia piilolinssijä on saatavilla 10° välein. Jos kiertymisen myötä tarvittava akselisuunta määräytyy kahden eri suunnan välille esimerkiksi suunta 165°, tulee tilattavaan linssiin valita suunnaksi se, joka on lähempänä vallitsevaa hajataittoa suuntaa. Tässä tapauksessa halutaan lähemmäs säännömukaista 180° eli valitaan tilattavaan linssiin akselisuunnaksi 170°.



**Sääntö:**  
**LARS = LEFT ADD – RIGHT SUBTRACT**  
"Vastapäivään vähennä"

#### Esimerkki

Sovitetun toorisen piilolinssin voimakkuus on OD sf -2.00 dpt cyl -1.25 dpt ax 160°. Kun linssi on asettunut silmään, huomataan, että se kiertyy 10° astetta vasemmalle. Millaisella voimakkuudella piilolinssi tilataan, kun huomioidaan linssin kiertyminen silmässä?

Sääntö: **LEFT → ADD**      Ax = 160° + 10° = 170°

Toorinen piilolinssi tilataan voimakkuudella **OD sf -2.00 dpt cyl -1.25 dpt ax 170°**

### 3.6 Keratometriarvot

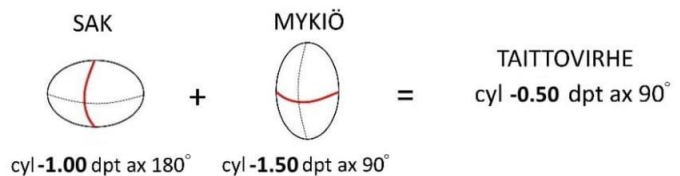
Jotta saadaan valittua jokaiselle asiakkaalle mitoitetaan sopivin piilolinssityyppi, tulee huomioida sarveiskalvon kaarevuus (R1, R2), sarveiskalvon halkaisija (HVID/ CS), sarveiskalvon hajataiteisuus (CYL) sekä silmän taittovirheen määrä.

Sarveiskalvon etupinnan muodon määrittämiseen käytetään apuna keratometrimitausta. Sillä saadaan mitattua sarveiskalvon keskeisen alueen kaarevuussäteet noin 2-4mm alueelta. Hyvin harvoin sarveiskalvo on täysin sfäärinen, sillä sen muoto yleensä loivenee reunoja kohden. Kaarevuus ei kuitenkaan loivene säännöllisesti, minkä vuoksi sarveiskalvo on usein hajataitteinen. Keratometrin mittaamien kaarevuussäteiden avulla saadaan laskettua sarveiskalvon taittovoima sekä hajataiteisuuden määrä. Keratometrin antama dioptrialinen arvo ei kerro sarveiskalvon etupinnan voimakkuutta, vaan se antaa arvion koko sarveiskalvon voimakkuudesta. Tämän vuoksi sarveiskalvon voimakkuutta laskettaessa käytetään redusoitua taitekerrointa.

$$n_{\text{SAK}} = 1.3375 \quad (\text{redusoitu arvo})$$

Myös mykiö voi olla hajataitteinen. Silmän hajataiteisuus muodostuu sarveiskalvon ja mykiön hajataiteisuuksien yhdistelmästä.

Mykiön hajataiteisuus voi olla eri suuntaan kuin sarveiskalvolla, jolloin taittovirheen hajataiteisuus on pienempi kuin sarveiskalvon hajataiteisuus. Viereisessä kuvassa on merkitty jyrkempi kaarevuus punaisella.



NAME		M/F	
22/JAN/2018		11:25	
VD=12.00mm		No. 1854	
<R>	SPH	CYL	AX
AVE	-0.75	-0.25	121
1	-1.00	-0.25	101
2	-0.75	-0.25	130
3	-0.75	-0.25	129
PS 6.2			
<L>	SPH	CYL	AX
AVE	-0.50	-0.75	10
1	-0.50	-0.75	12
2	-0.25	-0.75	7
3	-0.50	-0.75	11
PS 6.3			
PD 61			
<R>	mm	D	deg
<R1	7.75	43.55	149>
<R2	7.68	43.95	59>
<AVG	7.72	43.72	>
<CYL		-0.40	149>
CS 12.2			
<L>	mm	D	deg
<R1	7.70	43.83	31>
<R2	7.62	44.29	121>
<AVG	7.66	44.06	>
<CYL		-0.46	31>
CS 12.3			
AUTOREFU2.0			

#### Esimerkki

Laske OD sarveiskalvon voimakkuus, kun keratometriarvot ovat: R1 7.75 mm @149° ja R2 7.68 mm @59°

Sarveiskalvon etupintaan tullaan ilmasta, jolloin n = 1.0 ja n' = 1.3375.

$$D @149^\circ = \frac{1.3375-1.0}{0.00775 \text{ m}} = 43.548... \text{ dpt} \approx 43.55 \text{ dpt} \quad D @59^\circ = \frac{1.3375-1.0}{0.00768 \text{ m}} = 43.945... \text{ dpt} \approx 43.95 \text{ dpt}$$

Sarveiskalvon hajataiteisuuden määrä saadaan laskettua, kun sen loivemman suunnan voimakkuudesta vähennetään jyrkemmän suunnan voimakkuus.  $D_{\text{cyl}} = 43.95 \text{ dpt} - 43.55 \text{ dpt} = 0.40 \text{ dpt}$

**Sarveiskalvon voimakkuus on sf +43.95 dpt cyl -0.40 dpt ax 14°**

# Kaavakokoelma

Linssikoon laskeminen:

$$KV - PD + \text{linssi aukon suurin halkaisija} + 2\text{mm (hiontavara)}$$

Taitekerroin:

$$n = \frac{c}{v}$$

Snellin laki:

$$\sin\alpha \cdot n = \sin\beta \cdot n'$$

Heijastuskerroin:

$$R = \left[ \frac{n' - n}{n' + n} \right]^2$$

Kokonaisheijastus:

$$\sin\alpha_r = \frac{n'}{n}$$

Fresnelin yhtälöt:

$$I_{\perp} = \frac{I_0}{2} \times \frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')}$$

$$I_{\parallel} = \frac{I_0}{2} \times \frac{\tan^2(i-i')}{\tan^2(i+i')}$$

Valon kokonaisintensiteetti:

$$I_0 = I_{\parallel} + I_{\perp}$$

Polarisaatioaste:

$$V = \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}}$$

Brewsterin kulma:

$$\tan\theta = \frac{n'}{n}$$

Aallonpituus väliaineessa:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

Valomaksimi ja -minimi:

$$2nd = k \frac{\lambda}{2}$$

$$2nd + \frac{\lambda}{2} = k \frac{\lambda}{2}$$

Heijastuskerroin:

$$R = \left[ \frac{n_1^2 - n_0 n_2}{n_1^2 + n_0 n_2} \right]^2$$

Ohuen linssin taittovoima:

$$D = \frac{n}{f'}$$

Linssin kokonaistaittovoima:

$$D_{tot} = D_1 + D_2$$

Linssin etu- ja takapinnan taittovoima:

$$D_1 = \frac{n' - n}{r_1}$$

$$D_2 = \frac{n' - n}{r_2}$$

Toorisen linssin voimakkuus halutussa suunnassa:

$$D_t = (\sin\alpha)^2 D_c + D_s$$



Gaussin kuvausyhtälö:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

Sivusuurennos:

$$M = \frac{s'}{s}$$

Kuvan koko:

$$y' = y \times M$$

Kuvasuurennos:

$$M = \left( \frac{1}{1-dF_v} \right) \left( \frac{1}{1-\left(\frac{t}{n}\right)F_1} \right)$$

Prenticen kaava:

$$PrD = d \times F$$

Pythagoraan lause:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

Tangenttifunktio:

$$\tan \alpha = \frac{\text{vastainen kateetti}}{\text{viereinen kateetti}}$$

Värihajonta:

$$\omega = \frac{n_f - n_c}{n_d - 1}$$

Abben luku:

$$v = \frac{1}{\omega}$$

Aksiaalinen värihajonta:

$$LCA = \frac{F}{v}$$

Poikittainen värihajonta:

$$TCA = \frac{dF}{v}$$

Hofstetterin minimi:

$$15 - 0.25 \times \text{ikä}$$

Paksun linssin taittovoima:

$$D_{tot} = D_1 + D_2 - \frac{d}{n} D_1 D_2$$

Pintavälin vaikutus:

$$D_p = \frac{D_s}{1 - PV \times D_s}$$

Sfäärinen ekvivalentti:

$$D_{SE} = D_{SF} + \frac{D_{CYL}}{2}$$

# Tehtävät

## Linssikoon määrittäminen

1. Asiakkaan PD on 58 mm. Kehyksessä on merkintä **AR5067 2215 49 – 20 145** ja linssiäukon suurin halkaisija on 55 mm. Kuinka suuri linssin halkaisija tarvitaan?
2. Linssiä on saatavilla tarvittavalla voimakkuudella halkaisijalla 65 mm. Asiakkaan PD on 62 mm, kehyksen KV on 70 mm ja linssiäukon halkaisija on 57 mm. Riittääkö saatavilla olevan linssin halkaisija?

## Valon taittuminen

3. Valo saapuu ilmasta linssin ( $n = 1.6$ ) pintaan  $36^\circ$  kulmassa. Kuinka suuri on valon taitekulma?
4. Valo saapuu ilmasta  $25^\circ$  kulmassa linssin pintaan. Valon taitekulma on  $15^\circ$ . Mikä on linssin taitekerroin?
5. Valo saapuu ilmasta lasiin ( $n = 1.5$ ), jonka takana on vettä. Valo saapuu lasiin  $31^\circ$  kulmassa. Mikä on valon taitekulma lasista veteen?

## Valon heijastuminen

6. Valo saapuu ilmasta veteen. Kuinka paljon valoa heijastuu?
7. Valosta heijastuu ilman ja lasin rajapinnasta 6 %. Mikä on lasin taitekerroin?
8. Valo saapuu lasista ( $n = 1.5$ ) ilmaan  $50^\circ$  kulmassa. Tapahtuuko kokonaisheijastus?

## Valon polarisaatio

9. Valonsäteet saapuvat  $33^\circ$  kulmassa aineiden rajapinnalle ja taitekulma on  $45^\circ$ . Kuinka suuri on taittuneiden valonsäteiden osuus tulevasta valosta? Mikä on polarisaatioaste?
10. Kuinka suuressa kulmassa valon on tultava vedestä lasin ( $n = 1.52$ ) rajapintaan, jotta heijastunut valo on täydellisesti polarisoitunutta?

## Valon interferenssi

11. Linssin ( $n = 1.74$ ) päällä on ohut kalvo ( $n = 1.5$ ). Laske kaksi mahdollista kalvon paksuutta, joilla keltainen ( $\lambda = 570$  nm) heikentyy valon heijastuessaan takaisin ilmaan. Kuinka suuri osa valosta heijastuu?
12. Linssin ( $n = 1.5$ ) päällä on ohut kalvo ( $n = 1.6$ ). Mikä väri vahvistuu valon heijastuessa, kun kalvon paksuus on 100 nm?

13. Valo tulee linssin ( $n = 1.59$ ) pintaan ilmasta. Linssin pinnalla on heijastuksenestokalvo, jolla pyritään poistamaan heijastus kokonaan. Mikä on ohuimman mahdollisen kalvon taitekerroin ja paksuus? Käytä tehtävässä valon aallonpituutta 555 nm.

## Ohuen linssin taittovoima

14. Linssin voimakkuus on vedessä +3.0 dpt. Mikä on linssin voimakkuus ilmassa?
15. Linssin etupinnan kaarevuussäde on +0.4 m ja takapinnan -0.3 m. Mikä on linssin ( $n = 1.60$ ) voimakkuus, kun sen edessä on ilmaa ja takana vettä?
16. Linssin ( $n = 1.67$ ) kokonaistaittovoima on ilmassa -2.0 dpt. Takapinnan kaarevuussäde on +0.5 m. Mikä on etupinnan kaarevuussäde?

## Toorisen linssin voimakkuus

17. Muuta asiakkaan silmälasiresepti miinussylinterille.  
OD: sf -5.00 dpt cyl +2.00 dpt ax  $15^\circ$   
OS: sf -4.50 dpt cyl +1.25 dpt ax  $140^\circ$
18. Voimakkuus on suunnassa  $100^\circ$  -2.00 dpt ja suunnassa  $10^\circ$  +1.00 dpt. Merkitse voimakkuus silmälasireseptiin plussylinterillä.
19. Linssin voimakkuus on sf +4.00 dpt cyl -2.00 dpt ax  $60^\circ$ . Mikä on voimakkuus suunnassa  $100^\circ$ ?

## Kuvausyhtälö ja sivusuurennos

20. Esine on 20cm linssin edessä. Linssi muodostaa esineestä virtuaalisen kuvan 5 cm linssin eteen. Mikä on linssin voimakkuus?
21. Linssin edessä on 8 cm korkea esine. 6 cm korkea kuva muodostuu väärinpäin 30 cm päähän linssin taakse. Kuinka kaukana esine on linssistä?
22. Esine on 32 cm linssin edessä. Linssi muodostaa 12 cm korkean kuvan väärinpäin 26 cm päähän linssin taakse. Kuinka korkea esine on ja mikä on linssin voimakkuus?

## Kvasuurennos

23. Asiakkaan silmälasien voimakkuus on sf -8.50 dpt OA. Pintaväli on 12 mm, linssin keskipaksuus 5 mm, taitekerroin 1.74 ja etupinnan taittovoima +0.5 dpt. Kuinka paljon nähtävän kohteen koko muuttuu?
24. Kuinka paljon edellisen tehtävän tulos muuttuu, jos pintaväli onkin 17 mm?

## Prisma

25. Asiakkaan silmälasien voimakkuus on OD sf -4.00 dpt, OS sf -5.25 dpt. Molempiin linssihin muodostuu 2 Δ bas nas vaikutus. Asiakkaan PD on 62 mm, mikä on linssien keskiöväli?
26. Linssin voimakkuus on sf +5.00 dpt cyl -1.00 dpt ax 90°. Linssi on hiottu niin, että keskiöväli on PD:tä suurempi ja optinen keksipiste on 4 mm päässä pupillista. Kuinka suuri prismavaikutus syntyy ja mikä on kannan suunta?
27. Asiakkaan silmälasissa on OD 3 Δ bas up ja OS 2 Δ bas up. Mikä on suhteellinen prismavaikutus?
28. Asiakkaan silmälasiresepti on OD sf -6.00 dpt, OS sf -6.00 dpt. Halutaan saada aikaiseksi OD 3 Δ bas up vaikutus. Miten linssit tulee keskiöidä, jos molempien linssien mitoitusta muutetaan yhtä paljon?
29. Silmälasireseptiin on merkitty OD 2 Δ bas nas sekä 2.5 Δ bas down. Mikä on vinon prisman suunta ja määrä?

## Aberraatiot

30. Linssin voimakkuus aallonpituudella 589 nm on sf +5.50 dpt. Linssimateriaalin Abben luku on 44. Kuinka paljon muodostuu aksiaalista värihajontaa? Entä kuinka paljon poikittaista värihajontaa syntyy, jos katselinja kulkee 8 mm optisen keskilinjan vierestä?

## Näköalueet

31. Asiakkaan taittovirhe on OA sf -3.00 dpt. Hänellä on silmälasit taittovirheen mukaisella korjauksella. Kuinka lähelle asiakas näkee tarkasti, kun a-laajuutta on käytettävissä miellyttävästi 5 dpt?
32. Asiakkaan taittovirhe on OA sf +1.00 dpt ja hänellä on kasvoillaan -2.00 dpt silmälasit. A-laajuus on 12 dpt, josta asiakas käyttää miellyttävästi puolet. Mille etäisyyksille asiakas näkee?
33. Asiakkaan taittovirhe on OA sf +2.00 ja lähilisa +1.50. Hänellä on käytössä taittovirheen mukaiset syväterävät silmälasit, joiden degressio on 1.0 dpt. A-laajuutta on miellyttävästi käytössä 1.25 dpt. Mille etäisyyksille asiakas näkee?

## Paksu linssi

34. Laske piilolinssin pintojen voimakkuudet ja taittovoima vedessä. Linssin tiedot ovat: FOZR 7.75 mm, BOZR 7.95 mm,  $n = 1.49$ ,  $d = 0.3\text{mm}$ .
35. Piilolinssin etupinnan voimakkuus on +58.55dpt. Mikä on linssin etupinnan kaarevuus (FOZR), kun  $n = 1.45$  ja voimakkuus on laskettu linssin ollessa ilmassa?

36. Hyödynnä edellisessä tehtävässä saamiasi lukuja. Mikä on linssin kokonaistaittovoima ilmassa, jos takapinna kaarevuus (BOZR) on 7.4 mm ja linssi on 0.2 mm paksu?

## Pintavälin vaikutus

37. Linssin voimakkuus on sf -8.00 dpt pintavälin ollessa 12mm. Laske linssin vahvuus pintaväleillä 0mm (piilolinssi), 13mm ja 16mm.
38. Asiakkaan silmälasiresepti on  
OD: sf +7.00 dpt cyl -2.00 dpt ax 75°  
OS: sf +5.50 dpt cyl -1.25 dpt ax 90°  
Laske molemmille silmille sopivat piilolinssivoimakkuudet, kun silmälasien pintaväli on 14mm.

## Sfäärinen ekvivalentti

39. Asiakkaan taittovirhe on:  
OD: sf +2.25 dpt cyl -0.75 dpt ax 90°  
OS: sf +1.50  
Laske OD sfäärinen ekvivalentti.

## Toorisen piilolinssin kiertyminen

40. Asiakkaan taittovirhe on OS sf -3.25 dpt cyl -1.75 dpt ax 180°, PV = 12 mm. Hänelle sovitetaan toorinen piilolinssi. Sovituksessa huomataan, että linssi kiertyy 20° oikealle. Millä arvoilla linssi tilataan asiakkaalle? (huomioi myös pintaväli vaikutus)

## Keratometriarvot

41. Laske molempien silmien sarveiskalvojen voimakkuudet, kun keratometriarvot ovat:  
OD: R1 7.93@3 R2 7.66@93  
OS: R1 7.95@6 R2 7.72@96
42. Edellisen tehtävän asiakkaan taittovirhe on:  
OD: sf +0.75 dpt cyl -0.25 dpt ax 180°  
OS: sf +0.75 dpt cyl -0.25 dpt ax 10°  
Kuinka paljon asiakkaalla on mykiön hajataitteisuutta kummassakin silmässä?

# Tehtävien vastaukset

## Linssikoon määrittäminen

1. Tarvitaan halkaisija 68 mm
2. Saatavilla olevan linssin halkaisija ei riitä

## Valon taittuminen

3. Valon taittumiskulma on  $22^\circ$
4. Linssin taitekerroin on 1.63
5. Valon taittumiskulma lasista veteen on  $23^\circ$

## Valon heijastuminen

6. Valoa heijastuu 2 %
7. Lasin taitekerroin on 1.65
8. Tapahtuu kokonaisheijastus

## Valon polarisaatio

9. Taittuneiden valonsäteiden osuus on 97.6 % ja polarisaatioaste 91.7 %
10.  $49^\circ$

## Valon interferenssi

11. Mahdollisia kalvon paksuuksia ovat 95 nm ja 285 nm. Valosta heijastuu 1.6 %
12. Punainen valo (640 nm) vahvistuu
13. Kalvon taitekerroin on 1.26 ja paksuus 110 nm

## Ohuen linssin taittovoima

14. Linssin voimakkuus ilmassa on +2.26 dpt
15. Linssin voimakkuus on +2.4 dpt
16. Linssin etupinnan kaarevuus on -1.0 m

## Toorisen linssin voimakkuus

17. OD: sf -3.00 dpt cyl -2.00 dpt ax 105°  
OS: sf -3.25 dpt cyl -1.25 dpt ax 30°

18. sf -2.00 dpt cyl +3.00 dpt ax 100°

19. Voimakkuus suunnassa 100° on +3.17 dpt

## Kuvausyhtälö ja sivusuurennos

20. Linssin voimakkuus on -15 dpt

21. Esine on 40 cm linssin edessä

22. Esineen koko on 15 cm ja linssin voimakkuus +6.97 dpt

## Kuvasuurennos

23. Nähtävä kuva on 91% kohteen todellisesta koosta

24. Nähtävä kuva on 3% pienempi kuin edellisessä tehtävässä

## Prisma

25. Linssien keskiöväli on 71 mm

26. Syntyy 1.6 Δ bas temp vaikutus

27. Suhteellinen prismavaikutus on OD 1 Δ bas up

28. OD mitoitetaan 2,5 mm pupillin alapuolelle ja OS 2,5 mm pupillin yläpuolelle

29. Vinon prisman määrä on 3.20 Δ ja suunta 309°

## Aberraatiot

30. Aksiaalista värihajontaa syntyy 0.17 dpt ja poikittaista värihajontaa 0.14 Δ

## Näköalueet

31. Asiakas näkee lähimmillään 20 senttiin

32. Asiakas näkee ∞ → 33 cm

33. Asiakas näkee 2 m  $\rightarrow$  36 senttiin

## Paksu linssi

34.  $D_1 = +20.65 \text{dpt}$ ,  $D_2 = -20.13 \text{dpt}$ ,  $D_{\text{tot}} = +0.60 \text{dpt}$

35. FOZR = 7.7 mm

36.  $D_{\text{tot}} = -1.77 \text{dpt}$

## Pintavälin vaikutus

37.  $D(0 \text{mm}) = -7,30 \text{dpt}$ ,  $D(13 \text{mm}) = -8,06 \text{dpt}$ ,  $D(16 \text{mm}) = -8,26 \text{dpt}$

38. Asiakkaalle tilataan piilolinssit voimakkuuksilla:

OD sf +8.00 dpt cyl -2.25 dpt ax 75°

OS sf +6.00 dpt cyl -1.25 dpt ax 90°

## Sfäärinen ekvivalentti

39. Oikean linssin sfäärinen ekvivalentti on OD = +1.875 dpt  $\rightarrow$  +2.00 dpt

## Toorisen piilolinssin kiertyminen

40. Tilataan OD sf -3.25 cyl -1.25 ax 20°

## Keratometriarvot

41. OD SAK voimakkuus: +44.06 dpt cyl -1.50 dpt ax 90°

OS SAK voimakkuus: +43.72 dpt cyl -1.27 dpt ax 90°

42. OD mykiön hajataiteisuus: -1.75 dpt, akselisuunta 180°

OS mykiön hajataiteisuus: -1.52 dpt, akselisuunta 180°



# Lähteet

- BACK VERTEX DISTANCE CONVERSION TABLE 2018. OPTOMETRY PORTAL. VERKKODOKUMENTTI.  
<[HTTP://OPTOMETRYPORTAL.COM/CONTACT-LENS-CALCULATOR/](http://optometryportal.com/contact-lens-calculator/)>. LUETTU 12.2.2018.
- BENJAMIN, WILLIAM J. 2006. APPLIED OPTICS OF CONTACT LENS CORRECTION. TEOKSESSA BENJAMIN, WILLIAM J. (TOIM.): BORISH'S CLINICAL REFRACTION. 2. PAINOS. MISSOURI: BUTTERWORTH-HEINEMANN. 1188-1245.
- BROWN, WILLIAM A. 1995. OPTICAL PRINCIPLES OF PRISM. TEOKSESSA COTTER, SUSAN A. (TOIM.): CLINICAL USES OF PRISM, A SPECTRUM OF APPLICATIONS. MISSOURI: MOSBY-YEAR BOOK, INC. 1-40.
- CIUFFREDA, KENNETH J. 2006. ACCOMMODATION, THE PUPIL, AND PRESBYOPIA. TEOKSESSA BENJAMIN, WILLIAM J. (TOIM.): BORISH'S CLINICAL REFRACTION. 2. PAINOS. MISSOURI: BUTTERWORTH-HEINEMANN/ELSEVIER. 93-144.
- ELKINGTON, ANDREW R. – FRANK, HELENA J. – GREANEY, MICHAEL J. 1999. CLINICAL OPTICS. 3. PAINOS. OXFORD: BLACKWELL SCIENCE LTD.
- ESSILOR ACADEMY 2015. PROGRESSIVE LENSES FITTING GUIDE. VERKKO-OPAS. <[HTTP://WWW.ESSILORACADEMY.EU/EN/PUBLICATIONS-PROGRESSIVE-LENSES-FITTING-GUIDE](http://www.essiloracademy.eu/en/publications-progressive-lenses-fitting-guide)>. LUETTU 21.2.2018.
- FOWLER, COLIN – LATHAM PETRE, KEZIAH 2001. SPECTACLE LENSES. OXFORD: BUTTERWORTH HEINEMANN.
- GORDON, ADAM - BENJAMIN, WILLIAM J. 2006. CORRECTION WITH MULTIFOCAL SPECTACLE LENSES. TEOKSESSA BENJAMIN, WILLIAM J. (TOIM.): BORISH'S CLINICAL REFRACTION. 2. PAINOS. MISSOURI: BUTTERWORTH-HEINEMANN. 1011-1152.
- GROSVENOR, THEODORE 2007. PRIMARY CARE OPTOMETRY. 5. PAINOS. MISSOURI: BUTTERWORTH - HEINEMANN.
- HECHT, EUGENE 1998. OPTICS. 3. PAINOS. USA: ADDISON-WESLEY.
- LEINONEN, TIINA-MARIA (TOIM.) 2005. MAOL-TAULUKOT. 2.–8.-PAINOS. HELSINKI: OTAVA.
- LENS, AL 2006. OPTICS, RETINOSCOPY, AND REFRACTOMETRY. 2. PAINOS. USA: SLACK INCORPORATED.
- LINDSAY, RICHARD 2010. SOFT TORIC LENS DESIGN AND FITTING. TEOKSESSA EFRON, NATHAN (TOIM.): CONTACT LENS PRACTICE. 2. PAINOS. ELSEVIER: BUTTERWORTH-HEINEMANN. 109-118.
- OPTIIKAN OPPIKIRJA 1982. JOHDATUS GEOMETRISEEN, FYSIKAALISEEN JA VISUAALISEEN OPTIIKKAAN. PALVA, RAILA (SUOM.). TUKHOLMA: FRITZES HOVBOKH.
- PEDROTTI, LENO S. 2008. FUNDAMENTALS OF PHOTONICS. MODULE 1.1: NATURE AND PROPERTIES OF LIGHT. VERKKODOKUMENTTI.  
<[HTTP://SPIE.ORG/DOCUMENTS/PUBLICATIONS/00%20STEP%20MODULE%2001.PDF](http://spie.org/documents/publications/00%20STEP%20MODULE%2001.pdf)>. LUETTU 29.12.2017.
- PEDROTTI, LENO S. 2008. FUNDAMENTALS OF PHOTONICS. MODULE 1.3: BASIC GEOMETRICAL OPTICS. VERKKODOKUMENTTI.  
<[HTTPS://SPIE.ORG/DOCUMENTS/PUBLICATIONS/00%20STEP%20MODULE%2003.PDF](https://spie.org/documents/publications/00%20STEP%20MODULE%2003.pdf)>. LUETTU 22.11.2017.
- RABBETTS, RONALD B. 2007. CLINICAL VISUAL OPTICS. 4. PAINOS. ELSEVIER: BUTTERWORTH HEINEMANN.
- SAND, OLAV. – SJAASTAAD, ØYSTEIN V. – HAUG, EGIL. – BJÅLIE, JAN G. 2013. IHMINEN. FYSIOLOGIA JA ANATOMIA. 8.-10. PAINOS. HELSINKI: SANOMA PRO OY.
- SCHWARTZ, STEVEN H. 2013. GEOMETRICAL AND VISUAL OPTICS. A CLINICAL INTRODUCTION. 2. PAINOS. USA: Mc Graw Hill Education.
- STEPHENS, GREGORY L. 2006. CORRECTION WITH SINGLE-VISION SPECTACLE LENSES. TEOKSESSA BENJAMIN, WILLIAM J. (TOIM.): BORISH'S CLINICAL REFRACTION. 2. PAINOS. MISSOURI: BUTTERWORTH-HEINEMANN/ELSEVIER. 1026-1100.
- WATANABE, RONALD K. 2008. SOFT TORIC CONTACT LENSES. OPTOMETRIC MANAGEMENT. VERKKODOKUMENTTI.  
<[HTTPS://WWW.OPTOMETRICMANAGEMENT.COM/ISSUES/2008/APRIL-2008/SOFT-TORIC-CONTACT-LENSES](https://www.optometricmanagement.com/issues/2008/april-2008/soft-toric-contact-lenses)>. LUETTU 8.3.2018.